



**André Filipe Carmo e Silva**

Licenciado em Ciências da Engenharia Química e Bioquímica

## **Otimização do Processo de Filtração e Diluição de Cerveja**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Mário Eusébio, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: Doutor Miguel Cardoso Carvalho, *Brewing Processing Manager*, SCC

Júri:

Presidente: Professora Doutora Isabel Maria de Figueiredo Ligeiro da Fonseca, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Doutora Teresa Isabel Silvestre Sampaio Geirinhas, Sociedade Central de Cervejas e Bebidas

Vogal: Professor Doutor Mário Fernando José Eusébio, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março, 2019**





**André Filipe Carmo e Silva**

Licenciado em Ciências da Engenharia Química e Bioquímica

## **Otimização do Processo de Filtração e Diluição de Cerveja**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Mário Eusébio, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: Doutor Miguel Cardoso Carvalho, *Brewing Processing Manager*, SCC



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março, 2019**







## **Otimização do Processo de Filtração e Diluição de Cerveja**

Copyright © André Filipe Carmo e Silva, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.





# Agradecimentos

Este trabalho representa o último ponto da minha vida académica. Por isto, dedico este espaço a uma pequena retrospectiva desta etapa e reflito sobre todos os que fizeram parte dela e contribuíram para que fosse completada com sucesso.

Antes de tudo deixo um obrigado para a própria faculdade e para o curso que me levou a integrar nesta instituição, pela hospitalidade, pelo conhecimento, pelo apoio, pelas vivências e por todas as pessoas que colocaram no meu caminho. Apesar de já olhar para trás com saudade, vivo também uma felicidade por ter terminado.

Em primeiro lugar, gostaria de exprimir um sincero obrigado à Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A por ter aberto as suas portas e me permitir ingressar numa empresa de excelência. Apesar de desde o início ser algo temporário, durante 7 meses a disponibilidade e amabilidade de todos realmente me proporcionou o sentimento de fazer parte da “casa”. Esta minha estadia aqui também foi muito importante no meu desenvolvimento pessoal, proporcionando-me uma primeira experiência profissional na área industrial alimentar.

Ao meu orientador interino Doutor Miguel Carvalho, manifesto um profundo agradecimento por todo o tempo despendido e orientação ao longo do projeto, pela confiança depositada e pelo incentivo na realização de um trabalho o mais proveitoso possível. Uma palavra especial também pelo apoio prestado pelo Eng.º João Paulo Mendes, Eng.ª Beatriz Teixeira, Dr.ª Maria José Sousa e Dr.ª Teresa Sampaio.

Seria impossível não agradecer também ao meu coorientador, o Professor Mário Eusébio, não só por me ter proposto para esta oportunidade, mas também por todo o apoio e dedicação ao longo da mesma e de outros projetos. O seu espírito crítico e sabedoria sempre foram uma força de encorajamento para a realização de um trabalho extremamente rigoroso.

Deixo também uma palavra de apreço para os membros das equipas da área de filtração e técnicos do laboratório físico-químico pela ajuda, disponibilidade, simpatia e pela paciência. Sem a contribuição conjunta de todos, não teria sido possível a realização desta tese.

Aos meus colegas estagiários Tai, Catarina, Mónica e Rui, gostaria de agradecer a companhia e camaradagem. Partilhamos muitas risadas, almoços, cafés e tempos de espera uns pelos outros.

Apesar de não tão presentes durante esta última etapa, quero também deixar registado o meu carinho por todos os amigos que fiz (e espero não perder) ao longo da minha jornada académica. Felizmente, são demasiados para enumerar individualmente, mas não estão esquecidos.

Reservo este espacinho para agradecer à minha maçã, Mariana. Do fundo do coração, obrigado por partilhares os momentos felizes e por seres o porto de abrigo nos mais depressivos e desafiantes. Obrigado pelo apoio, pela força e pelos sorrisos. <3

Finalizando, agradeço às minhas gatas por estarem sempre presentes (ora para ajudar, ora para desajudar). Agradeço à minha família (em especial aos meus avós) por sempre me apoiarem e acreditarem em mim. E, especialmente, agradeço à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão pelo investimento e sacrifício, uma vez que sem eles nada seria possível. Tenho muito orgulho em vocês.

# Resumo

---

O processo de produção de cerveja é já uma arte antiga que vem sendo melhorada e adaptada para um competitivo mundo industrial. Aqui, as empresas pretendem fornecer um produto com a qualidade desejada pelo consumidor enquanto lutam por vantagens competitivas sobre os seus competidores. É então do total interesse de qualquer cervejeira a aplicação de princípios de engenharia para a otimização do processo, visando a redução de recursos despendidos e a minimização de erros e falhas.

Esta dissertação de mestrado foi desenvolvida na área de Filtração da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, com a finalidade de otimizar o consumo de *kieselguhr* utilizado na filtração de cerveja (sem consequências negativas para a produção) e o processo de diluição através da elaboração de um estudo aos sistemas *carboblenders*, construindo as bases para a modernização da área e para uma independência para com o laboratório. Para atingir estes objetivos foi formada uma equipa de melhoria contínua para o estudo da situação atual e que desenvolveu diversos ensaios para análise e implementou ferramentas *TPM* como a elaboração de matrizes *QA*, elaboração de diagramas e fluxogramas, análises 5 porquês e análises *FMECA*, entre outras.

Quanto à otimização da filtração de cerveja, os estudos e ensaios efetuados nas três linhas existentes na área, culminaram numa redução média de 20 g/hl de *kieselguhr* adicionados durante o ciclo de filtração e um aumento de 15 % no possível volume de cerveja filtrada por ciclo, o que representa uma redução significativa no custo e na quantidade de recursos utilizados.

No que diz respeito à otimização do processo de diluição, a execução das atividades descritas na Rota de Implementação de controlo *in-line* da *Heineken*, permitiu o estudo do funcionamento dos *carboblenders* e das metodologias associadas ao mesmo, sendo identificados os principais obstáculos a um controlo automatizado sem interferência humana. Estes foram analisados e soluções foram criadas e propostas, resultando num aumento de 70 % na diluição automática de cerveja (nos três sistemas presentes) que contribuiu para um *First Time Right – Batch* acima do objetivo, com o valor de 95 %.

**Palavras-chave:** Cerveja, Filtração de cerveja, Diluição de cerveja, Otimização, *Total Productive Management*, *Kieselguhr*, *Carboblenders*

---



# Abstract

---

The process of beer production is an ancient art that has been improved and adapted over time to meet the needs of the industrialized world. While delivering a product that meets the consumer's need, companies also compete between each other in order to get additional advantages in the market. Thus, it is in the best interest of any brewery to apply the principles of engineering to try and optimise the process in order to reduce costs and production errors and flaws.

This master's dissertation was developed in the Filtration Department at Sociedade Central de Cervejas e Bebidas and it aimed to the optimization of *kieselguhr* consumption, in the process of filtrating beer, without compromising the quality of the product. It also aimed towards the optimisation of the dilution process through the elaboration of a study concerning the carboblender systems, building the basis to the area's modernisation and laboratory independence. In order to fulfil these goals a team dedicated to continuous improvement was formed, to study the current situation, develop several trials for analysis and implement *TPM* tools like the elaboration of *QA* matrixes, diagrams and flux grams, 5 why's analysis, *FMECA* analysis, etc.

Relatively to the optimisation of the filtration process, the studies and trials performed on the three lines allowed the company to reduce an average of 20 g/hl of *kieselguhr* and the increase of 15% of beer volume per cycle.

When it comes to the optimisation of the dilution process, the execution of the tasks described on *Heineken's* implementation route of in-line control allowed the understanding of how carboblenders worked and respective methodologies, which led to the identification of the main obstacles to a total automated control. These were analysed and the solutions proposed resulted in an increase of 70% on the automatic beer dilution which contributed to a *First Time Right – Batch* over the goal, with a value of 95%.

**Keywords:** Beer, Beer filtration, Beer dilution, Optimisation, Total Productive Management, *Kieselguhr*, Carboblenders;

---



# Índice

<b>1</b>	<b>Enquadramento e Motivação.....</b>	<b>1</b>
1.1	Sociedade Central de Cervejas e Bebidas.....	2
1.1.1	História da SCC.....	3
1.1.2	Instalações da SCC.....	4
1.1.3	Cervejas Produzidas.....	5
1.1.4	Certificação de Qualidade.....	7
1.2	Área de Foco.....	7
1.3	Definição dos Objetivos.....	20
<b>2</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>23</b>
2.1	A Cerveja.....	23
2.1.1	Principais Ingredientes.....	24
2.1.2	Processo Cervejeiro.....	26
2.1.3	Qualidade.....	32
2.1.4	Qualidade Microbiológica.....	33
2.2	<i>Total Productive Manegement</i> .....	34
2.2.1	Fundamentos e Estrutura.....	34
2.2.2	Implementação.....	37
2.2.3	Indicadores chave de desempenho.....	37
2.2.4	Ferramentas complementares.....	38
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos.....</b>	<b>43</b>
3.1	Metodologia de Ação.....	43
3.2	Metodologia Laboratorial.....	45
3.2.1	Recolha de amostras.....	45
3.2.2	Análise Microbiológica.....	46
3.2.3	Análise Físico-Química.....	47
<b>4</b>	<b>Discussão de Resultados.....</b>	<b>51</b>
4.1	Otimização do consumo de <i>kieselguhr</i> .....	51
4.1.1	Redução do doseamento de <i>kieselguhr</i> .....	52
4.1.2	Definição dos critérios a monitorizar.....	53
4.1.3	Linha de filtração I.....	54
4.1.4	Linha de filtração II.....	60
4.1.5	Linha de Filtração III.....	66

4.1.6	Redução de Custos.....	71
4.2	Otimização do processo de diluição .....	72
4.2.1	Rota <i>Implementação de controlo in-line</i> .....	76
4.2.2	Passo I – Verificar os sistemas de medição .....	77
4.2.3	Passo II – Restaurar as condições do sistema de medição.....	87
4.2.4	Passo III – Validar o sistema de controlo <i>in-line</i> .....	100
4.2.5	Passo IV – Analisar os riscos do sistema.....	104
4.2.6	Passo V e VI –Instalar sistemas gémeos e Implementar a gestão diária .....	106
<b>5</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>109</b>
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>112</b>
	<b>Apêndice A – Equipa.....</b>	<b>117</b>
	<b>Apêndice B – Linha de Filtração I.....</b>	<b>121</b>
	<b>Apêndice C – Linha de Filtração II .....</b>	<b>131</b>
	<b>Apêndice D – Linha de filtração III.....</b>	<b>141</b>
	<b>Apêndice E – Rota Implementação do controlo <i>in-line</i> .....</b>	<b>151</b>



# Índice de Figuras

Figura 1.1- Logótipo SCC .....	3
Figura 1.2- Fábrica de Vialonga.....	4
Figura 1.3- Marcas comercializadas pela SCC.....	5
Figura 1.4- Sidras cheias na SCC.....	5
Figura 1.5- Marcas económicas de cerveja .....	5
Figura 1.6- Ordem cronológica da marca Sagres .....	7
Figura 1.7- Fluxograma da Filtração.....	8
Figura 1.8- Esquema de Funcionamento de Permutador de Placas .....	9
Figura 1.9- Esquema do Funcionamento do Filtro de Placas .....	9
Figura 1.10- Esquema de um Carboblender.....	11
Figura 1.11- Esquema da Configuração do CB 1.....	12
Figura 1.12- Esquema da Configuração do CB 2 e 3.....	12
Figura 1.13- Esquema Process Density Trasmmitter Rhotec TR.....	13
Figura 1.14- Esquema Sonatec TR / Combitec .....	14
Figura 1.15- Esquema do funcionamento do pistão .....	15
Figura 1.16- Carbotec TR-PT .....	15
Figura 1.17- Esquema de injeção Vortex-Venturi.....	16
Figura 1.18- Esquema O2 inline sensor Oxytrans TR .....	17
Figura 1.19- Passos para o cálculo das principais propriedades.....	17
Figura 1.20- Esquema do sistema de controlo.....	18
Figura 1.21- Esquema do filtro de cartuchos.....	19
Figura 1.22- Consumo de kieselguhr na fábrica de Vialonga .....	20
Figura 1.23- % de horas de funcionamento em automático ou manual em 2017.....	22
Figura 2.1- Processo de maltagem .....	27
Figura 2.2- Processo de fabricação de cerveja .....	29
Figura 2.3- Esquema da fermentação na levedura.....	30
Figura 2.4- Pilares do TPM .....	36
Figura 2.5- Fases de implementação do TPM.....	37
Figura 3.1- Rota para otimização do consumo de kieselguhr.....	44
Figura 3.2- Rota Implementação de controlo in-line.....	44
Figura 3.3- Cronograma das tarefas de equipa.....	45
Figura 3.4- Procedimento de preparação de amostra para Alcoalyzer / Imagem Alcoalyzer.....	47
Figura 3.5- Exemplo das propriedades medidas pelo Alcoalyzer .....	49
Figura 3.6- Procedimento para a utilização do aparelho Haffmans / Imagem do dispositivo.....	49
Figura 4.1- Distribuição das causas para interrupção dos filtros (em 2017) .....	52

Figura 4.2- Parâmetros a monitorizar e respetivas fontes .....	53
Figura 4.3- Volume filtrado e kieselguhr consumido mensalmente no filtro 1, no ano 2017 .....	55
Figura 4.4- Cronologia das alterações no aluvião do filtro 1, em 2018 .....	57
Figura 4.5- Kieselguhr consumido médio em cada ensaio no filtro 1, em 2018 .....	57
Figura 4.6- Causas para a interrupção do filtro 1, em 2018 .....	58
Figura 4.7- Turvação média dos tanques cheios pelo filtro 1 com Cerveja X em cada situação .....	59
Figura 4.8- % de falhas em cada parâmetro microbiológico no filtro 1, em 2018 .....	60
Figura 4.9- Kieselguhr consumido e volume filtrado mensalmente no filtro 2, em 2017 .....	61
Figura 4.10- Cronologia das alterações no aluvião no filtro 2, em 2018 .....	62
Figura 4.11- Kieselguhr consumido médio em cada ensaio no filtro 2, em 2018 .....	62
Figura 4.12- Distribuição das causas de interrupção do filtro 2, em 2018 .....	63
Figura 4.13- Turvação média dos tanques cheios pelo filtro 2 com Cerveja X em cada alteração .....	65
Figura 4.14- % de falhas encontradas em cada parâmetro microbiológico no filtro 2, em 2018 .....	65
Figura 4.15- Volume filtrado e kieselguhr consumido no filtro 3, em 2017 .....	66
Figura 4.16- Cronologia das alterações experienciadas no filtro 3, em 2018 .....	68
Figura 4.17- Kieselguhr consumido médio em cada ensaio no filtro 3, em 2018 .....	68
Figura 4.18- Causas para a interrupção do filtro 3, em 2018 .....	69
Figura 4.19- Turvação média dos tanques cheios pelo filtro 3 com Cerveja X por alteração .....	70
Figura 4.20- % de falhas microbiológicas encontradas nos TCF's analisados por alteração, em 2018 .....	71
Figura 4.21- Interface do utilizador para introduzir extrato de guarda no CB 1 e CB 2 e 3 .....	73
Figura 4.22- Exemplos dos displays do carboblender 1 e dos CB 2 e 3 .....	73
Figura 4.23- Painel de controlo para ajuste de set-points e para set-point de CO <sub>2</sub> .....	75
Figura 4.24- Representação do desdobramento dos objetivos de equipa .....	76
Figura 4.25- Percentagem de tanques cheios pelas 3 principais marcas .....	78
Figura 4.26- HARA do laboratório físico-químico da fábrica de Vialonga .....	78
Figura 4.27- Distribuição das falhas encontradas nos tanques das 3 marcas de cerveja, em 2017 .....	79
Figura 4.28- Falhas em Cerveja X e enquadramento acima ou abaixo dos limites, 2017 .....	80
Figura 4.29- Falhas em Cerveja Y e enquadramento acima ou abaixo dos limites, 2017 .....	80
Figura 4.30- Falhas em Cerveja Z e enquadramento superior ou inferior aos limites, 2017 .....	81
Figura 4.31- Matriz de Qualidade adaptada ao funcionamento dos carboblenders .....	82
Figura 4.32- Diagrama de Pareto relativo à matriz QA carboblenders, tendo em conta as fases da área de filtração .....	82
Figura 4.33- Diagrama de Pareto tendo em conta os modos de defeito na área de Filtração .....	83
Figura 4.34- Distribuição dos 5M no mau funcionamento dos carboblenders .....	84
Figura 4.35- ZZ score de CO <sub>2</sub> no Carboblender 1, na marca Cerveja X .....	88
Figura 4.36- ZZ score de extrato primitivo e álcool no Carboblender 1, na marca Cerveja X .....	89
Figura 4.37- ZZ score de CO <sub>2</sub> no Carboblender 2, da marca Cerveja X .....	89

Figura 4.38- ZZ score de extrato primitivo e teor de álcool no Carboblender 2, na marca Cerveja X .	90
Figura 4.39- ZZ score de CO2 no Carboblender 3, na marca Cerveja X .....	90
Figura 4.40- ZZ score de extrato primitivo e álcool no Carboblender 3, na marca Cerveja X .....	91
Figura 4.41- Procedimento para calibração do sensor de CO2 .....	92
Figura 4.42- Comparação de valores de extrato primitivo no início e no fim do período de guarda ....	93
Figura 4.43- Esquema dos tanques de guarda .....	94
Figura 4.44- Evolução do valor de extrato primitivo e álcool ao longo da maturação.....	95
Figura 4.45- Perfil de extrato primitivo no esvaziamento de um tanque de guarda.....	95
Figura 4.46- Esquema do método de utilização da nathan .....	96
Figura 4.47- Esquematização da teoria da nathan .....	97
Figura 4.48- Comparação do valor de extrato primitivo à entrada e saída dos diferentes filtros .....	98
Figura 4.49- Diferença de extrato primitivo no TCF entre laboratório e carboblender 1 .....	102
Figura 4.50- Diferenças no valor de extrato primitivo no TCF entre o laboratório e o Carboblender 2 .....	102
Figura 4.51- Diferença no extrato primitivo no TCF entre o carboblender e o laboratório no Carboblender 2 (ajustado) .....	103
Figura 4.52- Diferença de extrato primitivo em TCF entre o laboratório e o Carboblender 3.....	103
Figura 4.53- Diferença de extrato primitivo entre o laboratório e o Carboblender 3.....	104
Figura 4.54- Matriz de risco para o controlo in-line de cerveja .....	105
Figura 4.55- Percentagem do modo de funcionamento do Carboblender 1 .....	106
Figura 4.56- Percentagem do modo de funcionamento do Carboblender 2 .....	107
Figura 4.57- Percentagem do modo de funcionamento do Carboblender 3 .....	107
Figura 4.58- FTR da área de filtração no fim da equipa .....	108
Figura A.1- Plano de ação para a otimização de kieselguhr.....	117
Figura A.2- Plano de ação para otimização da diluição .....	118
Figura B.1- Horas de funcionamento por ciclo no filtro 1, em 2017 .....	121
Figura B.2- Volume Filtrado por ciclo no filtro 1, em 2017 .....	122
Figura B.3- Kieselguhr total consumido por ciclo no filtro 1, em 2017.....	122
Figura B.4- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 1, em 2017.....	122
Figura B.5- Aumento do $\Delta P$ de cada ciclo no filtro 1, em 2017 .....	123
Figura B.6- Caudal de filtração em cada ciclo no filtro 1, em 2017 .....	123
Figura B.7- Principais parâmetros mensais do filtro 1, em 2018 .....	124
Figura B.8- Duração de cada ciclo do filtro 1, em 2018 .....	124
Figura B.9- Volume filtrado por ciclo no filtro 1, em 2018.....	125
Figura B.10- Kieselguhr total consumido por ciclo no filtro 1, em 2018.....	125
Figura B.11- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 1, em 2018.....	125
Figura B.12- Aumento da diferença de pressão por hora em cada ciclo no filtro 1, em 2018 .....	126

Figura B.13- Caudal de filtração por ciclo no filtro 1, em 2018 .....	126
Figura B.14- Volume filtrado por dias de guarda no filtro 1, em 2018.....	126
Figura B.15- Tempo de funcionamento em cada ciclo por ensaio do filtro 1, em 2018 .....	127
Figura B.16- Volume filtrado em cada ciclo por ensaio do filtro 1, em 2018.....	127
Figura B.17- Kieselguhr total consumido por ciclo em cada ensaio do filtro 1, em 2018 .....	127
Figura B.18- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo em cada ensaio no filtro 1, em 2018.....	128
Figura B.19- Aumento do $\Delta P$ por ciclo em cada ensaio no filtro 1, em 2018.....	128
Figura B.20- Caudal de filtração em cada ciclo por ensaio no filtro 1, em 2018.....	128
Figura B.21- Turvação por TCF de Cerveja X analisado em cada ensaio no filtro 1, em 2018.....	129
Figura B.22- Turvação por TCF de Cerveja X cheio por uma combinação entre Filtro 1 e Filtro 2, em 2018.....	129
Figura B.23- Turvação por TCF de Cerveja X cheio por uma combinação entre filtro 1 e filtro 3, em 2018.....	130
Figura C.1- Horas de funcionamento por ciclo no filtro 2, em 2017 .....	131
Figura C.2- Volume filtrado por ciclo no filtro 2, em 2017 .....	132
Figura C.3- Kieselguhr total consumido por ciclo no filtro 2, em 2017.....	132
Figura C.4- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 2, em 2017.....	132
Figura C.5- Aumento de $\Delta P$ por ciclo no filtro 2, em 2017 .....	133
Figura C.6- Caudal de Filtração por ciclo no filtro 2, em 2017 .....	133
Figura C.7- Volume filtrado e kieselguhr consumido no filtro 2, em 2018 .....	134
Figura C.8- Horas de funcionamento por ciclo no filtro 2, em 2018 .....	134
Figura C.9- Volume filtrado por ciclo no filtro 2, em 2018.....	135
Figura C.10- Kieselguhr total consumido por ciclo no filtro 2, em 2018.....	135
Figura C.11- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 2, em 2018.....	135
Figura C.12- Aumento do $\Delta P$ por ciclo no filtro 2, em 2018.....	136
Figura C.13- Caudal de Filtração por ciclo no filtro 2, em 2018 .....	136
Figura C.14- Dias de guarda por volume filtrado no filtro 2, em 2018.....	136
Figura C.15- Horas de funcionamento de cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018 .....	137
Figura C.16- Volume filtrado de cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018.....	137
Figura C.17- Kieselguhr total consumido em cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018 .....	137
Figura C.18- Kieselguhr consumido no aluvião em cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018.....	138
Figura C.19- Aumento do $\Delta P$ em cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018.....	138
Figura C.20- Caudal de filtração em cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018.....	138
Figura C.21- Turvação em cada TCF cheio pelo filtro 2 de Cerveja X por ensaio, em 2018 .....	139
Figura C.22- Turvação de cada TCF analisado cheio por uma combinação do filtro 2 e 3 de Cerveja X, em 2018.....	140
Figura D.1- Horas de funcionamento por ciclo no filtro3, em 2017 .....	141

Figura D.2- Volume filtrado por ciclo no filtro 3, em 2017.....	142
Figura D.3- Kieselguhr total consumido por ciclo no filtro 3, em 2017 .....	142
Figura D.4- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 3, em 2017.....	142
Figura D.5- Aumento do $\Delta P$ por ciclo no filtro 3, em 2017.....	143
Figura D.6- Caudal de filtração por ciclo no filtro 3, em 2017 .....	143
Figura D.7- Volume Filtrado e kieselguhr consumido mensalmente no filtro 3, em 2018 .....	144
Figura D.8- Horas de funcionamento por ciclo no filtro 3, em 2018 .....	144
Figura D.9- Volume filtrado por ciclo no filtro 3, em 2018.....	145
Figura D.10- Kieselguhr total consumido por ciclo no filtro 3, em 2018 .....	145
Figura D.11- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 3, em 2018.....	145
Figura D.12- Aumento do $\Delta P$ por ciclo no filtro 3, em 2018.....	146
Figura D.13- Caudal de Filtração por ciclo no filtro 3, em 2018 .....	146
Figura D.14'- Dias de guarda por volume filtrado no filtro 3, em 2018 .....	146
Figura D.15- Horas de funcionamento por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018.....	147
Figura D.16- Volume filtrado por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018 .....	147
Figura D.17- Kieselguhr total consumido por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018 .....	147
Figura D.18- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018 .....	148
Figura D.19- Aumento do $\Delta P$ por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018 .....	148
Figura D.20- Caudal de filtração por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018.....	148
Figura D.21- Turvação de cada TCF cheio com Cerveja X pelo filtro 3, em 2018 .....	149
Figura E.1- ZZ score de CO <sub>2</sub> no Carboblender 1, na marca Cerveja Y.....	159
Figura E.2- ZZ score de extrato primitivo e álcool no Carboblender 1, na marca Cerveja Y .....	159
Figura E.3- ZZ score de CO <sub>2</sub> no Carboblender 2, na marca Cerveja Y.....	160
Figura E.4- ZZ score de extrato primitivo e álcool no Carboblender 2, na marca Cerveja Y .....	160
Figura E.5- ZZ score de CO <sub>2</sub> no Carboblender 2, na marca Cerveja Z.....	161
Figura E.6- ZZ score de CO <sub>2</sub> no Carboblender 3, na marca Cerveja Y.....	162
Figura E.7- ZZ score de CO <sub>2</sub> no Carboblender 3, na marca Cerveja Z.....	162
Figura E.8- ZZ score de extrato primitivo e álcool no Carboblender 3, na marca Cerveja Z .....	163
Figura E.9- Diagrama da área de Filtração.....	164
Figura E.10- Análise 5 Porquês (parte 1) .....	165
Figura E.11- Análise 5 Porquês (parte 2) .....	166
Figura E.12- FMECA e RCM aos sensores determinadores de extrato .....	169
Figura E.13- FMECA e RCM aos sensores de CO <sub>2</sub> .....	170
Figura E.14- FMECA e RCM nos sensores de oxigénio.....	171
Figura E.15- FMECA e RCM nos caudalímetros .....	172
Figura E.16- FMECA e RCM nas válvulas modeladoras .....	173



# Índice de Tabelas

Tabela 1.1- Volume dos diferentes TCF's .....	19
Tabela 3.1- Constituição da equipa .....	43
Tabela 4.1- Etapas automatizadas da filtração na SCC .....	51
Tabela 4.2- Receitas de kieselguhr para as diferentes fases .....	51
Tabela 4.3- Valores do fator k encontrados inicialmente .....	53
Tabela 4.4- Alteração de fator k e consequente duração de tanque no filtro 1, em 2017 .....	55
Tabela 4.5- Comparação do filtro 1 com k diferente, em 2017 .....	56
Tabela 4.6- Valores de fator k e consequente duração de tanque, em 2017 (Agosto-Dezembro).....	56
Tabela 4.7- Resultados médios de diversos parâmetros nos diferentes ensaios no filtro 1, em 2018 ...	57
Tabela 4.8- Valor de k e consequente duração de um tanque, em 2018.....	58
Tabela 4.9- Valores teóricos de volume filtrado e tempo de funcionamento do filtro 1 .....	59
Tabela 4.10- Fator k especulado e duração do tanque de mistura do filtro 2, em 2017 .....	61
Tabela 4.11- Resultados médios dos parâmetros principais monitorizados de funcionamento do filtro 2 por ensaio, em 2018.....	62
Tabela 4.12- Valor de k e duração de tanque por ensaio, em 2018.....	63
Tabela 4.13- Valores teóricos de volume filtrado e tempo de funcionamento teórico no filtro 2.....	64
Tabela 4.14- Alteração do fator k e consequente duração de tanque no filtro 3, em 2017.....	67
Tabela 4.15- Comparação do funcionamento do filtro 3 com k diferente, em 2017 .....	67
Tabela 4.16- Resultados médios dos principais parâmetros nos diferentes ensaios no filtro 3, em 2018 .....	68
Tabela 4.17- Valor de k e duração do tanque correspondente no filtro 3, em 2018.....	69
Tabela 4.18- Valores teóricos de volume filtrado e tempo de funcionamento no filtro 3.....	70
Tabela 4.19- Valores de kieselguhr consumidos no aluvião e volume filtrado teórico no presente e em 2017 em vários filtros.....	72
Tabela 4.20- Exemplo do mapa de diluições.....	74
Tabela 4.21- Exemplo de limites dos parâmetros de qualidade .....	75
Tabela 4.22- Parâmetros de qualidade, tipo e controlo de medição .....	77
Tabela 4.23- Valores de desvio padrão utilizados no ZZ score.....	88
Tabela 4.24- Proposta de plano de calibração e manutenção .....	91
Tabela 4.25- Diferença média do valor de extrato primitivo entre a entrada e saída do filtro .....	98
Tabela 4.26- Variação típica nas medições e diluição das condições operacionais .....	99
Tabela 4.27- Variação da diluição relacionada com limites de calibração e especificação para Cerveja X (de 15-16 °P).....	100
Tabela B.1- Parâmetros mensais do filtro 1, em 2017 .....	121
Tabela B.2- Consumo dos diferentes tipos de kieselguhr mensalmente em 2017.....	121

Tabela B.3- Parâmetros mensais do filtro 1, em 2018 .....	123
Tabela B.4- Consumo mensal dos diferentes tipos de kieselguhr, em 2018 .....	124
Tabela B.5- Valor do fator k mensalmente e média mensal de duração do tanque de aluvião .....	124
Tabela B.6- Média de turvação em cada ensaio do filtro 1 e número de TCF's de Cerveja X analisados, em 2018 .....	129
Tabela B.7- Média de turvação e número de TCF's de Cerveja X cheios por combinações de filtros, em 2018.....	129
Tabela B.8- Análise Microbiológica no filtro 1 por ensaio, em 2018.....	130
Tabela B.9- Microbiologia em tanques cheios por combinações, em 2018.....	130
Tabela C.1- Parâmetros mensais do filtro 2, em 2017 .....	131
Tabela C.2- Consumo dos diferentes tipos de kieselguhr mensalmente em 2017, no filtro 2.....	131
Tabela C.3- Parâmetros monitorizados mensalmente no filtro 2, em 2018 .....	133
Tabela C.4- Consumo de diferentes tipos de kieselguhr mensalmente em 2018 .....	134
Tabela C.5- Valor do fator k e duração média do tanque de aluvião no filtro 2, em 2018 .....	134
Tabela C.6- Média de turvação em cada ensaio do filtro 2 e número de TCF's de Cerveja X analisados em 2018.....	139
Tabela C.7- Média de turvação e número de TCF's de Cerveja X cheios por combinações de filtros, em 2018.....	139
Tabela C.8- Análise Microbiológica no filtro 2 por ensaio, em 2018.....	140
Tabela C.9- Microbiologia de tanques cheios por combinações, em 2018 .....	140
Tabela D.1- Parâmetros monitorizados mensalmente no filtro 3, em 2017 .....	141
Tabela D.2- Consumo dos diferentes tipos de kieselguhr no filtro 3, em 2017 .....	141
Tabela D.3- Parâmetros monitorizados mensalmente no filtro 3, em 2018 .....	143
Tabela D.4- Consumo dos diferentes tipos de kieselguhr no filtro 3, em 2018 .....	144
Tabela D.5- Fator k e consequente duração de um tanque de aluvião mensalmente no filtro 3, em 2018 .....	144
Tabela D.6- Média de turvação em cada ensaio e número de TCF's cheios de Cerveja X pelo filtro 3, em 2018.....	149
Tabela D.7- Média de turvação e número de TCF's cheios com Cerveja X por diferentes combinações de filtros .....	149
Tabela D.8- Análise Microbiológica do filtro 3, em 2018 .....	150
Tabela D.9- Análise de Microbiologia de combinação de filtros, em 2018.....	150
Tabela E.1- Falhas dos diferentes tipos de cerveja, em 2017.....	151
Tabela E.2- Causas e teorias da Matriz QA .....	152
Tabela E.3- Observações sobre as anomalias do Carboblender 1 .....	156
Tabela E.4- Observações de anomalias no Carboblender 2 .....	157
Tabela E.5- Observações de anomalias no Carboblender 3 .....	158



Tabela E.6- Registo de calibração do carboblender 1 .....	159
Tabela E.7- Registo de calibração do Carboblender 2 .....	161
Tabela E.8- Registo de calibração do carboblender 3 .....	163
Tabela E.9- Diferença de extrato primitivo e teor de álcool no tanque de guarda .....	167
Tabela E.10- Análise diária de um tanque de guarda durante a maturação.....	167
Tabela E.11- Evolução de extrato primitivo e álcool ao longo do esvaziamento do tanque de guarda .....	168
Tabela E.12- Diferença de extrato primitivo entre a entrada e saída dos filtros .....	168



## Lista de Abreviaturas

**CB**, *Carboblender*

**CO<sub>2</sub>**, Dióxido de carbono

**CDS**, *Carbonisation system*

**CIP**, *Cleaning in place*

**COP**, *Cleaning off place*

**FMECA**, *Failure mode, effects and critically analysis*

**FTR**, *First time right*

**HARA**, *Heineken Analytical Ring Analysis*

**HGB**, *High Gravity Brewing*

**mWLD**, *Modified Wallerstein Laboratory Differential Agar*

**mWLN**, *Modified Wallerstein Laboratory Nutrient Agar*

**NIR**, *Near- infrared*

**PLC**, *Programable logic controler*

**QA**, *Quality Assurance*

**RCM**, *Reliable Centred Maintenance*

**SCC**, *Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A*

**SOP**, *Standard Operation Procedure*

**SPC**, *Statistical process control*

**TCF**, *Tanque de cerveja filtrada*

**TPM**, *Total Productive Maintenance*



# 1 Enquadramento e Motivação

A filtração da cerveja serve uma importância maior do que apenas providenciar o aspeto límpido dourado que os clientes têm vindo a esperar e exigir da indústria de produção de cerveja [1]. Por razões históricas, as cervejas do tipo *Lager* dominaram, desde 1940/1950, o mercado fazendo crer que cerveja de qualidade era sinónimo de aparência translúcida e ausência de sedimentos [2]. No entanto, a filtração é bem mais antiga e é a razão para a existência de um comércio global sustentável. Antes desta se tornar um processo comum da produção de cerveja, no século 19, existiam inúmeras cervejeiras para fazer face à procura instalada já que o tempo de vida desta era muito reduzido (entre 3 a 10 dias) graças à lise celular de leveduras restantes da fermentação, atividade microbiológica e à formação de agregados proteicos e polifenóis [3]. Com a introdução desta tecnologia, os cervejeiros passaram a produzir uma cerveja razoavelmente livre de contaminantes e com uma crescente estabilidade tanto ao nível do sabor, como da qualidade [1].

Todavia, as tecnologias desenvolvidas inicialmente para a filtração apresentavam limitações de desempenho evidentes. Prova disto está no primeiro filtro criado, em 1880 por um inventor alemão, que era montado horizontalmente por placas e utilizava folhas de papel como agente filtrante que tinham de ser mudadas no fim de cada ciclo [4]. A razão por trás disto está nas propriedades inerentes da própria cerveja, porque, as baixas temperaturas a que a cerveja é alimentada aos filtros (-1°C/0°C) e a presença de diversas partículas dissolvidas juntamente com a existência de álcool têm como consequência um aumento de viscosidade e, além disto, as substâncias em solução (proteínas, polifenóis, polissacarídeos e substâncias minerais) têm propriedades compressivas, formando então, uma camada que impede a circulação da cerveja [5]. Este problema acaba por ser resolvido com a utilização de filtros com adjuvantes de auxílio à filtração, como o *kieselguhr*, que são ainda hoje a opção mais eficiente e comum nas grandes indústrias cervejeiras [4].

O próximo obstáculo ao crescimento do mercado da cerveja prendeu-se na procura elevada por produto, depois do fim da 2ª guerra mundial, coincidindo com a grande parte de as cervejeiras já trabalharem à capacidade total [6]. Sendo assim, surgiu a necessidade de encontrar uma nova técnica, a curto prazo, que não representasse um grande investimento para aumentar a produção de cerveja [7]. Surgiu assim, nos Estados unidos da América, o *High Gravity Brewing*. Este procedimento consiste em produzir cerveja com maior concentração de açúcares do que é pretendido no produto final, a partir de mosto, por sua vez, também com maior concentração de açúcares [8]. Esta situação afeta todas as partes do processo e respetivos métodos de trabalho mas estes podem ser modificados sem grande complicação [9], tomando partido de uma utilização mais eficiente das infraestruturas de produção, fermentação e armazenagem já instaladas [7]. Isto requer a introdução de uma nova etapa no processo cervejeiro, a

diluição, que tem como objetivo diminuir a quantidade de álcool e concentração para as respetivas especificações de venda [8].

As principais desvantagens deste processo são a necessidade de estabelecer uma unidade de desarejamento de água, um decréscimo na eficiência da extração do material solúvel proveniente do malte e outros cereais assim como do lúpulo (devido à elevada concentração da mistura de mosto), aumento da instabilidade da espuma (ligada à ineficiência de extração de polipeptídeos hidrofóbicos do processo na fase de fermentação), dificuldades a atingir o mesmo perfil de sabores de cerveja produzidas pelo método original e um decréscimo sentido no desempenho das leveduras [8,10]. Contudo, as vantagens superam o lado negativo, pois, o acréscimo do passo de diluição permite o aumento da capacidade da fábrica através do uso mais eficiente das instalações, redução dos custos de energia, mão-de-obra, limpeza e efluentes, melhoria na estabilidade do sabor da cerveja, melhor rendimento álcool/açúcares fermentescíveis (devido ao menor crescimento celular) e maior flexibilidade de cervejas produzidas, porque de um *batch* podem ser feitos diversos tipos de cerveja com valores de extrato, álcool e outros aditivos diferentes através de diluições distintas. [8,10].

A forma mais tradicional de diluir cerveja consiste em adicionar a água, previamente tratada, ao tanque de cerveja filtrada [8]. Isto requer a determinação prévia do extrato primitivo e da quantidade de cerveja no tanque para calcular a quantidade de água correta a adicionar. Este processo tem custos de mão-de-obra associados e é necessário garantir a homogeneização do tanque completo, o que pode ser complicado [11]. Como tal, em cervejeiras que produzem volumes industriais, surgiu a necessidade de investir numa versão melhor e automatizada deste processo, que utiliza sistemas de *blending* que permitem o doseamento e mistura de diversos componentes de acordo com um rácio automático ou escolhido manualmente. Os volumes de cerveja e água desarejada são medidos por caudalímetros e o seu sinal transferido para um controlador de rácio, que por sua vez, controla válvulas pneumáticas que definem o caudal dos dois líquidos. Um conjunto de sensores *on-line* determinam a concentração da cerveja diluída e corrige o rácio de caudal quando existe um desvio do pretendido [12]. O controlo tem de operar de forma precisa para compensar qualquer mudança rapidamente e de maneira consistente [13].

É então de todo o interesse de qualquer cervejeira a otimização tanto do processo de filtração, como o de diluição, visando uma redução de recursos utilizados e minimização de erros e falhas.

### 1.1 Sociedade Central de Cervejas e Bebidas

A SCC, como o nome indica, não é só uma empresa dedicada à produção e comercialização de malte e cerveja (embora seja o seu foco principal), é uma grande empresa com distribuição nacional de cervejas, sidras, águas e refrigerantes [14]. A sua sede situa-se na fábrica de Vialonga, onde são produzidas e engarrafadas as marcas de cerveja Sagres e as suas variantes, assim como outras marcas provenientes da vertente de exportação [14]. A este portefólio ainda adiciona uma unidade industrial em Vicariça,

onde são captadas as águas minerais e de nascente Luso e Cruzeiro, respetivamente, as Termas do Luso e a empresa de distribuição NOVADIS [14]. Com a visão “juntos, fazemos as marcas que as pessoas preferem e adoram beber”, a empresa tem como objetivo ser a empresa líder do mercado de bebidas, em Portugal, sem descorar um crescimento económico e sustentável [14].



Figura 1.1- Logótipo SCC

### 1.1.1 História da SCC

O primeiro antepassado da SCC surgiu em 1934 e chamava-se Sociedade Central de Cervejas. Foi criada com o objetivo de comercializar as cervejas produzidas por quatro entidades distintas, nomeadamente a Companhia Produtora de Malte e Cerveja Portugália, Companhia de Cervejas Estrela, Companhia de Cervejas Coimbra e Companhia da Fábrica de Cerveja Jansen [14].

Esta sociedade evoluiu, em 1977, para a *Centralcer* – Central de Cervejas, como consequência da fusão com a *Cergal* – Cervejas de Portugal. Esta fusão resulta da transformação numa sociedade anónima da anterior empresa pública, sendo que o capital é apenas privatizado a 100% em 1990, altura em que o grupo empresarial *Bavaria* adquire uma grande participação da *Centralcer* tornando-se um dos principais acionistas [14].

No ano 2000, a *Centralcer* sofre uma nova alteração graças à sua venda à *VTR-SGPS, S.A*, um grupo de investidores portugueses. No mesmo ano, são cedidos 49% da empresa ao grupo cervejeiro internacional *Scottish & Newcastle*. Passado um ano, em 2001, é concluído o processo de fusão *Centralcer/Centralcontrol S.G.P.S., S.A* e a empresa é denominada agora Sociedade Central de Cervejas, S.A e escolhe como sede a atual instalação fabril, em Vialonga [14].

Em 2003, a *Scottish & Newcastle* adquiriu na totalidade as ações da SCC e da sociedade da Água de Luso. Um ano depois, a empresa atualizou o seu nome para o nome atual (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A.) de modo a melhor refletir o seu setor de atividade [14].

Em 2008, mais concretamente a 29 de abril, a SCC passa a fazer parte do grupo *Heineken* depois deste comprar o grupo *Scottish & Newcastle* [14].

### 1.1.2 Instalações da SCC

Como referido anteriormente, a sede da SCC está situada na fábrica de Vialonga (Figura 1.2). Esta unidade fabril foi inaugurada em 1968, desenhada pelo arquiteto Eduardo Iglésias [14], e tem uma área total de 35 hectares e área coberta de 7 hectares [15].

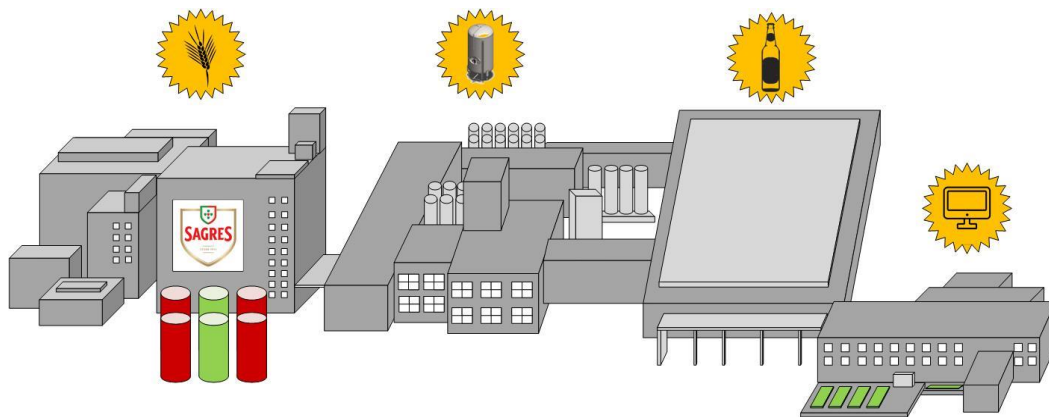


Figura 1.2- Fábrica de Vialonga (Adaptado de [14])

Pode-se afirmar que existem quatro áreas principais no complexo de Vialonga, evidenciados na imagem acima: malteria, fábrica de cerveja, enchimento, armazenagem e zona administrativa. A malteria compreende a zona de descarga onde são rececionados os camiões de cevada, os silos de cevada (com uma capacidade de 70 toneladas), a sala de micromaltagem onde são realizados ensaios sobre o malte de forma a definir as condições utilizadas industrialmente, a zona de molha, a zona de germinação, a zona de secagem e os silos de malte [14].

A fábrica de cerveja engloba a área *open space* onde se situam os escritórios dos responsáveis pela produção de cerveja, a zona de moagem, a sala de brassagem, a zona de controlo de qualidade dividida em laboratórios físico-químico, microbiológico, organolético e de embalagem, sala de provas, zona de fermentação e propagação, área de tanque de guarda e secção de filtração [14].

O enchimento abrange as diferentes linhas de enchimento, onde são cheias latas, barris ou garrafas (60 000 garrafas por hora), a zona de embalamento, armazém de produto acabado e caís de saída. A zona administrativa é onde se encontra a receção, os recursos humanos, área de *marketing* e financeira, diversos departamentos e o refeitório [14].

Esta fábrica tem como principal objetivo a produção e comercialização de malte e diversos tipos de cerveja e sidra.



### 1.1.3 Cervejas Produzidas

O portefólio de marcas que saem das instalações de Vialonga é muito extenso e pode dividir-se em duas categorias: marcas produzidas e marcas apenas distribuídas. As segundas compreendem muitas marcas internacionais reconhecidas, ilustradas abaixo:



Figura 1.3- Marcas comercializadas pela SCC

As marcas que são produzidas na cervejeira de Vialonga não são exclusivamente cervejas, pois, existem também sidras que são cheias nas instalações [14]. Dentro destas está a Bandida do Pomar, sidra que foi lançada recentemente pela SCC.



Figura 1.4- Sidras cheias na SCC

No entanto, como referido anteriormente, o principal foco está na produção de cerveja. As marcas produzidas inserem-se em segmentos de mercado diferentes, existindo a marca Cergal e Imperial numa gama mais económica enquanto a aclamada marca Sagres está presente em áreas *mainstreams* e *premiums*.



Figura 1.5- Marcas económicas de cerveja

A cerveja Sagres orgulha-se de ser 100% natural, produzida segundo métodos tradicionais exclusivos a partir de água, malte, cereais não maltados e uma rigorosa seleção de lúpulos [14].

Esta marca compreende diversos tipos de cerveja, sendo a mais comum a Sagres Branca. Esta, foi a primeira cerveja da marca e foi criada em 1940 para representar a Sociedade Central de Cerveja na Exposição do Mundo Português. É uma cerveja de tipo *Pilsner*, leve, de cor dourada [16]. É medianamente encorpada, de carácter seco e um amargo agradável. Foi também com esta cerveja que foi primeiro introduzido o famoso formato mini [14].

Também em 1940, para a mesma exposição, foi também introduzido a Sagres Preta. Esta cerveja é do tipo *Munique* e tem uma cor escura, medianamente encorpada, com um agradável sabor a caramelo [16].

Mais tarde, em 2005, a Sagres introduz a sua primeira marca no setor *Premium* com a Sagres Bohemia [14]. Uma cerveja ruiva do tipo *Marzen*, com um carácter intenso, aroma frutado, espuma cremosa e uma cor âmbar avermelhada [16]. Esta marca sofre, em 2016, uma alteração de imagem (emparelhando-se mais em acompanhamento de refeições) transformando-se na Bohemia Original e introduzindo três outras cervejas, Bohemia Trigo e Bohemia Puro Malte e Bohemia Bock [14]. A primeira, Bohemia Trigo, é uma cerveja do tipo *Witbier Belga* com base de malte de trigo, de baixo teor amargo, elaborada por lupagem no final da ebulição e com a particularidade de não ser filtrada [16]. A Bohemia Puro Malte, por sua vez, é uma cerveja dourada de estilo *Pilsner*, 100% malte e diferentes lúpulos aromáticos [16]. A última, Bohemia Bock, sofre uma fermentação longa que lhe confere um corpo denso e alto teor alcoólico e tem uma cor acobreada graças aos maltes torrados utilizados na sua confeção [16].

Ainda em 2005, é lançada uma vertente da Sagres Branca, mas sem álcool, com o nome Sagres Zero [14]. Esta marca aposta numa atitude positiva e ativa na recomendação do consumo de álcool responsável. Sofre depois, em 2012, uma renovação de imagem passando a chamar-se Sagres Sem Álcool para melhor representar o produto em si [14].

Em 2013, é lançada uma grande inovação para o mercado com o nome de Sagres Radler [14]. Esta cerveja, que baseia a sua receita na tradição bávara e com ingredientes de origem natural apresenta uma combinação única de cerveja Sagres com sumo de limão [14]. Em 2014 apresenta uma versão sem álcool apelidada de Sagres 0,0% Radler e em 2017 um novo sabor, Sagres Radler com Frutos Vermelhos [16].

Também em 2017, a Sagres lança ainda outra marca inovadora, a Sagres Cascade. Esta cerveja é uma *Pilsner* feita com Cascade, um lúpulo aromático de características cítricas e algo florais [16].



Figura 1.6- Ordem cronológica da marca Sagres

### 1.1.4 Certificação de Qualidade

A SCC foi a primeira cervejeira portuguesa a ser certificada com o certificado de qualidade, de acordo com a ISO 9001, proveniente do Instituto Português de Qualidade em 1996. Em 2008, a empresa foi certificada com a licença ambiental pela Agência Ambiental Portuguesa assim como a Certificação Ambiental pela APCER, correspondente à NP EN ISSO 14001. A APCER voltou, em 2011, a atribuir a certificação dos sistemas de Gestão da Segurança Alimentar segundo a ISSO 22000. Estas certificações dão credibilidade externa às capacidades de implementar sistemas de qualidade e segurança alimentar [17].

Em 2004, foi implementado na SCC o sistema TPM (*Total Productive Management*). O projeto piloto foi desenvolvido na área de enchimento e depois aplicado a outras áreas da fábrica. A integração no grupo Heineken mudou um pouco as metodologias TPM utilizadas, passando a ser fundamentadas em correntes mais atuais da filosofia japonesa [18].

Em 2011, foi atribuída aos laboratórios da SCC a certificação pelo sistema *Laboratory Star System*. Este sistema pertence ao grupo *Heineken* e baseia-se na norma ISO 17025 para assegurar a fiabilidade, eficiência e melhoria contínua de todas as análises realizadas nos diferentes laboratórios [15].

## 1.2 Área de Foco

O trabalho proposto incide na área de filtração da cervejeira. Esta secção funciona com três turnos diários de 8 horas, cinco dias por semana (e sete durante a época alta). Cada turno é liderado por um *Team Leader* que tem a responsabilidade de coordenar o trabalho de todos de forma organizada e menos propícia a erros. Esta área está intimamente ligada com o enchimento, pois a cerveja é filtrada e armazenada consoante o calendário deste.

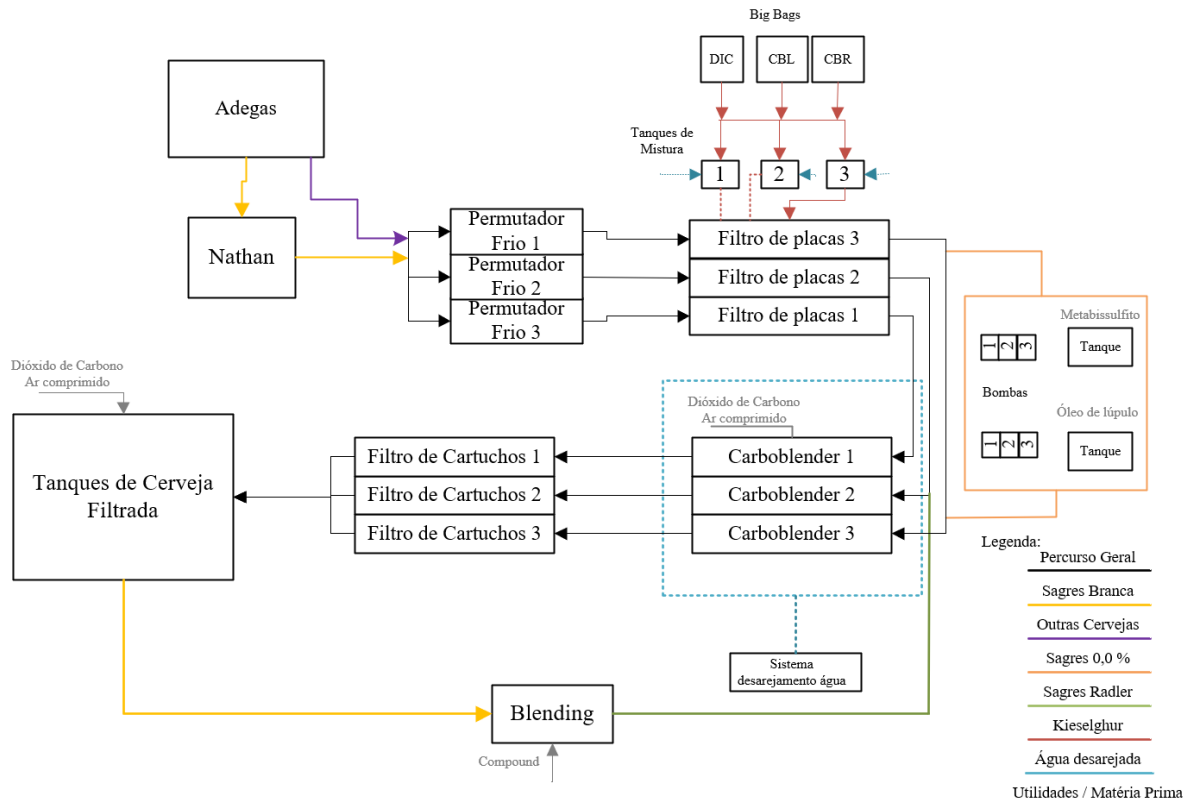


Figura 1.7- Fluxograma da Filtração

A responsabilidade desta área começa no final do processo de maturação da cerveja. Este passo, também chamado de fermentação secundária, acontece na adega de tanques de guarda onde a cerveja está a repousar durante uma a duas semanas, dependendo da procura por produto acabado. Estes tanques têm uma forma cilíndrica, estão ligados aos pares entre si e não têm um sistema de arrefecimento próprio, sendo aplicado um “golpe frio” (rápida redução da temperatura) à cerveja ainda no fermentador, que é seguidamente enviada para diferentes salas nas adegas que mantêm a temperatura dos tanques a 3-4 °C. A maturação a frio praticada tem como objetivo a estabilização organolética da cerveja e melhoria do perfil de sabores pela redução de subprodutos da fermentação primária [19]. Além disto, como é armazenada a temperaturas baixas, tem também um impacto na floculação de leveduras restantes [8] e na formação de partículas constituídas por polifenóis e proteínas, que formam a turvação característica da cerveja não filtrada, facilitando a sua remoção [5]. Daqui, caso se trate de cerveja branca, é enviada para um tanque tampão cilindro cónico, apelidado de *Nathan*, onde a cerveja é acondicionada e é eliminado quaisquer inconsistências no caudal que possam vir a prejudicar a filtração mais adiante [5].

Antes da cerveja estar pronta para ser enviada para os filtros, tem ainda de passar pela zona de arrefecimento. A temperatura da cerveja é diminuída para -1°C com o auxílio de permutadores de placas, o que promove a precipitação dos coloides presentes no líquido e um aumento de viscosidade [8]. Estes permutadores utilizam glicol como líquido refrigerador que circula em fluxo contrário ao da cerveja, alternando as placas frio/quente e prevenindo a mistura dos dois fluídos (Figura 1.8). As placas são constituídas por aço inoxidável e os canais onde os líquidos circulam são muito estreitos, promovendo

uma alta turbulência e, conseqüentemente, uma transferência de calor eficiente e uma boa higienização [20]. Esta etapa marca o início da divisão em linhas distintas, existindo, três permutadores de calor.

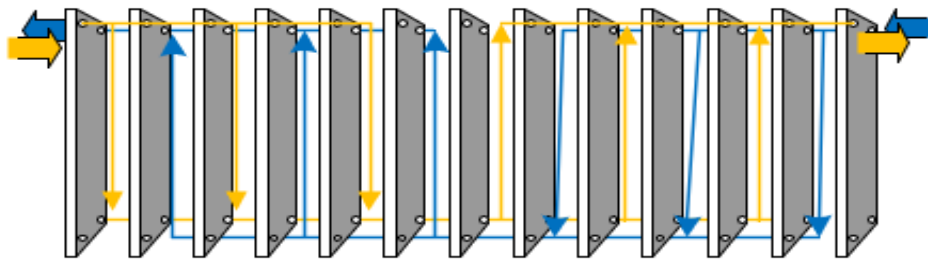


Figura 1.8- Esquema de Funcionamento de Permutador de Placas (Adaptado de [20])

De seguida, a cerveja é enviada para a zona de filtração onde existem três filtros de placas, acoplados a um tanque de mistura, que são semelhantes nas três linhas. Estes filtros são constituídos por placas montadas horizontalmente numa cavidade cilíndrica, constituídas por um suporte metálico e uma folha de celulose. O filtro da linha um é um pouco mais pequeno que os outros, com 66 placas e uma área de filtração de 130 m<sup>2</sup>, enquanto que os filtros da linha dois e três têm 70 placas e uma área de filtração de 138 m<sup>2</sup>. O fluxo utilizado está perto do mínimo possível, rondando os 240 hL/hr, minimizando os riscos de rutura das placas. O princípio de funcionamento destes filtros compreende a pressão como força impulsionadora da cerveja turva, forçando-a a atravessar as placas onde as impurezas ficam retidas, tornando-se cerveja filtrada (Figura 1.9).

Todavia, só esta estrutura não chega para uma filtração de cerveja com sucesso pois as partículas que dão a turvação à cerveja formam um bolo filtrante compressível e impermeável. Para combater este facto, é necessário adicionar um adjuvante que irá formar uma camada rígida e altamente porosa que permitirá a cerveja fluir livremente [5]. No caso da SCC, é utilizado *kieselguhr*.

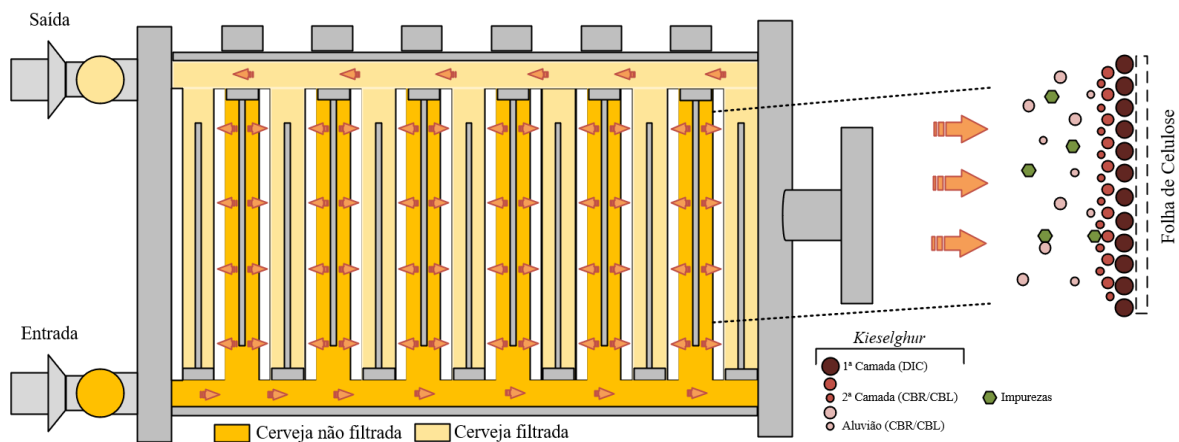


Figura 1.9- Esquema do Funcionamento do Filtro de Placas (Adaptado de [8])

Este material, também apelidado de terra diatomácea, é composto por restos silicatados e fósseis de plantas que ficaram depositados no fundo de lagos e oceanos [8]. Estes depósitos são, posteriormente, minados, processados e granulados em diferentes tamanhos originando diferentes classes de pó [5]. Uma das desvantagens deste recurso é que pode ser um risco para a saúde manuseado na sua forma sólida (por inalação do pó) [5] e é assim que ele é entregue na fábrica. Na cervejeira são utilizados três tipos de *kieselguhr* com funções distintas e tamanhos distintos [21]: DIC (pó grosso de 20-40  $\mu\text{m}$ ), CBR (pó médio de 10-20  $\mu\text{m}$ ) e CBL (pó fino de 2-10  $\mu\text{m}$ ). Para reduzir a exposição dos operadores, além da existência de regras de segurança como o uso de máscara, luvas e avental, foi instalado também o sistema automatizado de *Big Bags* [8]. Este sistema adiciona automaticamente a quantidade e o tipo de *kieselguhr* necessário ao tanque de mistura acoplado em cada filtro, onde é prontamente diluído em água desarejada, com o auxílio de um misturador.

O primeiro passo de um ciclo de filtração é aplicar a pré-camada, constituída por 75 kg de *kieselguhr* DIC diluídos em 400 L de água desarejada. Esta camada, que tem como função apenas suportar a camada seguinte, circula pelo filtro durante 10 minutos para garantir que o pó se distribui de forma uniforme, sendo esperado valores de 543-577  $\text{g}/\text{m}^2$  no filtro. O segundo passo consiste na aplicação da 2ª pré-camada, composta por 60 kg de *kieselguhr* CBR e 20 kg de *kieselguhr* CBL, também diluídos em 400 L de água desarejada. Esta circula no filtro durante 15 minutos, sendo expectável valores de 580-615  $\text{g}/\text{m}^2$  no filtro, com a função de bloquear partículas de menores dimensões que passaram no aluvião. O aluvião, é o terceiro passo relacionado com adição de *kieselguhr* ao filtro, que ocorre ao longo do ciclo de filtração da cerveja. À medida que esta entra no filtro, vão sendo injetado quantidades de CBR e CBL que vão adsorver diversas impurezas e aumentar gradualmente a camada de *kieselguhr* no filtro até este ficar cheio. Isto previne que haja um bloqueio prematuro dos poros pois está sempre a ser criada uma nova camada [8].

O ciclo de filtração acaba quando não há mais cerveja a filtrar ou quando é atingido a carga máxima dos filtros, ou seja, quando as placas já estão saturadas de sólidos. Este processo ainda não é automatizado, sendo a função de um operador vigiar os indicadores de pressão de entrada e saída do filtro. Quando a diferença de pressão entre a entrada e saída do filtro está perto dos 4-5 bar, o ciclo de filtração tem de ser interrompido, sendo que em média dura 18 horas com um aumento de pressão de 0,2 bar/hr. Após esta interrupção, o filtro tem de ser limpo manualmente, abrindo-o e retirando todo o *kieselguhr* acumulado nas placas, que por sua vez são lavadas e esterilizadas.

Após a filtração por *kieselguhr*, a cerveja é diluída e carbonatada para cumprir as especificações de enchimento. Estes dois processos são feitos em simultâneo, na mesma máquina, denominada *Carbo-blender*. Porém, se se tratar de cerveja sem álcool é ainda necessário a adição de diferentes suplementos antes de a submeter a esta etapa. É adicionado óleo de lúpulo que atua a nível organolético da cerveja [22].

Nesta fábrica existem três exemplares de *carboblenders* fabricados pela empresa *Centec*, sendo que, dois foram instalados em 2005 e o terceiro é mais recente, instalado em 2015. Apesar dos modelos antigos apresentarem algumas diferenças para com o novo, o princípio de funcionamento é o mesmo.

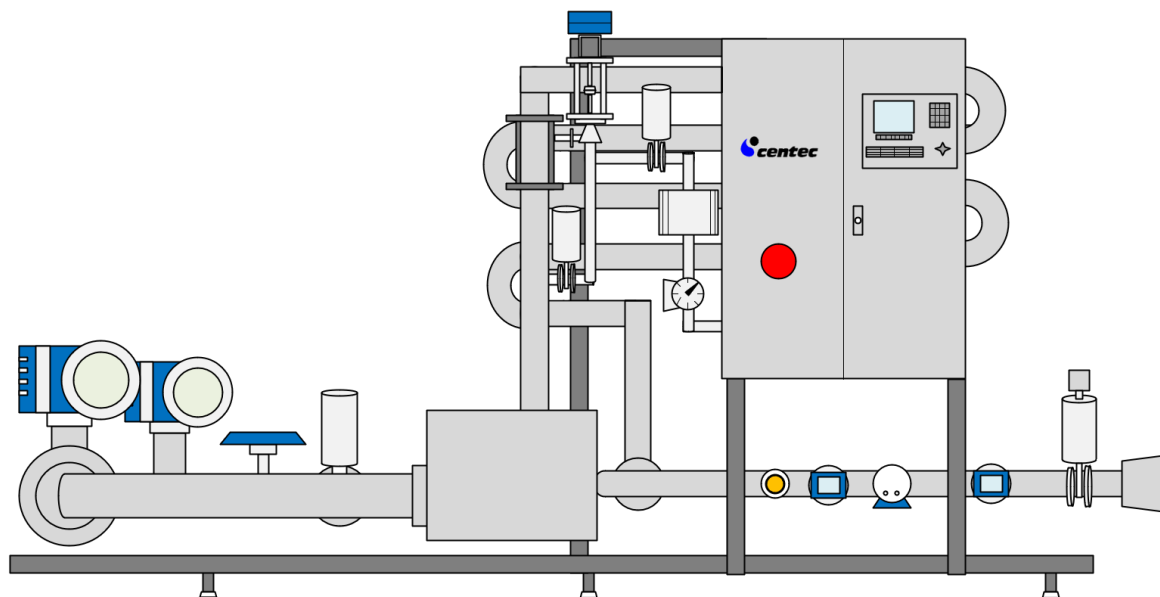


Figura 1.10- Esquema de um Caroblender

O sistema é composto por uma série de instrumentos *in-line* que determinam a velocidade sonora, a densidade, a quantidade de oxigênio e dióxido de carbono dissolvido para controlar a diluição da cerveja. Utiliza caudalímetros de alta precisão e válvulas de controlo pneumáticas operando num controlo *split range* que monitorizam e ajustam o rácio de volume água/cerveja continuamente. O CO<sub>2</sub> é adicionado por uma entrada *Vortex* e completamente dissolvido no percurso, auxiliado por uma válvula controladora de pressão existente no fim do circuito, que aplica uma certa pressão ao sistema. A quantidade de CO<sub>2</sub> é também regulada por uma válvula de controlo pneumático [23]. Para avaliar as medições dos sensores existe uma unidade de avaliação (*mPDS*) que atua como um processador e que calcula continuamente as propriedades mais importantes da cerveja, como os diferentes extratos e o teor alcoólico. Além disto, existe um painel de operações que tem integrado um controlador lógico programável (*PLC*) que monitoriza a adição de água e de CO<sub>2</sub> e atua como consola central onde todo o sistema pode ser controlado pelo operador, que compreende diversas funcionalidades como: controlo do início e final da diluição e carbonatação, escolha do tipo de produto que irá circular no sistema (que tem registado diferentes set-points para cada produto), apresentação de gráficos de diversas variáveis, início e final de *CIP*, configuração de limites e alarmes do sistema, opções de configuração de válvulas e bombas, visualização dos valores medidos em cada sensor e possibilidade de calibração dos mesmos. No entanto, uma das funcionalidades mais importantes é a opção de operar o sistema num modo automático ou num modo manual, onde a unidade de processamento mantém uma percentagem de diluição fixa, atribuída pelo operador [23].

## Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja

André Filipe Carmo e Silva

Na linha 1, está instalado o Carboblender mais recente e é normalmente usado apenas para a diluição e carbonatação de Cerveja X. Este modelo tem um sistema operativo mais recente, com um monitor a cores, e apresenta três sensores: velocidade sonora/densidade, oxigénio e dióxido de carbono. Tem ainda a vantagem de compensar desvios dinâmicos através da integração dos valores de *set-points* de vários parâmetros (extrato primitivo, teor de álcool e CO<sub>2</sub>) e dos valores dos mesmos calculados ao longo do enchimento do tanque [24]. Estes dois valores são, continuamente, comparados e o set-point ligeiramente alterado para minimizar a diferença entre a média de extrato dentro do tanque e o set-point definido na receita ou pelo operador [24].

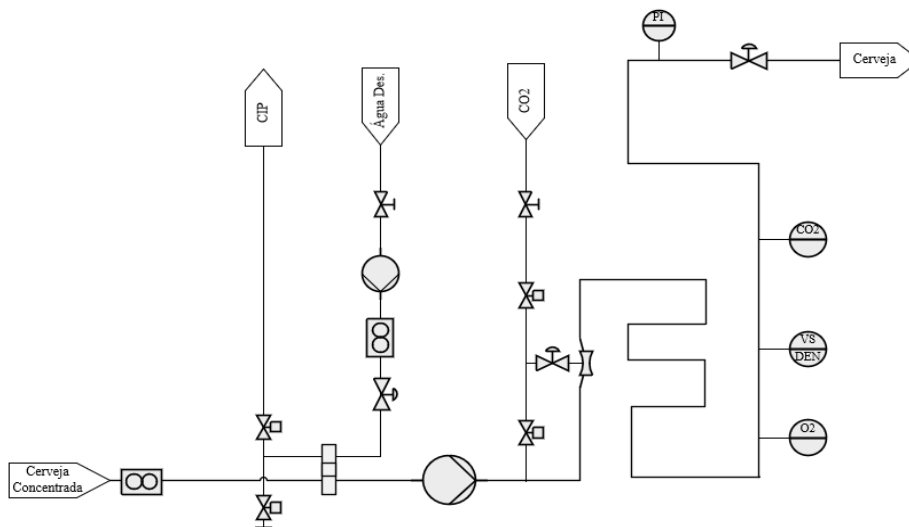


Figura 1.11- Esquema da Configuração do CB 1

Na linha 2 e 3, os carboblenders instalados são iguais. Têm um sistema operativo mais antigo, com um monitor a preto e branco, e não têm a capacidade de integração ou de calcular a média dos diferentes valores medidos e calculados pelos sensores ao longo do enchimento dos tanques. Têm quatro sensores: sensor de velocidade sonora, densidade, dióxido de carbono e oxigénio.

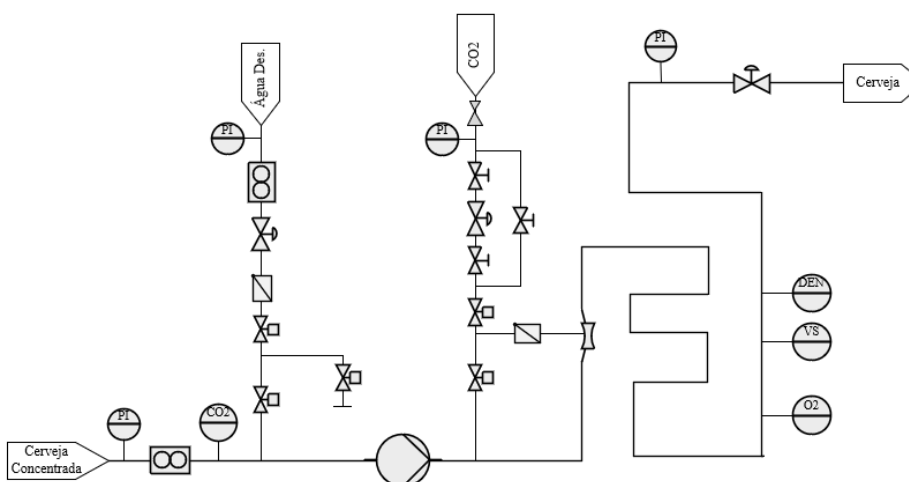


Figura 1.12- Esquema da Configuração do CB 2 e 3



Os sensores de densidade instalados nestas unidades utilizam o princípio da oscilação de um tubo com a forma de um U, feito de aço inoxidável [25]. À medida que cerveja passa neste tubo, a frequência e a temperatura vão sendo medidas [26]. Este sistema atua em *bypass*, existindo um pequeno arrefecedor acoplado ao sensor para que a diferença de pressão direcione o líquido para o tubo, que é mantido a vibrar na sua frequência natural por meios eletromagnéticos [27]. Esta frequência é caracterizada pela seguinte formula [27]:

$$f = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{C}{M + \rho V}} \quad (1.1)$$

Onde:  $f$  = frequência do tubo (Hz)  
 $C$  = constante da mola (N/m)  
 $V$  = volume do tubo (m<sup>3</sup>)  
 $M$  = massa do tubo (Kg)  
 $\rho$  = densidade do líquido (Kg/m<sup>3</sup>)

A frequência natural de oscilação do tubo é dada em função da densidade da amostra que circula no seu interior e, por sua vez, a densidade depende da temperatura a que este se encontra, portanto, são combinados estes dois fatores para calcular a densidade pretendida. Além disto, são também utilizados fatores de calibração para compensar as propriedades específicas inerentes a cada sensor. A fórmula utilizada é a seguinte [27]:

$$\rho(t) = A.T^2(1 + A_1.t + A_2.t^2) - B \quad (1.2)$$

Em que:  $\rho(t)$  = densidade (Kg/m<sup>3</sup>)  
 $t$  = temperatura (°C)  
 $T$  = período de oscilação (s)  
 $A, B$  = fatores de calibração (-)

Os valores determinados são transferidos para o processador através de uma linha com dois fios. O esquema do sensor instalado nos *carboblenders* 2 e 3 encontra-se ilustrado abaixo:

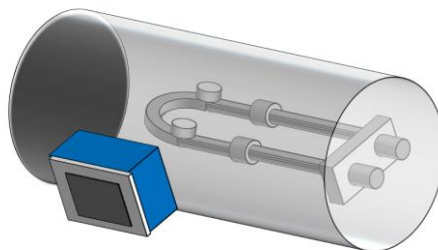


Figura 1.13- Esquema Process Density Transmitter Rhotec TR (Adaptado de [24])

O sensor de velocidade sonora determina a concentração através da medição da velocidade do som e da temperatura [28]. Este é instalado diretamente na linha onde o produto circula e tem a forma de um garfo que contém um transdutor e recetor eletrónicos em cada extremidade [27]. É gerado um som ultrassónico, recorrendo a cristais piezoelétricos, e medido o tempo de propagação na amostra, numa distância conhecida [26]. É utilizado a fórmula [27]:

$$v_s = \frac{s}{t} \quad (1.3)$$

Onde:  $v_s$  = velocidade do som (m/s)  
 $s$  = distancia entre transmissor e recetor (m)  
 $t$  = tempo de propagação (s)

Como a velocidade do som também é altamente dependente da temperatura e, como acontece com o sensor de densidade, são utilizados fatores para compensar este fato e as propriedades inerentes do próprio sensor, é utilizada a equação conjunta [27]:

$$v_s = \frac{A*(1+A_1.T)}{t-B*(1+A_2.T)} \quad (1.4)$$

Em que:  $v_s$  = velocidade do som (m/s)  
 $T$  = temperatura (°C)  
 $t$  = tempo de propagação (s)  
 $A, B$  = fatores de calibração (-)

A informação é transferida da mesma forma, utilizando uma linha de dois fios. Esta forma de medição deteta de forma instantânea diferenças na velocidade sonora, que se traduzem em mudanças na concentração. O sistema mecânico simples, sem partes amovíveis, torna-o muito confiável e sem ser necessário qualquer manutenção [28].

O esquema do sensor instalado nos *carboblenders* 2 e 3 situa-se na imagem abaixo, assim como o sistema instalado no *carboblender* 1, que combina os dois sensores previamente descritos numa só unidade [29].

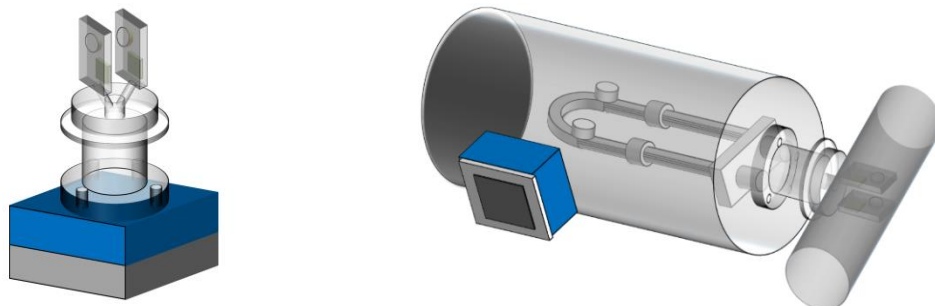


Figura 1.14- Esquema Sonatec TR (esquerda, Adaptado de [27]) / Combitec (direita, Adaptado de [28])

O sistema de carbonatação de cerveja é composto por um injetor especializado e um sensor para o seu controlo. Este sensor tem como princípio a lei de Henry [30]– “A temperatura constante, a quantidade de um tipo de gás que se dissolve num tipo e volume de liquido é diretamente proporcional à pressão parcial do mesmo gás em equilíbrio com o mesmo liquido” [31]:

$$C = kP_{gás} \quad (1.5)$$

Onde,  
 $C$  = solubilidade de um gás (a temperatura fixa) num determinado solvente (M/L)  
 $k$  = Constante de Henry (M/atm)  
 $P_{gás}$  = Pressão parcial do gás (atm)

Utiliza uma câmara onde uma pequena quantidade de cerveja é isolada da corrente principal, 25 mL a cada 20 segundos, e a pressão no interior deste espaço é reduzida para uma pressão inferior à da pressão atmosférica utilizando um pistão que aumenta o seu volume [32]. A pressão resultante será diferente de um líquido não carbonatado de acordo com o volume deste dissolvido no líquido. A diferença destas pressões está na base do cálculo do conteúdo de dióxido de carbono, sendo que o fator temperatura é também compensado. Depois da medição, a amostra é devolvida à linha principal (figura abaixo). [32]

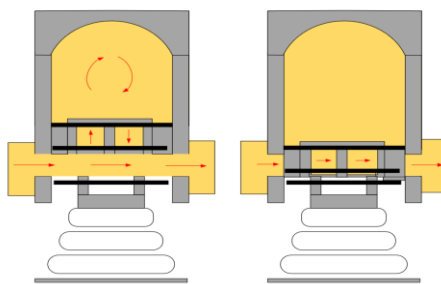


Figura 1.15- Esquema do funcionamento do pistão (Adaptado de [33])

No *carboblender 1*, o sensor é o modelo *Carbotec TR-PT* enquanto que nos restantes é uma versão mais antiga com um princípio de funcionamento semelhante [34]. Ambos os sensores são construídos de forma higiénica e preparados para procedimentos de limpeza *CIP*.

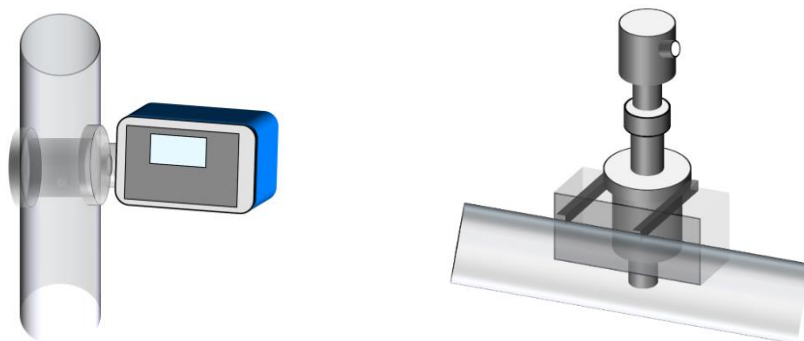


Figura 1.16- Carbotec TR-PT (esquerda, adaptado de [32] ) / versão antiga (direita, adaptado de [34] )

Para introduzir o dióxido de carbono na corrente de cerveja, é utilizado um injetor *Vortex-Venturi*. O CO<sub>2</sub> é adicionado a uma câmara por diversas direções, criando uma atmosfera rica neste gás, onde a cerveja irá circular. Logo depois da injeção de CO<sub>2</sub>, o diâmetro aumenta e, conseqüentemente, a velocidade do fluído diminui, causando uma grande turbulência. Esta turbulência transforma o CO<sub>2</sub> em bolhas muito finas, o que aumenta a área de superfície de contacto com o líquido, facilitando a sua dissolução. Este sistema, alheado ao design do próprio percurso e ao controlo de temperatura e pressão do circuito, ajuda a uma mistura total de CO<sub>2</sub> que diminui a sua influência na medição dos diferentes sensores [35].

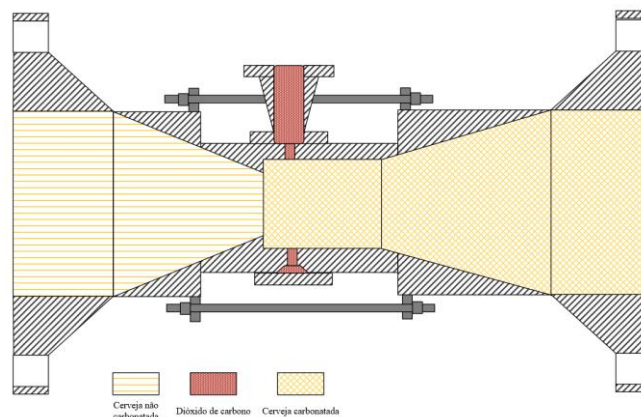


Figura 1.17- Esquema de injeção Vortex-Venturi (Adaptado de [35])

O sensor de oxigénio mede continuamente e assertivamente o conteúdo de oxigénio no líquido. Utiliza um princípio ótico baseado no efeito de absorção dinâmica de luminescência por moléculas de oxigénio. É instalada uma lente que contém uma camada de moléculas indicadoras na parte do sensor que entra em contacto com a cerveja, que é iluminada com uma luz azul-verde. Com o auxílio desta luz, as moléculas presentes na camada indicadora são transferidas para um estado excitado, emitindo uma luz vermelha, que é detetada por um detetor interno [36].

Quando há oxigénio presente no meio, o efeito de luminescência das células indicadoras no estado excitado é anulado, pois, a energia é transferida, através de colisões, para as moléculas de oxigénio. O sinal detetado no internamente vai então diminuindo linearmente com a concentração de oxigénio no meio, sendo isto a base para o cálculo do seu conteúdo no líquido [36].

No *carboblender 1*, o sensor é o modelo *Oxytrans TR*. Nos restantes *carboblenders 2 e 3*, é utilizado, respetivamente, um modelo da marca *Metler Toledo* [37] e *Digox (Dr. Thiedig)* [38] que funcionam com o mesmo princípio.

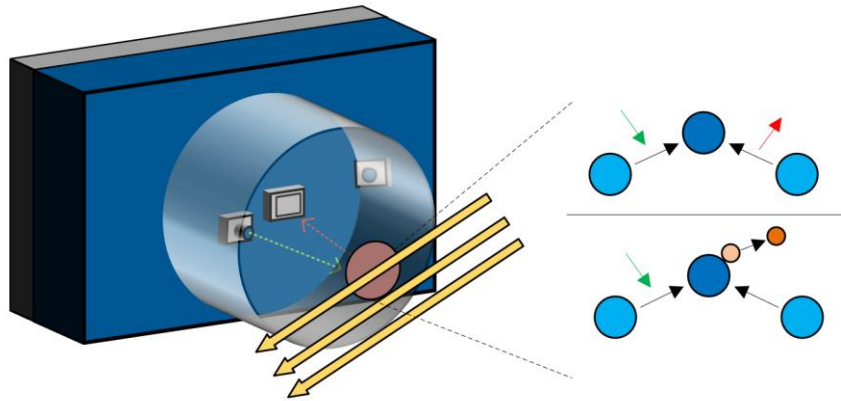


Figura 1.18- Esquema O2 inline sensor Oxytrans TR (Adaptado de [22] )

A unidade de avaliação *mPDS 4000* é um instrumento que coleciona, armazena e processa diversos dados para a monitorização e controlo de soluções com diversos componentes como é o caso da cerveja [12]. Neste caso, é utilizada com a finalidade de calcular as principais propriedades desta, através da informação que recebe dos microprocessadores presentes nos sensores acima referidos [26]. Para isto [27]:

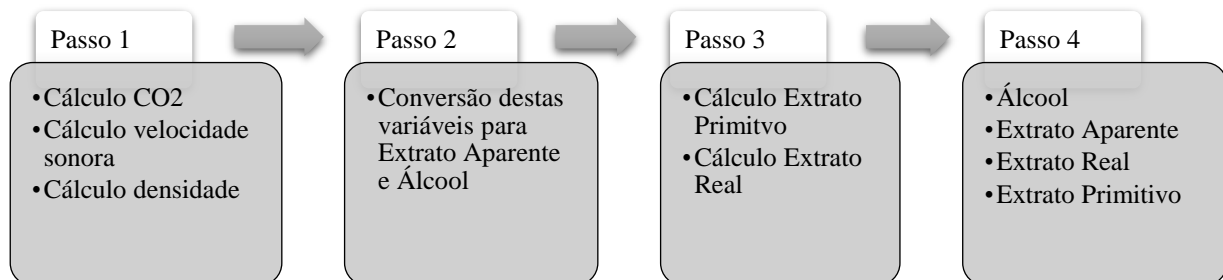


Figura 1.19- Passos para o cálculo das principais propriedades

No passo 1, o conteúdo de CO<sub>2</sub> é tomado em conta para o cálculo dos outros dois parâmetros, pois tem influência nos mesmos, obtendo-se um valor mais exato. Com as propriedades apresentadas no passo 4, esta unidade de avaliação comunica com a consola central do sistema (*PLC MCM 68 no carboblender 2 e 3 e PLC MCM 1200T no carboblender 1*) que calcula a quantidade de água necessária a adicionar para uma diluição correta e atuar no controlador da válvula moduladora de água desarejada. O mesmo acontece com a quantidade de CO<sub>2</sub>, depois de determinada é transferida a informação para o sistema principal e a sua quantidade a adicionar controlada [39].

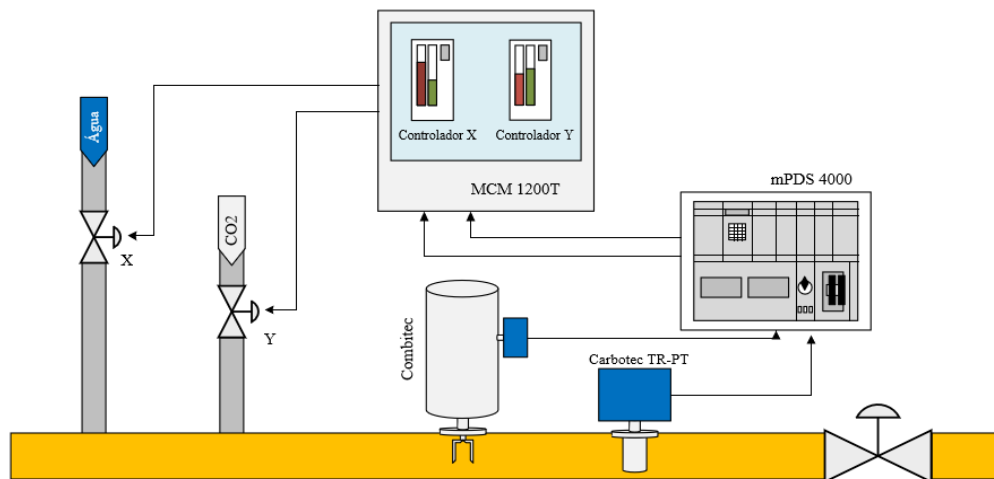


Figura 1.20- Esquema do sistema de controlo (Adaptado de [39])

As utilidades utilizadas neste passo (água desarejada e CO<sub>2</sub>) têm de ser tratadas antes de poderem ser adicionadas à cerveja, de modo a manter a sua qualidade. A água, proveniente da EPAL, é armazenada e descarbonatada [18]. Quando é necessária a sua utilização, sofre um tratamento com ácido clorídrico para a sua desmineralização e redução de pH, circula por um filtro de cartuchos e segue para uma unidade de desarejamento denominada *Aldox*, passando a água desarejada [18]. De seguida, é novamente filtrada, arrefecida num permutador de calor, carbonatada e submetida a uma última filtração. O último passo compreende a irradiação da água por raios ultravioleta para destruição de microrganismos ainda restantes. O dióxido de carbono também é purificado e submetido a diferentes filtros para prevenir alguma contaminação física ou microbiológica [18]. O tratamento destas utilidades é feito em diversas áreas da fábrica.

Finalizada a diluição e carbonatação da cerveja, tem-se um produto, praticamente, final. Antes de passar para os tanques onde é armazenada até ser enviada para a secção de enchimento, circula ainda por um filtro de cartuchos. Este filtro funciona como um *trap filter*, que tem como objetivo recolher pequenas porções de *kieselguhr* que possam ter passado e que, portanto, funciona como um alarme para algum problema na filtração anterior [8]. Caso haja um acontecimento estranho nos filtros de placas, irá resultar num aumento de pressão irregular sentido no filtro de cartucho, que alerta os operadores responsáveis. Estes filtros têm um formato cilíndrico e, no seu interior, existem uma série de cartuchos filtrantes que são desenhados para serem utilizados várias vezes, até se tornarem obsoletos, e podem ser substituídos facilmente.

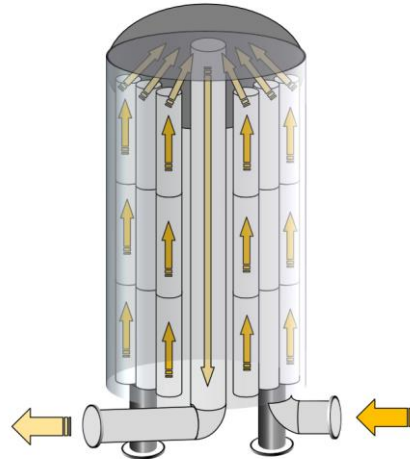


Figura 1.21- Esquema do filtro de cartuchos

De seguida, a cerveja segue para os *TCF's*. Estes tanques armazenam a cerveja até esta ser enviada para o enchimento (no máximo 72 horas). Estes tanques são contra pressionados com  $\text{CO}_2$ , que forma uma camada entre a cerveja e o ar, e ajuda a conservação da cerveja e previne a oxidação por contacto com o oxigénio [18]. É do interior destes tanques que é retirado uma amostra de cerveja para ser analisada no laboratório, com a finalidade de perceber se a cerveja no interior está dentro das especificações nos cinco parâmetros mais determinantes: extrato primitivo, conteúdo álcool, conteúdo  $\text{CO}_2$ , conteúdo  $\text{O}_2$ , turvação e cor.

Na área de filtração existem os seguintes tanques:

Tabela 1.1- Volume dos diferentes *TCF's*

TCF número:	Volume (hL)
9	150
2; 4; 5; 7; 8; 23; 24; 25; 26; 27; 28	390
20; 21; 22	1070
11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19	1200

Caso esteja programado o enchimento de cerveja da marca *Radler*, o procedimento é um pouco diferente. A cerveja filtrada é armazenada e posteriormente é lhe adicionado um extrato de frutas, armazenado em pequenos tanques móveis, que são ligados a uma máquina que regula a sua mistura na cerveja [22]. Depois, esta é recolocada na linha de filtração 2, antes do carboblender, e segue o percurso normal.

Para garantir que a qualidade do produto que circula nesta área é a melhor possível, estão instaurados diversos programas de higienização com a finalidade de eliminar contaminações relacionadas com resíduos de produto presentes nos equipamentos principais ou nas tubagens que os ligam. O plano de limpeza compreende tanto programas de CIP, que garantem a limpeza e desinfeção do interior no interior

dos diversos equipamentos e instalações, como programas de COP que regulam a limpeza exterior de equipamentos e da área para garantir um ambiente de trabalho seguro e sem contaminações [18].

### 1.3 Definição dos Objetivos

Apesar dos grandes avanços tecnológicos na indústria cervejeira, o consumo de energia, consumo de água, gestão de resíduos sólidos e emissões de gases continuam a provar serem desafios económicos e ambientais para as cervejeiras no geral [40].

Na área de filtração, os resíduos sólidos tomam a forma de lamas de *kieselguhr*, provenientes da utilização dos filtros de placas. Este tipo de filtração e, principalmente, este tipo de adjuvante vão ser alvos de alto escrutínio técnico, económico e ambiental nos próximos anos [40]. Olhando para a questão ambiental, o *kieselguhr* é recuperado a partir de minas a céu aberto e constitui um recurso natural e finito que, depois de usado, apresenta o triplo do peso (uma lama que contém água e material orgânico) e tem, como poluente, um processo de reciclagem e recuperação difícil [40]. Além disto, não pode ser ignorado o facto de ser classificado um recurso perigoso para a saúde antes e depois da sua utilização na filtração pela OMS (graças à presença de sílica cristalina, relacionada com problemas nos pulmões), sendo imperativo condições do seu manuseamento seguras [41]. De um ponto de vista económico, a compra de *kieselguhr* para consumo a remoção dos seus resíduos são os principais custos da operação de filtração, que aumentaram à medida que a escassez deste recurso aumente também [40].

A cervejeira de Vialonga é das maiores consumidoras de *kieselguhr* dentro do mundo *Heineken*. Nos últimos anos tem apresentado os consumos anuais apresentados na Figura 1.22:

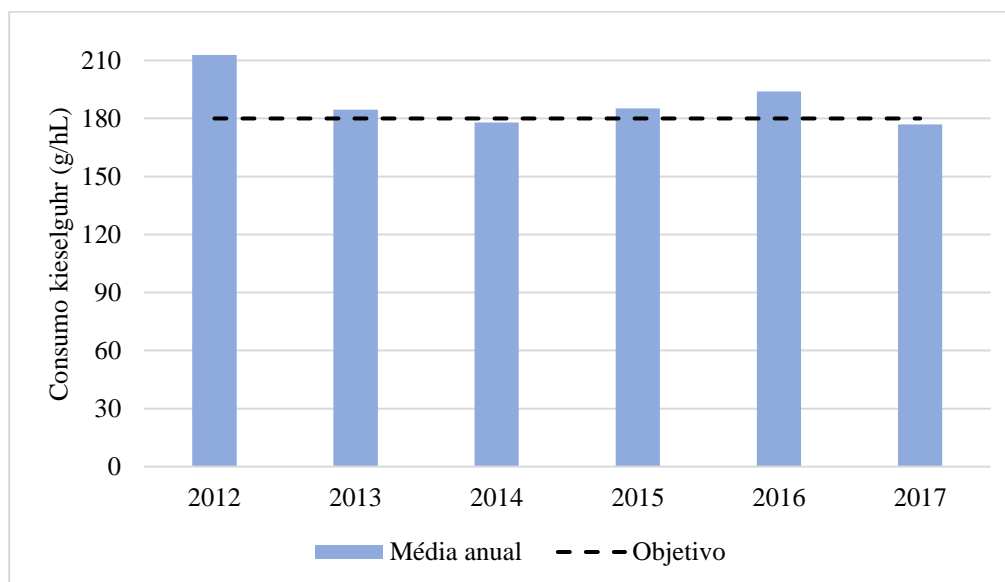


Figura 1.22- Consumo de *kieselguhr* na fábrica de Vialonga



É fácil constatar que, excetuando o ano de 2012, o consumo de *kieselguhr* tem-se mantido próximo do objetivo de 180 gramas por hectolitro de cerveja filtrada definido pela equipa de gestão. No entanto, este valor é superior à média sentida na Europa, em 2006, de 170 g/hL [41], podendo especular que esta média pode eventualmente ter decrescido desde então.

Obviamente há razões para o consumo na SCC ser elevado, como a antiguidade dos filtros instalados na década de 70, mas a administração acredita que existe um espaço para a sua redução, corroborado por um esboço de um estudo efetuado por uma entidade exterior à fábrica para a otimização das receitas da pré-camada e do aluvião que nunca foi realizado. Utilizando o ano mais recente como referência, a compra do material em questão teve um custo que rondou os 170 000 € e o tratamento dos resíduos da sua utilização teve um custo aproximado de 45 000 € e, portanto, o objetivo do trabalho realizado nesta matéria foi a redução destes custos, otimizando a utilização deste recurso, sem prejudicar a produção.

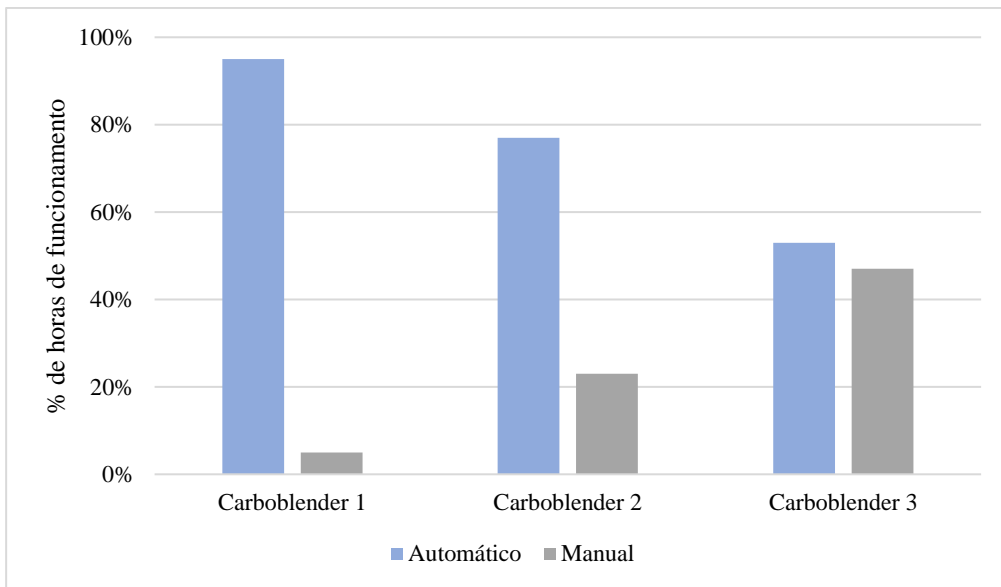
Ao mesmo tempo, um investimento foi feito na automatização de processos na área com a introdução dos *carboblenders*, que numa situação ideal, permitem que a diluição e carbonatação da cerveja seja feita de um modo automático e com pouca a nenhuma intervenção humana, excetuando na ocorrência de um erro ou falha.

No entanto, graças à imprecisão das medições e a desconfiança que os operadores têm para com estas máquinas, existe uma grande interferência manual no processo. Isto torna o procedimento da área de filtração menos eficiente e menos estável, pois assim que começa a diluição da cerveja requer que um operador dedique muita atenção ao mesmo e, caso haja uma desatenção, pode-se acabar com tanques de cerveja inteiros fora das especificações. Isto significa que por um lado pode ter-se despendido uma maior quantidade de água do que a necessária ou que houve um desaproveitamento da cerveja não diluída, produzindo menos quantidade. A resolução deste tipo de falhas requer fazer alterações em receitas da fábrica de modo a produzir um *batch* de cerveja que possa ser misturado com o tanque fora de especificação, ou até mesmo o desperdício total do tanque, com custos para a empresa.

Consequentemente, não havendo confiança nos valores do *carboblender*, significa que todos os tanques que são cheios têm de ser analisados pelo laboratório, concluindo ou não se estão dentro das especificações.

A gestão da área pretende continuar a modernização do espaço, investindo na integração dos *carboblenders* no sistema *Brewmax*, sistema informático para controlo e monitorização de todas as operações na fábrica, e no investimento de novos tanques automatizados com um volume muito superior aos presentes neste momento. Todavia, antes deste passo, quer tentar perceber porque é que o rendimento retirado destas máquinas não é o esperado (apresentado na Figura 1.23, assumindo algum erro, pois são dados registados manualmente pelos operadores) e, por isso, os objetivos do trabalho aqui realizado pretende perceber se, de facto, existe algum problema com as próprias máquinas e, depois de resolvida esta questão, diminuir a influência humana no processo, permitindo o foco no melhoramento de outras

partes da área, e começar as bases para o aumento a independência da área de filtração para com o laboratório.



*Figura 1.23- % de horas de funcionamento em automático ou manual em 2017*

## 2 Introdução

### 2.1 A Cerveja

As bebidas fermentadas sempre tiveram um papel único e preponderante na maior parte das sociedades históricas pela sua importância económica e cultural [42]. Particularmente, a produção de cerveja é uma atividade humana conhecida desde o início da civilização e urbanização que aconteceu no período Neolítico [43]. Este produto, não é só avaliado pelas suas propriedades físico-químicas, mas também pelas suas ligações religiosas, culinárias e étnicas que evidenciam que a história da cerveja não é só feita de avanços científicos e tecnológicos, mas uma que também representa as próprias pessoas (os governos, a economia, os rituais e a sua vida diária) [43].

Escrever uma história da exata e determinar quando foi criada a primeira cerveja é algo extremamente difícil de ser alcançado uma vez que a pesquisa se encontra limitada, por um lado, pela própria definição do que é uma cerveja (se apenas uma é uma bebida fermentada a partir de cereais ou algo que se assemelhe à definição dos dias de hoje) e por outro, pela natureza e fiabilidade das fontes [43]. Os conhecimentos sobre a produção de cerveja provêm de artefactos arqueológicos, comprovados pela presença de resíduos de cereais e a presença de oxalato que podem ser indicativos de produção (dependendo das condições que rodeiam estes vestígios) mas não são provas definitivas, e de documentos escritos que apresentam dificuldades de interpretação derivado às modificações de termos e definições inerentes às evoluções linguísticas [43].

Todavia, é assumido como factual que a cerveja era um dos produtos favoritos da antiga humanidade com os primeiros registos da sua produção datam das civilizações Suméria e Assíria (com cerca de 10 mil anos) e outras civilizações como a Babilónica e Egípcia onde existem testemunhos de uma indústria cervejeira florescente [44]. A partir de 1000 d.C, a cerveja começa a ser algo comum, sendo bebida pelos povos Celtas, Germanos e Escandinavos e, durante a Idade Média, surge a sua produção em grande escala por mosteiros encontrados na Suíça e na Alemanha [45]. É aqui na Europa que a sua produção passa de algo doméstico a ser efetuada por artesões especializados (desde o século VII) e ao aparecimento de pequenas fábricas (a partir do século XII) [45]. Este crescimento levou ao decretamento da Lei da Pureza, no século XVI pelo Guilherme IV da Baviera, que determinou os ingredientes que poderiam ser utilizados na produção de cerveja e que se mantiveram quase inalterados até aos dias de hoje: cevada, lúpulo, malte e água.

Graças à revolução industrial (século XVIII) e das descobertas de Louis Pasteur (nomeadamente o processo de pasteurização) e do Professor Emil Hansen (isolamento de leveduras responsáveis pela fermentação) no século seguinte, foi possível assegurar a produção a grande escala e a globalização da cerveja.

Nos dias de hoje, a cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no mundo e a mais popular na categoria de bebidas depois do chá e da água, existindo de tantas formas e sabores e com qualidades diferentes que se encaixam em qualquer ocasião [46][47].

### **2.1.1 Principais Ingredientes**

Não existe maneira de fabricar um qualquer tipo de cerveja sem a utilização dos seus principais ingredientes, sendo que, diferentes variedades de cervejas existentes em todo o mundo correspondem apenas aos diferentes tipos ou proporções de utilização destas matérias-primas, nomeadamente: água, uma fonte principal de amido, lúpulo, uma fonte secundária de amido (adjunto) e leveduras. No entanto, também existem diferentes cervejas ou processos que utilizam clarificantes.

#### Água

A água é o principal constituinte da cerveja, representando mais de 90 % desta. Ainda assim nem todas as águas, mesmo de nascente, são adequadas para o fabrico de cerveja uma vez que os seus componentes têm uma influencia no sabor final da cerveja, sendo esta a razão para alguns tipos de cerveja terem um carácter geográfico [48]. Hoje em dia, as cervejeiras têm as suas próprias estações de tratamento de água possibilitando o seu tratamento específico para o tipo de cerveja que produzem [49].

As principais qualidades da água do interesse de um cervejeiro são a acidez e a dureza. A primeira, determinada a partir do pH, é particularmente importante na constituição do mosto uma vez que o seu grau de acidez ronda os 5,8 (devido à ação conjunta de fosfatos, diversos compostos de nitrogénio e ácidos orgânicos) e necessita de se manter a baixo de 6 pois acima deste valor existe um efeito negativo na atividade enzimática (causando uma cerveja turva e com o sabor alterado [49]). A segunda, determinada pela quantidade de cálcio e magnésio contida na água, é determinante no tipo de cerveja produzida. Águas moles (2°-10°) são ideais para cervejas *Pilsners* enquanto que águas duras (acima de 15°), ou águas ricas em compostos, são ótimas para a produção de cervejas do tipo *Stout* [50].

#### Fontes de amido

As fontes de amido numa cerveja são os responsáveis pelo material fermentescível e são determinantes no sabor desta. O mais usual é a utilização de cevada, previamente maltada, como fonte de carbonos principal e a utilização de adjuvantes (não maltados) como milho, trigo, sorgo, aveia ou até diferentes tipos de açúcares, como fonte secundária [51]. A existência de uma segunda fonte de amido é devido a razões económicas e pode chegar até 30 % (na europa) e 50 % (nos estados unidos da América) da total quantidade de cereais utilizada [52].

O processo de maltagem da fonte primária de amido é necessário porque o amido dos grãos não é solúvel em água e para a produção de enzimas que transformam este amido em açúcares fermentescíveis [49]. O cereal escolhido para este processo, normalmente, é a cevada uma vez que esta apresenta

vantagens sobre os outros tipos de cereais, como: uma regulação e controlo mais fácil durante a germinação (passo da maltagem), o palato superior de cervejas produzidas a partir de cevada, o seu crescimento é feito em climas húmidos e em solos com uma quantidade de nutrientes moderada (cultivada em praticamente todo o mundo) e as suas cascas têm a capacidade de produzir uma camada filtrante que auxilia a filtração do mosto (passo do processo cervejeiro) [52]. No entanto, nem todos os tipos de cevadas são indicados para a produção de cervejas.

Os tipos de cevada são primeiramente distinguidos entre variedade de inverno e verão e depois sobre o número de fileiras que contêm. Um maior número de fileiras, origina maltes com maiores índices de cascas, proteínas e enzimas que podem ter algumas vantagens na utilização de adjuvantes. Ao mesmo tempo, uma vez que as proteínas não são fermentescíveis, é também uma vantagem a cevada com um baixo teor proteico [49] [52].

### Lúpulo

O lúpulo é um dos ingredientes mais antigos utilizados na produção de cerveja e ainda hoje tem um papel indispensável por várias razões [49]. Com a adição deste, a cerveja ganha o sabor amargo característico, um aroma específico (floral, cítrico ou erval) e tem propriedades que promovem a clarificação [52]. Além disto, contribui também para a estabilidade da espuma (aumentando o tempo que esta dura) e atua como um antisséptico [52].

A planta *Humulus lupulos* é uma trepadeira, que pertence à família *Cannabidaceae*, e é dioica [49]. Isto significa que os machos e as fêmeas crescem separadamente e só as últimas interessam aos cervejeiros, uma vez que é nestas que crescem os cones de lúpulo que depois são colhidos, secos com ar quente para reduzir o teor de humidade, prensados e armazenados num local escuro, seco e frio de modo a evitar a sua oxidação [49] [52]. Estes cones podem ainda ser transformados em *pellets*, pó ou extrato.

Existem diversas variedades de plantas de lúpulo que conferem perfis de sabor diferentes à cerveja, cada uma com propriedades específicas que estão relacionadas com a quantidade de lupulina, taninos, óleos essenciais e outras substâncias. Os aromas fornecidos à cerveja dependem também da forma a que o lúpulo é adicionado e também do local, dentro do processo, em que esta adição é efetuada [51].

### Leveduras

A levedura é um fungo unicelular sem o qual não era possível produzir cerveja. Esta metaboliza os açúcares extraídos dos cereais (processo de fermentação), produzindo álcool e dióxido de carbono. As leveduras cervejeiras pertencem à família *Saccharomycetaceae* e ao género *Saccharomyces*, sendo que a estirpe influencia o perfil organolético da cerveja final [52].

No sector industrial são utilizadas apenas estirpes puras de leveduras e podem ser divididas em duas categorias: leveduras de alta fermentação e leveduras de baixa fermentação [49]. As leveduras de alta fermentação são geralmente *Saccharomyces cerevisiae*, que produzem cervejas do tipo Ale a temperaturas de fermentação entre os 15 e os 25 °C e, no final da fermentação, mantêm-se perto da superfície do líquido. As leveduras de baixa fermentação são geralmente da estirpe *Saccharomyces carlsbergensis*, que produzem cervejas do tipo Lager a temperaturas de fermentação que variam dos 5 aos 15 °C e que se depositam na fundo dos tanques de fermentação quando esta acaba [51].

### Clarificantes

Existem algumas cervejeiras que adicionam agentes clarificantes de modo a melhorar o aspeto e turvação da cerveja, que podem ser encontrados em quantidades mínimas no produto final. Exemplos destes agentes são o kieselguhr ou perlite adicionados na filtração, carvão ativado utilizado para corrigir pequenos desvios no sabor pretendido ou hidrogeles e xerogeles adicionados para promover a precipitação de complexos proteicos [52].

## **2.1.2 Processo Cervejeiro**

O processo para a produção de cerveja compreende muitas fases que podem ser adaptadas para as condições específicas de cada fábrica, apesar de todos partilharem o mesmo objetivo de transformar os açúcares da cevada maltada em álcool com a maior eficiência possível sem comprometer a qualidade do produto final. Dependendo da capacidade da fábrica, o processo pode começar pela receção e tratamento da própria cevada (pressupondo que existe uma área de maltagem incorporada nas instalações) ou pela receção do malte já pronto.

No primeiro caso, a cevada necessita de ser submetida a uma série de etapas (Figura 2.1) que promovam a germinação em condições controladas e, posteriormente, os grãos secos de forma a permitir a sua conservação [45]. Esta germinação é necessária, como referido anteriormente, para o desenvolvimento de enzimas, para a degradação dos componentes da parede celular e para alcançar diferentes características de cor e aroma [52]. Este processo necessita de ser otimizado, num ponto de vista económico, para maximizar o rendimento de extrato e as perdas de malte [52].

O primeiro passo da maltagem é a limpeza e calibragem da cevada, que deve ser seguida de uma secagem que reduza a humidade dos grãos para os 12 %, que permite o seu armazenamento sem danificar o embrião [45] [52]. É também recomendado uma aeração periódica desta cevada armazenada para remover o dióxido de carbono que esta emana, de forma a manter as instalações mais seguras e conservar a germinabilidade dos grãos [52].

Depois disto, segue-se a molha da cevada. Esta, é efetuada em tinas circulares ou quadrangulares que necessitam de estar equipadas com um sistema que assegure a chegada de oxigénio a todos os grãos de cevada para evitar a sua asfixia (uma vez que o aumento do teor de humidade despoleta a respiração

dos grãos) [45] [52]. A água utilizada neste processo necessita, no mínimo, de ser potável. A molha é realizada através de *pneumatic steeping*, que permite um rápido incremento da humidade nos grãos e uma melhor capacidade de germinação [52]. Esta técnica consiste na alternância de períodos de molha com períodos de seca, com o princípio de aumentar o teor de humidade da cevada para 30 % no primeiro período de molha, seguido por um período de seca (de 16 a 24 horas) que reduz a sensibilidade dos grãos à água [52]. A segunda molha eleva a humidade para 38 % que proporciona o começo da germinação no prazo de 14 a 20 horas no período seco, sendo que a última molha é já efetuada dentro das caixas de germinação para elevar o seu teor de humidade para 45 % [52].

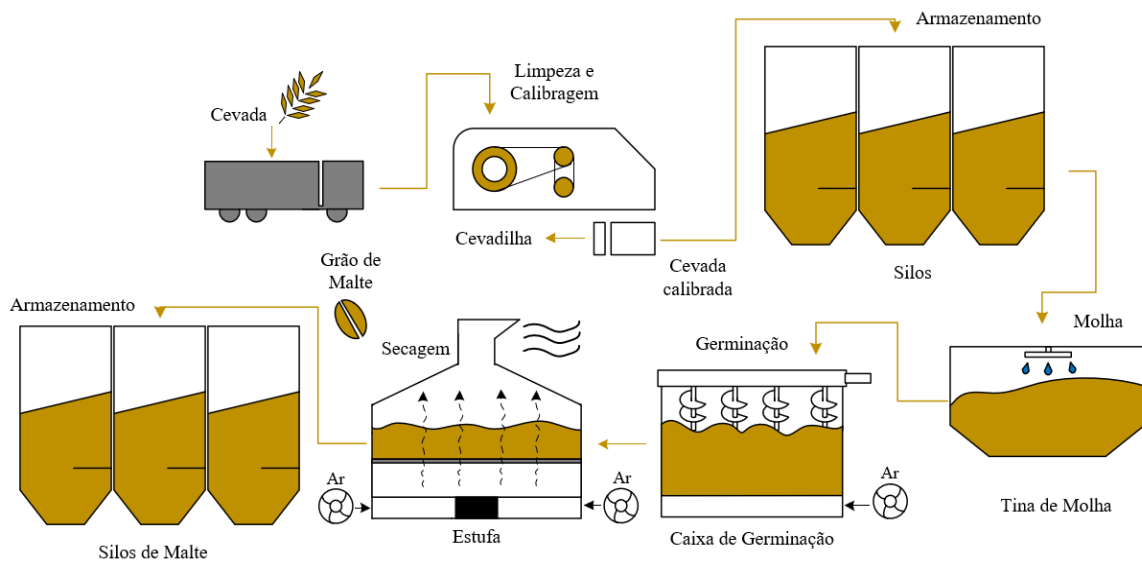


Figura 2.1- Processo de maltagem (Adaptado de [49], [53])

A germinação é a etapa onde o grão desenvolve a radícula e a plúmula, transformando-se em malte verde [49]. Isto é provocado com o objetivo de criar e aumentar a produção de enzimas hidrolíticas como hemiceluloses, enzimas proteolíticas, amilases e fosfatases, que irão ser necessárias mais adiante no processo [52]. A germinação necessita de ser controlada para promover as alterações metabólicas desejadas, adaptando as condições de [52]:

- Humidade – O teor de humidade do malte deve ser mantido igual ao inicial durante todo o período de germinação;
- Temperatura – As gamas de temperaturas para a germinação ideal encontram-se dentro dos 14 a 18 °C, dependendo a técnica utilizada para a germinação (germinação com aumento de temperatura, germinação com temperatura constante ou a mais comum, germinação com diminuição de temperatura);
- Rácio de ar para dióxido de carbono – Numa primeira fase é necessária uma maior oxigenação da camada de malte para a formação de endoenzimas e, numa segunda fase de modificação, é aumentado moderadamente o teor de dióxido de carbono para inibir o crescimento;
- Tempo – Geralmente, a cevada permanece nas caixas de germinação cerca de 5 dias.

O método mais comum para a germinação é a disposição do malte dentro de uma caixa, numa camada em profundidade, com um fundo perfurado que permite a circulação de ar humidificado pela cevada e dispositivos para a revolver periodicamente [45].

Quando é atingido o nível de desenvolvimento desejado, é imperativo interromper o processo de germinação do malte verde. Isto é conseguido através da secagem. Outro efeito deste processo é a remoção do sabor característico deste malte, substituindo-o com o aroma específico e a cor característica do malte requerido. A cor gerada está positivamente correlacionada com a força do sabor do malte, podendo ser utilizados vários maltes de cores diferentes para conferir cor e sabor à cerveja final [51].

A secagem do malte verde húmido tem de ser efetuada de maneira progressiva, uma vez que este é muito sensível a temperaturas altas, para reduzir ao máximo a destruição de enzimas [45]. Numa primeira fase, tomando em consideração a sensibilidade térmica, é reduzido o teor de humidade do malte até aos 20 % (ponto higroscópico) utilizando uma grande aeração a baixas temperaturas [52]. Numa segunda fase, a secagem é efetuada com uma aeração baixa a temperaturas sucessivamente mais elevadas, até se atingir um teor de humidade de 4 %, que possibilita o armazenamento do malte (depois de removidas as radículas e de ser polido) [52].

Com o processo de maltagem concluído ou começando a produção de cerveja com a compra de malte, segue-se o processo ilustrado na Figura 2.2, começando pela brassagem. Aqui, o objetivo é solubilizar os componentes do malte de cevada e dos adjuntos utilizados, separa-los das cascas e material indesejado, ferver os açúcares líquidos com lúpulos para adicionar sabor e aroma e arrefecer o mosto para a temperatura apropriada para a fermentação [54].

Primeiramente, os grãos de malte necessitam de ser moídos [55]. Este processo mecânico tem grande influência nas transformações químicas e biológicas que advêm no seu seguimento [52]. As cascas devem ser esmagadas o mínimo possível para que não se dissolvam e libertem compostos que impactem a cor e o sabor da cerveja e para que formem uma camada filtrante eficaz [52]. Por outro lado, a moagem tem de ser capaz de triturar o endosperma do grão para expor os extratos (amido) no seu interior [54].

A moagem pode ser efetuada com água ou vapor, mas o mais comum é a seco, utilizando moinhos com dois ou mais rolos [49]. O primeiro par de rolos são de natureza rugosa para abrir o grão, o segundo par mói as cascas e o terceiro reduz o triturado a farinha [49]. O malte moído ou triturado é apelidado de *gritz*.

A este *gritz* é adicionado água quente (também chamada de licor cervejeiro) que desencadeia o processo de empastagem [55]. As substâncias solúveis são imediatamente dissolvidas na água, mas ainda existem muitas outras que necessitam da ação de enzimas para isto acontecer [54]. A atividade enzimática é controlada pela temperatura da água, que é aumentada gradualmente (com pausas pelo



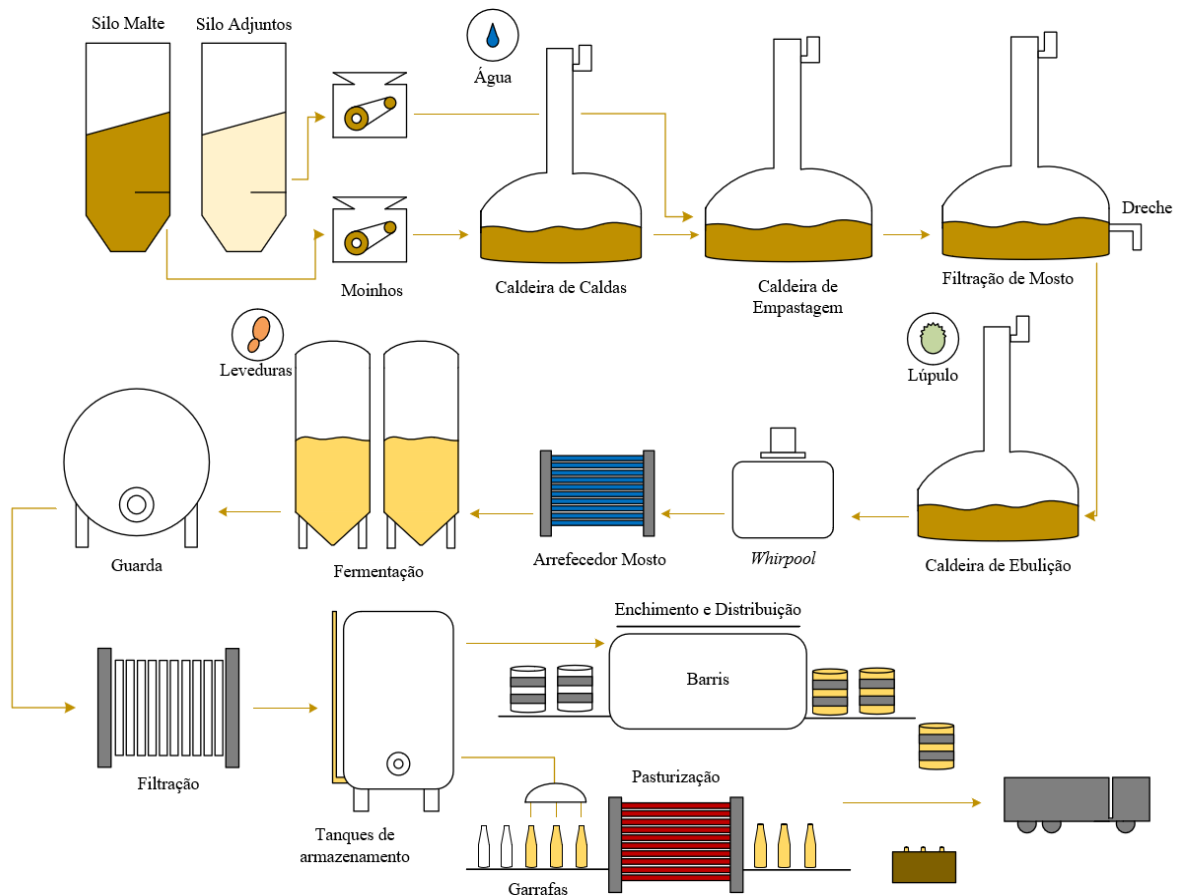


Figura 2.2- Processo de fabricação de cerveja (Adaptado de [53], [56])

meio) para regular a atividade de certos grupos de enzimas [52]. Quando a temperatura da água se encontra a rondar os 50 °C acontece a primeira pausa (proteolítica), zona ótima para a hidrólise das proteínas no meio [49]. A segunda pausa acontece por volta dos 65 °C, a pausa de sacarificação, onde ocorre a gelatinização do amido, que facilita a sua degradação para açúcares fermentescíveis [49]. O passo final é elevar a temperatura para perto dos 78 °C de modo a parar a atividade enzimática e maximizar a fluidez da mistura [49].

O produto final de empastagem, o empaste, consiste numa mistura entre substâncias insolúveis (a dreche) e de substâncias dissolvidas (o mosto). O mosto é a parte importante para a produção de cerveja e por isso necessita de ser separado dos restantes resíduos através de uma cuba-filtro ou de um filtro vertical [52]. O mosto clarificado, assim como a água de lavagem utilizada para retirar o máximo possível da dreche, são enviados para a caldeira de ebulição [52]. O material da dreche pode ser vendido para alimentação de gado [54].

Na caldeira de ebulição, o mosto é fervido e são lhe adicionados os lúpulos. Este processo tem dois objetivos fundamentais que são a ocorrência de reações térmicas e a evaporação da água até atingir o extrato necessário [52]. Destas reações que ocorrem dentro da caldeira, uma das mais importantes é a isomerização e solubilização dos ácidos que providenciam o sabor amargo, originários do lúpulo, que são adicionados no início da fervura [51]. É também possível adicionar lúpulo no final do processo de

ebulição, que quando fervidos a temperaturas mais baixas durante pouco tempo, apenas libertem óleos que aromatizam e garantem sabor à cerveja [55].

Outro aspeto importante deste tratamento, é que praticamente pasteuriza o mosto, eliminando qualquer contaminação microbiológica [54]. A atividade enzimática é também cessada pelo efeito da temperatura e as proteínas acabam por se tornar hidrofóbicas e insolúveis, coagulando [52].

Estes compostos à base de nitrogénio que se encontram coagulados necessitam de ser removidos para não influenciar tanto velocidade de fermentação, como a cor, o sabor e a espuma final da cerveja [52]. Isto é feito numa centrífuga ou com um *whirpool*. O princípio de funcionamento é utilizar a rotação do mosto para depositar as partículas sólidas no centro do fundo do equipamento, e retirar o clarificado por outra saída [54].

Antes da fermentação é ainda necessário arrefecer o mosto clarificado e lupulado, uma vez que a leveduras que serão adicionadas posteriormente não toleram altas temperaturas. O arrefecimento é efetuado num permutador de placas com o auxílio de água. A temperatura para qual é necessária arrefecer o mosto depende se é utilizada uma técnica de baixa ou alta fermentação [52]. Normalmente, é também nesta fase que é introduzido oxigénio no mosto, para possibilitar a fermentação [52].

O processo de fermentação é iniciado com a adição de levedura ao mosto, dentro de fermentadores verticais ou horizontais [52]. Os principais produtos resultantes da fermentação são o etanol e o dióxido de carbono (Figura 2.3), no entanto, são também produzidos uma panóplia de outros como carbonilos, compostos que contêm enxofre, álcoois alifáticos e aromáticos, ésteres e ácidos orgânicos [52]. Estes, são de extrema importância para as propriedades e qualidades da cerveja resultante. Ao mesmo tempo, cada um destes *by-products* confere um sabor e odor diferentes e, portanto, as suas combinações originam perfis organoléticos diferentes nas cervejas produzidas, sendo a sua produção influenciada pelo cervejeiro (através da escolha do tipo de levedura, temperatura de fermentação e outras condições) [55].

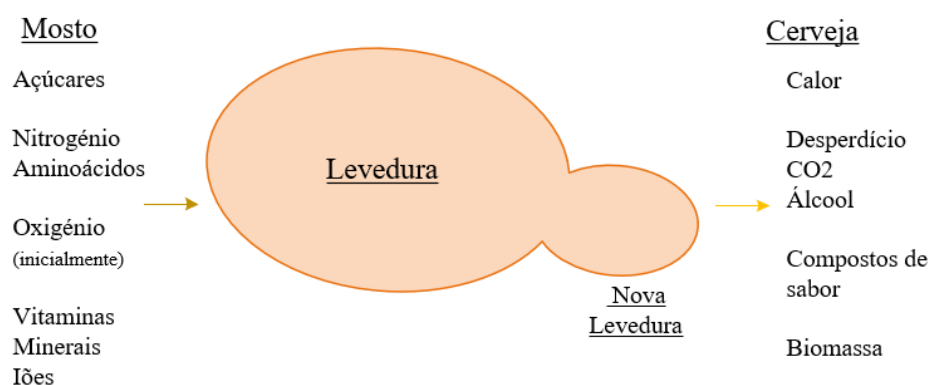


Figura 2.3- Esquema da fermentação na levedura (Adaptado de [57])

A fermentação é dividida em duas fases distintas: a aeróbia e a anaeróbia [49]. Durante a primeira fase, as leveduras consomem oxigénio para o seu crescimento e para a sua reprodução (sendo que aumenta a sua massa inicial em duas ou três vezes). A segunda fase, quando o oxigénio do meio se encontra esgotado, é quando as leveduras passam a utilizar os açúcares fermentescíveis como a sua fonte de energia [49]. Quando, por sua vez, os açúcares disponíveis no meio se esgotam é finalizada o processo de fermentação primária e iniciada a secundária (ou maturação) [55]. O processo de maturação efetuado na presença das leveduras tem como objetivo a redução dos valores de diacetil (um subproduto muito prejudicial ao sabor da cerveja) até um nível aceitável, através da sua reabsorção pelas mesmas [52].

No final deste processo de reabsorção, caso se trate de uma levedura de fermentação alta, esta aglomera-se no topo do fermentador e é retirada [52]. No caso de uma fermentação baixa, as leveduras precipitam-se para o fundo do recipiente (normalmente com uma geométrica com um fundo cónico), e são daí separadas da cerveja verde [52]. A restante parte da maturação é já realizada nos tanques de guarda, onde a cerveja é armazenada a temperaturas baixas (dos 0 aos -2 °C) [52]. Nesta fase, a cerveja é carbonatada com dióxido de carbono até ao nível desejado (através do aumento da pressão) e é esperado que esta atinja um maior grau de clarificação, uma vez que as leveduras restantes e proteínas floculam, e o seu palato é refinado [49]. A guarda da cerveja dura entre uma a duas semanas [52].

Apesar da cerveja estar perfeitamente pronta para consumo depois da sua maturação, é ainda filtrada antes de partir para o enchimento. Esta filtração tem como objetivo a clarificação da cerveja (que contêm ainda algumas partículas sólidas como leveduras, complexos proteicos e resinas de lúpulo) e o melhoramento da sua estabilidade biológica e físico-química [52]. Este processo é realizado a baixas temperaturas (dos 0 aos -2 °C) e com o mínimo incremento de oxigénio possível [52].

O método utilizado para desempenhar a clarificação da cerveja depende de muitos fatores como a capacidade da fábrica, questões técnicas, condições económicas ou até a filtrabilidade do próprio produto [52]. No entanto, o mais comum é a utilização de filtros de placas, filtros de folhas à pressão ou filtros de cartuchos para uma filtração com auxílio de adjuvantes (como kieselguhr ou perlite), ou centrifugas, para uma pré-clarificação [52]. Esta pode ser completada com uma clarificação final utilizando folhas ou cartuchos de celulose ou utilizando uma filtração estéril com membranas [52].

Existe também a hipótese de adicionar um clarificante antes da filtração, que previne a formação de complexos proteicos e facilita a filtração destes compostos que causam turvação na cerveja [52]. Estes clarificantes como poli-venil-poli-pirrolidona, geles à base de sílica e agarose funcionam como adsorventes destas partículas e ficam retidos nos filtros utilizados, podendo ser recuperados e reutilizados [52].

Depois da filtração, a cerveja é armazenada em tanques contra pressionados com CO<sub>2</sub> (criando uma camada protetora entre a cerveja e o ar), privilegiando a manutenção da qualidade desta. Qualquer

tipo de alteração que gere um problema é muito difícil de retificar nesta fase, sendo então imperativo manter sempre uma barreira física entre o ar, partículas estranhas ou microrganismos [52].

O enchimento da cerveja necessita de ser feito em condições de pressão para evitar a perda de dióxido de carbono e está sujeito a diversas regulações legais como a etiquetagem, capacidade da embalagem ou a tolerância volumétrica [52]. Geralmente, existem quatro possíveis formas de embalagens para cerveja: barris, tanques, garrafas ou latas.

É também durante este processo de enchimento que a cerveja sofre a pasteurização. Podem existir duas formas de realizar este procedimento, dependendo da altura em que é realizada. Se for efetuada antes do enchimento para um recipiente, é denominada uma pasteurização Flash, em que a cerveja é esterilizada com o uso de um permutador de calor [18]. Caso seja efetuada depois da cerveja se encontrar dentro de um recipiente, denomina-se pasteurização Túnel, e é feita a partir de jatos de água quente durante um certo período de tempo [18]. Depois de tudo isto, a cerveja está pronta para ser enviada e apreciada pelos seus consumidores.

Numa nota paralela, todo o processo acima descrito pode sofrer alterações dependendo do tipo de técnicas aplicadas pela cervejeira em questão. Produções especiais como cervejas dietéticas, cervejas de nutrientes, cervejas sem álcool, cervejas de trigo e cervejas sem glúten requerem um processo ligeiramente diferente de uma cerveja normal. Podem também existir cervejeiras com a capacidade de produzir refrigerantes a partir da mistura de cerveja normal com limonada, cola, sumos ou outros ingredientes.

Adicionalmente, também é importante referir a popular técnica de *High-Gravity Brewing*. Este procedimento é extramente popular na indústria cervejeira atual pela sua grande vantagem de permitir uma maior capacidade de produção, sem alterações às infraestruturas e equipamentos já instalados. A principal diferença deste método para a situação normal é que o mosto produzido na brassagem é feito para apresentar uma maior concentração de açúcares fermentescíveis (extrato primitivo), que não pode ser superior a 17 % (normalmente ronda os 11 a 12 %) para não alterar o rácio de subprodutos e, consequentemente, alterar o sabor da cerveja [52]. Algures no processo adiante, normalmente antes ou depois da filtração, o conteúdo de extrato primitivo é ajustado para o nível desejado a partir de água devidamente tratada (esterilizada, desarejada e carbonatada) [52].

### 2.1.3 Qualidade

A qualidade de um produto pode ser definida como o conjunto de características que determina a sua desejabilidade e que podem ser controladas pelo seu produtor, de modo a manter certos padrões [58]. Normalmente, qualquer instalação que produza algo para venda tem um departamento de qualidade que assegura que esta se encontra ao nível esperado na aceitabilidade do consumidor [58].

Aplicando ao caso da cerveja, as características mais preponderantes para o consumidor que evidenciam a qualidade do produto são as organoléticas, subdivididas em visuais e gustativas.

As primeiras, estão imediatamente expostas para escrutínio do consumidor assim que a cerveja lhe é servida: a espuma e a sua estabilidade, cor e limpidez [59]. As segundas, experienciadas com a degustação da cerveja são: o conteúdo de dióxido de carbono, o amargor, o teor de álcool e o extrato [49].

O extrato (ou gravidade) tem um papel muito importante na cerveja e é definido como sendo a medida utilizada no fabrico de cerveja para medir a concentração de açúcares no mosto após a fervura. Existem três tipos de extratos: o extrato aparente (extrato medido assim que o álcool se forma na cerveja verde, em °P), o extrato real (extrato obtido no mosto depois da fermentação) e extrato primitivo ou original (densidade em °P, em relação à gramagem de extrato em cada 100 gramas de mosto) [49]. Este último, juntamente com o teor de álcool, são regulados por leis alimentares e os seus limites necessitam de ser cumpridos imperativamente [52].

#### **2.1.4 Qualidade Microbiológica**

A microbiologia da cerveja tem também um grande impacto na qualidade final do produto, sendo necessário a existência de um controlo para a sua verificação. Apesar de esta não apresentar o meio ideal para o desenvolvimento de microrganismos, os que possuem esta capacidade têm o potencial de influenciar de maneira muito negativa o perfil organolético da cerveja, causando um aumento da turvação e a alteração de sabores [60]. Como, normalmente, as técnicas para a deteção e identificação de microrganismos demoram vários dias para chegar à sua conclusão, qualquer falha neste parâmetro tem um peso financeiro acrescido para a cervejeira, já que a cerveja contaminada pode já ter seguido para a fase de enchimento [60].

De forma mais detalhada, a cerveja é um meio hostil para a maior parte dos microrganismos uma vez que apresenta uma concentração relativamente elevada de álcool (normalmente entre 4 a 5 %), uma concentração de dióxido de carbono também relativamente alta (cerca de 0,5 % w/w) e uma presença de oxigénio muito baixa (menor que 0,1 ppm) [60]. Além disto, apresenta também um pH ácido que pode virar dos 3,8 aos 4,7, que é inferior ao tolerável para o crescimento da grande maioria das bactérias. A cerveja contém ainda compostos tóxicos para as bactérias (que provêm da acidez do lúpulo) e a quantidade de nutrientes disponível é muito baixa, uma vez que a maior parte já foi consumida na fermentação [60].

Ainda assim, existem algumas bactérias com a capacidade para crescer e prosperar nestas condições, como [60]:

- *Lactobacillus* e *Pediococcus* – Estes dois géneros de bactérias pertencem às bactérias ácido lácticas e são gram-positivas [60]. Estes microrganismos são microaerófilos e o seu crescimento é favorecido por atmosferas ricas em dióxido de carbono e, por isso, são uma fonte de contaminação muito frequente nas cervejeiras [15]. Estas podem surgir tanto nas matérias primas como no produto final e têm como consequência o aumento da turvação e a alteração do sabor e odor da cerveja.

- *Pectinatus* e *Megasphaera* – Estes dois géneros de bactérias são Gram-negativas e têm um regime de crescimento estritamente anaeróbio [60]. É mais comum encontrar estes microrganismos em zonas onde se possam formar biofilmes (aglomerações de microrganismos que formam uma proteção contra o ar) [15]. As suas contaminações têm como consequência um aumento da turvação, acidez e a alteração do odor da cerveja [60].
- Leveduras – Quando se fala em produto final, a levedura cervejeira (a que é utilizada para o processo de fermentação) é também uma contaminação microbiológica. No entanto, é também possível encontrar uma contaminação por parte de leveduras de estirpe selvagem. A presença destes microrganismos na cerveja têm muitas consequências, entre as quais, aumento da turvação, aumento do teor alcoólico e alteração do sabor [60].

A contaminação por parte destes microrganismos necessita de ser prevenida através de uma higienização eficiente e pela constante monitorização de todas as fases de processo, assegurada pelos sistemas de gestão de qualidade [18].

## 2.2 *Total Productive Management*

Para assegurar não só a entrega de um produto com qualidade, mas também exceder as expectativas de clientes, colaboradores, acionistas e da sociedade em geral, foram criados e implementados sistemas de atividades que procuravam verificar a qualidade dos métodos de trabalho, desenvolvimento de documentação de suporte e a definição de métodos de controlo adequados [61]. O TPM é um destes sistemas.

O *Total Productive Management* foi criado por *Seiichi Nakajima* e foi implementado pela primeira vez numa empresa do grupo *Toyota* por volta de 1970 e desde então tem vindo a ganhar uma enorme popularidade e aceitação por todos [62]. Esta metodologia de melhoramento tem uma aproximação inovadora à manutenção e, conseqüentemente, à otimização dos equipamentos. Esta otimização é conseguida através da eliminação de falhas e possíveis causas de falhas e da promoção de uma manutenção autónoma executada pelos operadores de produção (integrada nas atividades diárias) [63].

Este sistema difere de outros por necessitar da contribuição de todos os colaboradores da empresa, focando-se no trabalho em equipa para a aplicação das práticas de melhoria continua, para atingir a sua implementação com sucesso (sendo uma metodologia assente no fator humano) [63]. Isto, origina um aumento de produtividade conseguida pela maior disponibilidade de equipamentos e uma melhoria de qualidade nos produtos manufaturados [63].

### 2.2.1 Fundamentos e Estrutura

A filosofia original de TPM tinha como base as 5 metas seguintes [63]:

- Maximizar da eficiência e eficácia dos equipamentos;
- Desenvolver um sistema de manutenção produtiva para a vida útil dos equipamentos;
- Envolver na implementação do TPM, os departamentos que planificam, projetam e executam a manutenção dos equipamentos;
- Envolver todos os colaboradores da empresa desde os membros da direção ao mais baixo nível hierárquico da empresa;
- Utilizar a gestão da motivação como forma de promover o TPM, realizando atividades autónomas em pequenos grupos.

Esta filosofia segue também uma política de “zero impacte ambiental, zero acidentes, zero defeitos e zero falhas” que é cumprida através de uma série de objetivos em 6 categorias diferentes [63]:

- Produtividade – Com os objetivos de redução das paragens não programadas e a redução das avarias, quebras e falhas;
- Qualidade – Com os objetivos de redução de defeitos, diminuição das reclamações e redução de quebras de materiais e produto;
- Custos – Com os objetivos de redução dos custos indústrias e redução de trabalhos desnecessários;
- Entrega – Com os objetivos de redução de stocks e melhor confiabilidade dos prazos de entrega;
- Segurança / Ambiente – Com os objetivos de redução de acidentes e riscos no trabalho, diminuição de sujidades e economia de material, energia e água;
- Motivação dos funcionários – Com os objetivos de aumento do número de sugestões de melhoria, motivação para trabalhos de grupo e criação de uma mentalidade de melhoria contínua.

Em termos de estrutura, existem 5 níveis que definem uma boa prática de manutenção [62]:

$$TPM^0 = TPM^1 + TPM^2 + TPM^3 + TPM^4 \quad (2.1)$$

Onde o  $TPM^0$  (Total Productive Management) somente é alcançado quando os outros níveis estão concluídos. O  $TPM^1$  (Total Productive Maintenance) corresponde à disponibilidade e a confiabilidade do equipamento através de uma maior preocupação entre a relação manutenção e operação, o  $TPM^2$  (Total Productive Manufacturing) estabelece a interligação entre os operadores, o  $TPM^3$  (Total Process Management) define a administração das interfaces de todo o processo e, por fim, o  $TPM^4$  (Total Personnel Motivation) que tem como objetivo o desenvolvimento de aptidões, conhecimentos, ferramentas e motivação em todos os colaboradores [62].

Nas diferentes organizações que utilizam esta filosofia nas suas instalações, existem equipas de coordenação em cada departamento que asseguram a correta implementação do TPM, denominados pilares [18]. Os diferentes pilares, que podem ser adaptados para cada empresa, estabelecem a ligação entre a direção e as equipas no terreno. Na Figura 2.4, estão ilustrados os 8 pilares mais comuns:

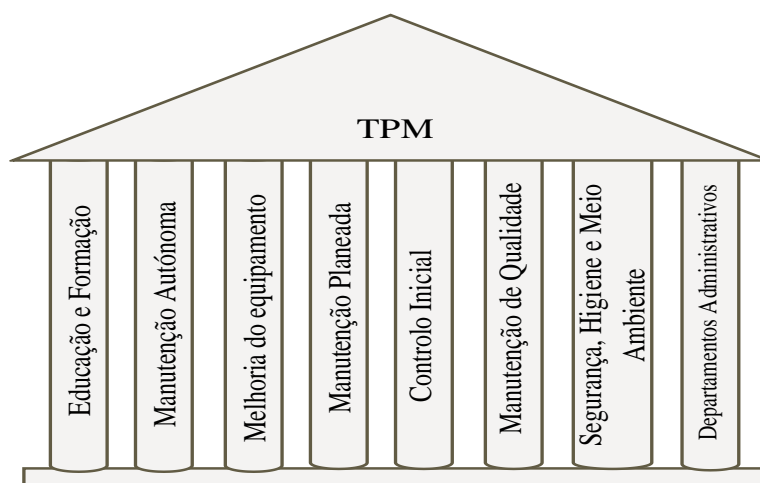


Figura 2.4- Pilares do TPM (Adaptado de [63])

O primeiro pilar, educação e formação, tem como objetivo o alto nível de competência dos operadores de produção e técnicos de manutenção, através da implementação de fundamentos de manutenção e tecnologia preditiva, desenvolvimento de competências de reparação, deteção de avarias e diagnose, ferramentas básicas de controlo estatístico de processo e técnicas de melhoramento contínuo [63].

O pilar seguinte, de manutenção autónoma, pretende que os operadores conheçam e compreendam o equipamento, promovendo a criação de condições para a limpeza e inspeção de equipamentos e do desenvolvimento de padrões para o seu controlo [63].

O pilar de melhoria do equipamento tem como finalidade a produção de zero avarias, zero falhas e zero paragens. As atividades características deste pilar são a identificação das seis grandes perdas, análise e deteção de causas e identificação e estabelecimento das condições ideais do equipamento [63].

O quarto pilar de manutenção planeada tem o objetivo de tornar as operações de manutenção mais eficientes e rentáveis. Isto é conseguido através da implementação de uma manutenção e inspeção periódicas, uma manutenção preditiva, de melhorias que aumentem o tempo de vida dos próprios equipamentos, controlo de peças sobressalentes e uma avaliação das paragens ocorridas [63].

O pilar denominado controlo inicial pretende promover o desenvolvimento de equipamentos livres de avarias e de manutenção e com a maior operacionalidade, qualidade e segurança. Para conseguir complementar estes objetivos, utiliza a deteção de pontos fracos do equipamento atual, feedback de projeto, a definição de aspetos de operacionalidade, definição da economia de recursos e definição de aspetos de segurança e ambiente [63].

O sexto pilar de manutenção de qualidade tem como objetivo garantir a total qualidade do produto, estabelecendo e mantendo as condições ideais para a ocorrência de 0 defeitos, através da determinação da relação entre as características de precisão do equipamento e condições de processamento, estabelecimento de condições que evitem os defeitos e mantendo-as [63].

O penúltimo pilar corresponde à segurança, higiene e meio ambiente. Este, tem o objetivo de criar um local de trabalho limpo e agradável e a eliminação de acidentes e poluição. As suas atividades ca-



racterísticas são a limpeza e arrumação regulares, formação em segurança industrial e ambiental, melhoramento dos aspetos de segurança e ergonómicos do equipamento, definição e aplicação de uma política ambiental e a eliminação dos desperdícios energéticos [63].

Por último, o pilar de departamentos administrativos, tem o papel de incentivar a implementação dos restantes. Para isto, promove o planeamento dos objetivos TPM, cria condições para que seja possível às equipas de produção e manutenção exercerem as suas funções e acreditar e apoiar a implementação desta filosofia [63].

### 2.2.2 Implementação

A implementação da filosofia TPM, independentemente de ser aplicada a toda a estrutura ou apenas a uma área específica, requer sempre as mesmas quatro fases (Figura 2.5). A duração desta implementação tem um período de, no mínimo, três anos para que nenhuma ação seja negligenciada.

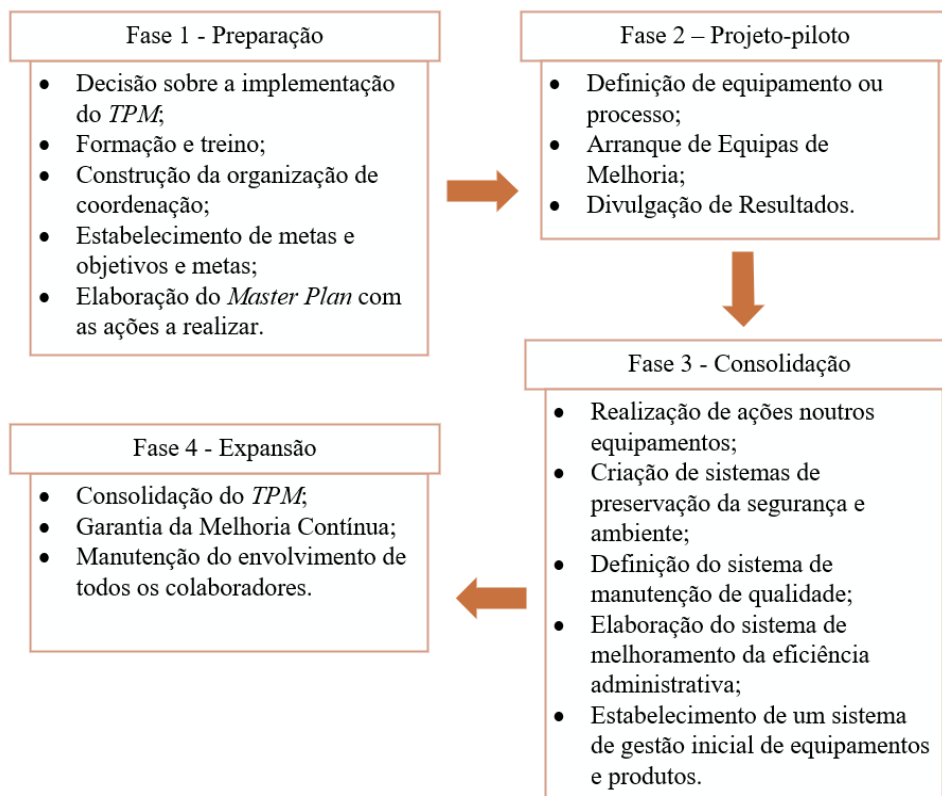


Figura 2.5- Fases de implementação do TPM (Adaptado de [18])

### 2.2.3 Indicadores chave de desempenho

Os indicadores chave de desempenho têm como função a avaliação do desempenho de um processo ou atividade empresarial, determinando se o objetivo a que corresponde é alcançado com o maior sucesso possível. Estes KPI's são definidos pela própria empresa, existindo diversos indicadores que apresentam resultados, auxiliam em análises diagnósticas e identificam as necessidades de melhoramento, sendo fundamentais para a gestão da própria e para o cumprimento da sua visão e estratégias.

A filosofia TPM já inclui os seus objetivos desdobrados por vários indicadores de desempenho, que permitem identificar e acompanhar os resultados das atividades realizadas e o seu impacto na otimização de processos e redução de custos de operação. Estes indicadores podem se inserir em diferentes categorias, como [15]:

- Indicadores de Produção (produtividade ou quebras);
- Indicadores de Qualidade (defeitos ou reclamações de clientes);
- Indicadores de Custos (custos com manutenção ou energia);
- Indicadores de Segurança e Ambiente (acidentes ou níveis de poluição);
- Indicadores de Entrega (atrasos de entrega ou stocks);
- Indicadores de Motivação (questionários ou sugestões).

Particularmente, para a averiguação da qualidade, é utilizado o princípio *First-time-right* como um indicador para o controlo do processo de produção, evidenciando as perdas por defeitos ou falhas na qualidade [15]. Este indicador FTR é calculado através da percentagem de amostras (de diferentes tipos de defeitos) dentro das especificações definidas em relação ao total de amostras analisadas, demonstrado na equação abaixo:

$$\% FTR = \frac{n^{\circ} \text{ de amostras dentro de especificação}}{n^{\circ} \text{ de amostras analisadas}} * 100 \quad (2.2)$$

Quanto maior a percentagem resultante no FTR, melhores são as condições evidenciadas pelo processo produtivo e representa, igualmente, um produto totalmente dentro das especificações definidas para a sua qualidade.

#### **2.2.4 Ferramentas complementares**

O *Total Productive Management* utiliza diversas ferramentas e métodos de suporte para auxiliar a gestão e execução dos seus pilares. Algumas destas são:

##### Análise 5 Porquês

Esta análise é aplicada a qualquer falha encontrada no processo e que pode manifestar numa avaria, paragem, defeito, quebra de material e energia ou num acidente. A sua utilização tem como objetivo a identificação da causa-raiz do problema, através da decomposição sua decomposição por hipóteses. As respostas a cada hipótese são categorizadas nos respetivos 5M e, quando não é possível decompor mais o problema, é alcançado a causa-raiz principal. O passo final é definir um plano de intervenção ou prevenção para eliminar ou minorar o problema [18].

### Análise FMECA e RCM

A análise FMECA é bastante similar a uma análise FMEA, mas que conta também com a criticidade (C) [64]. É uma técnica de análise focada nos componentes físicos de uma máquina ou sistema e tem o objetivo de identificar os modos de falha de cada um, efeitos de falha e causas [64]. Os efeitos de falha são definidos nas categorias de: segurança (S), produtividade (P), qualidade (Q), meio ambiente (E) [65]. São também avaliados os custos de restauração (R) e a frequência (F). A criticidade é então calculada a partir da fórmula [65]:

$$C = (S + P + R + Q + E) * F \quad (2.3)$$

A partir dos modos de falha determinados como mais críticos, é possível completar este processo utilizando uma análise RCM [65]. Esta tem como objetivo a determinação da forma de manutenção mais eficiente, identificando novas atividades de manutenção e atualizando o plano já existente [66].

### Brainstorming

Esta ferramenta está assente na troca de ideias por parte de um grupo de pessoas, envolvidas no mesmo projeto. O esforço conjunto para partilhar conhecimentos, de forma ordeira e igualmente partilhada por todos, tem como objetivo a formulação de várias opções para a determinação ou resolução de uma determinada situação. Nesta fase, é mais importante a total abrangência de todas as propostas, em vez da sua qualidade ou possível realização [15].

### Fluxograma

Esta ferramenta pode ser providencial para que todos os colaboradores conheçam os processos da área em que estão envolvidos [61]. Um fluxograma ilustra de forma ordenada todas as etapas, entradas e saídas do processo que culminam na obtenção de um determinado produto [61].

### Kaizen

A filosofia Kaizen tem como grande princípio a melhoria continua. Esta está contida no próprio nome, onde Kai em japonês significa mudança e Zen significa bom [15]. Esta metodologia tem como principais objetivos a eliminação de desperdícios, desenvolvimento contínuo de melhorias e identificação de problemas [18].

A filosofia Kaizen promove também a via económica, pois tem como pressuposto que não são necessários investimentos em larga escala para a melhoria do processo, e que esta melhoria advém principalmente do esforço e mentalidade das pessoas envolvidas [18].

O TPM aproveita estes princípios e incentiva à criação de equipas Kaizen que podem ter como finalidade a resolução de problemas pontuais, problemas contínuos ou problemas crónicos [15].

### Matrizes de controlo de Qualidade

As matrizes de qualidade são ferramentas que têm como função a identificação de pontos prioritários de ação, determinação de causas-raiz dos defeitos ou problemas de qualidade e assegurar a garantia de excelência das condições operacionais. Existem três tipos: matriz QA (garantia de qualidade), matriz QX (relacionamento de defeitos com máquinas e processos) e matriz QM (manutenção de qualidade) [18].

A matriz QA é particularmente importante, uma vez que estabelece a ligação entre os defeitos ou falhas de qualidade e as fases do processo, efetuando também uma coletânea das potenciais razões para a sua origem [15]. Cada defeito é introduzido numa categoria 5M (mão-de-obra, máquina, material, medição e método) e é-lhe atribuído um peso à escolha entre: 2 (baixo), 5 (médio) e 8 (elevado). No final da construção desta matriz, deve ficar evidente as áreas críticas do processo onde é necessário proceder a uma intervenção.

### Modelo de Gestão PDCA e SDCA

O modelo de gestão PDCA é uma ferramenta muito importante na implementação da filosofia TPM e na evolução e melhoramento dos processos instaurados, visto que auxilia na compreensão dos conceitos de manutenção autónoma [63].

Este sistema, como se encontra indiciado no seu nome, está dividido em quatro grandes conceitos [63]:

- Plan (P) – Planeamento de objetivos e a metodologia para os alcançar com o menor custo e ocorrência de problemas possível;
- Do (D) – Execução dos planos;
- Check (C) – Controle e análise dos resultados com os objetivos em mente;
- Act (A) – Tomar ação para corrigir as falhas avaliadas.

Quando este ciclo é completado de forma satisfatória, é iniciado um novo ciclo. Neste, o P é substituído pelo S, que significa standardize. Este novo ciclo tem o objetivo de instalar os novos procedimentos encontrados para que seja padrão para todos [63].

### Sistema 5S

Este programa tem origem no Japão e é uma base essencial na grande maioria de todos os sistemas de qualidade total. Atua com um princípio de visibilidade, o que significa que pretende identificar ou tornar visíveis quaisquer problemas que possam surgir. A prática desta metodologia tem um impacto

muito alargado e benéfico para qualquer empresa, comprovando uma melhoria na produtividade, qualidade, redução de custos, melhoria do ambiente de trabalho, melhoria na moral e na prevenção de acidentes.

Os 5S tem origem nos cinco sentidos que constituem esta filosofia:

- Seiri (Selecionar) – Efetuar uma seleção a todos os itens, mantendo apenas os mais importantes;
- Seiton (Organizar) – Os itens devem estar dispostos num local apropriado e devidamente legendado;
- Seiso (Limpar) – Eliminar qualquer fonte de sujidade;
- Seiketsu (Padronizar) – Definir procedimentos que mantenham os sentidos anteriores;
- Shitsuke (Disciplinar) – Tornar os procedimentos estabelecidos parte da rotina diária.



### 3 Materiais e Métodos

Na fase inicial de um projeto como este é imperativo a definição das estratégias e ferramentas a utilizar para garantir o seu sucesso. A formação de uma equipa, a familiarização com a rota de atividades a seguir, a utilização de outras ferramentas *TPM*, conhecimento da área e dos seus procedimentos, espírito crítico e um pensamento inovador foram todos aspetos importantes para cumprir os objetivos propostos com êxito.

#### 3.1 Metodologia de Ação

Para assegurar uma boa colaboração e conhecimento total entre todos os intervenientes foi criado uma equipa multidisciplinar com pessoas de diferentes áreas e responsabilidades. Esta equipa foi constituída por 9 elementos e começou as suas funções no dia 5 de março de 2018, semana 10, evidenciados na tabela seguinte:

Tabela 3.1- Constituição da equipa

Função Desempenhada	Responsabilidade na Equipa
Estagiário <i>Brewing</i>	Líder da Equipa; Planeamento, implementação e acompanhamento de ensaios; Recolha e análise de amostras; Tratamento de dados; Análise de resultados
<i>Quality Control Manager</i>	<i>Sponsor</i> ; Planeamento de ensaios; Análise de resultados; Avaliação da equipa (auditorias)
<i>Beer Processing Manager</i>	Orientador do projeto; Planeamento e acompanhamento de ensaios; Análise de resultados
<i>Team Leaders</i> Filtração (4)	Instrução sobre a área; Implementação de ensaios; Registo de dados;
Técnicos de Laboratório (2)	Instrução sobre a área; Recolha e análise de amostras;

O passo seguinte foi a definição das estratégias de ação correspondentes aos objetivos pretendidos que compreendem inúmeras atividades como definição de variáveis em estudo, verificação de sistemas, coletânea de dados históricos, recolha de amostras, tratamentos de dados, entre muitas outras.

Para a definição da estratégia a implementar na otimização do uso de *kieselguhr* na filtração, foi analisada a proposta previamente apresentada pela empresa *Clarcel* (em parceria com o grupo *Heineken*), que continha um plano de ensaios sobre o tema em questão que nunca chegara a ser efetuado [67]. Este estudo apesar de apresentar alguns pontos que, em princípio, não iriam ser abordados neste trabalho provou ser uma boa base para a determinação das tarefas da equipa.

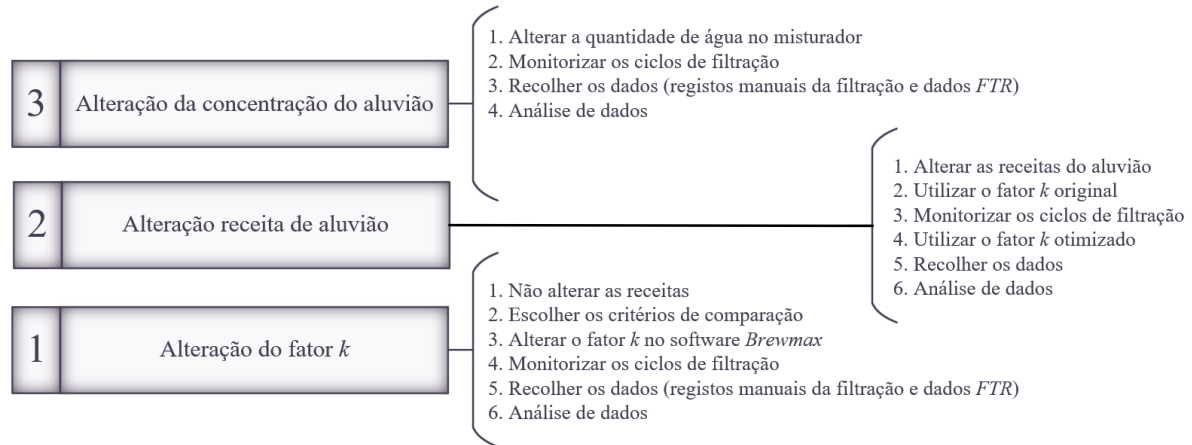


Figura 3.1- Rota para otimização do consumo de kieselguhr

Ao mesmo tempo, para estabelecer a estratégia de ação para a otimização do controlo em linha, foi utilizado a rota de “Implementação de Controlo In-line” criada pela empresa *Solving Eso* em parceria com a *Heineken*, que tem como objetivo substituir uma análise *off-line* por um robusto sistema *in-line* caracterizado por uma melhor performance [68].

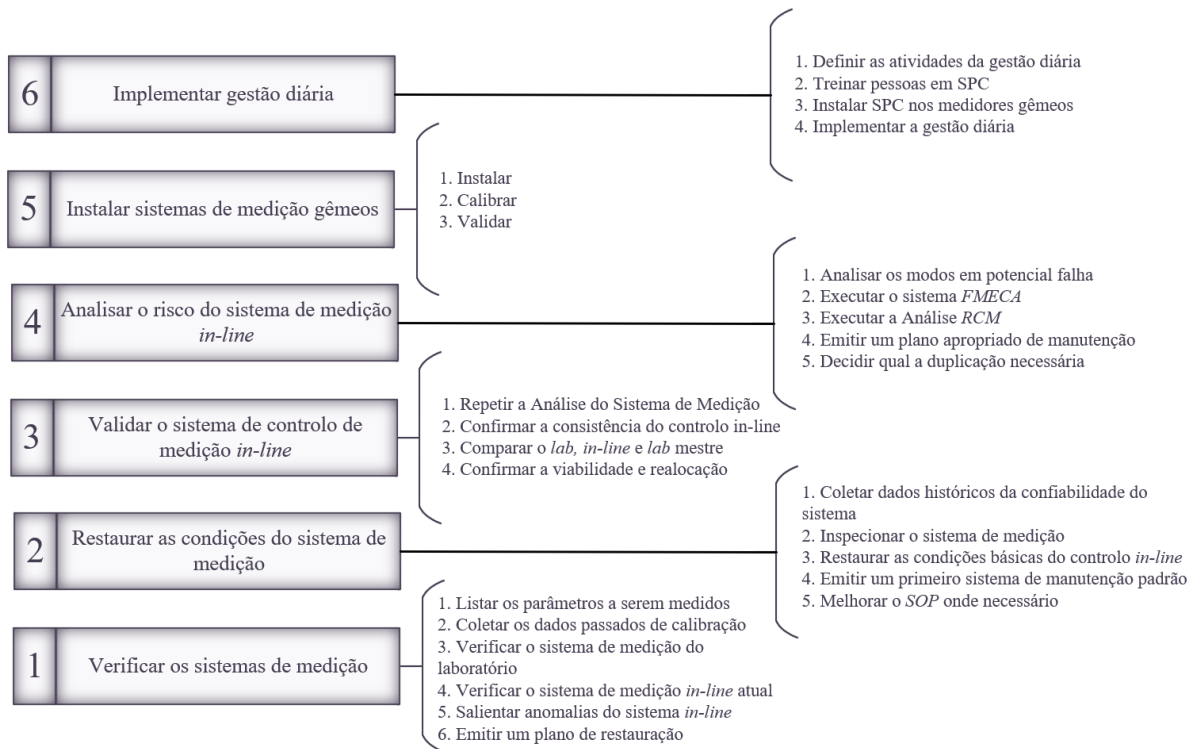


Figura 3.2- Rota Implementação de controlo in-line (Adaptado de [68])

Esta rota também serviu de base para a criação do *Master Plan*, que consiste no cronograma da duração da realização de cada passo desta, ilustrando o tempo previsto (de acordo com o exemplo dado pela *Heineken* [68]) e o tempo que de fato foi utilizado.





Master Plan

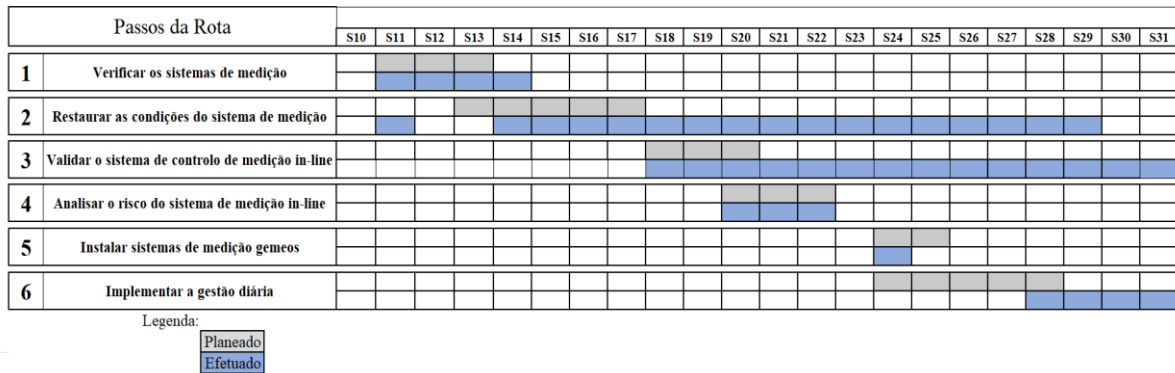


Figura 3.3- Cronograma das tarefas de equipa

De modo a conseguir implementar as rotas descritas acima foi também necessário adquirir conhecimentos de causa através da compreensão de todo o processo de filtração que ocorre na área com o mesmo nome na SCC, conseguido através de comunicação com vários intervenientes e observações feitas no terreno, evidenciado no subcapítulo Área de Foco. Além disto, para melhor analisar potenciais defeitos no procedimento instalado e as consequentes causas-raízes, foi também elaborado uma análise “5 porquês”, uma matriz QA, um fluxograma e um diagrama para identificação de pontos críticos.

Outros documentos afetos à equipa como o Plano de Ação (tarefas atribuídas aos elementos de equipa nas reuniões) podem ser consultados no Apêndice A.

### 3.2 Metodologia Laboratorial

#### 3.2.1 Recolha de amostras

As amostras recolhidas que tiveram um papel fundamental neste trabalho podem ser agrupadas em dois tipos: amostras pertencentes ao plano de controlo de rotina (realizadas por operadores ou técnicos e analisadas no laboratório) ou amostras extra-rotina em que a responsabilidade da sua recolha e análise recaem toda no líder de equipa.

As amostras pertencentes ao plano de controlo de rotina são de foro microbiológico e físico-químico e são retiradas dos TCF's, consoante a produção. As primeiras, retiradas por um técnico do laboratório de microbiologia, são feitas a partir da torneira do tanque, previamente desinfetada e purgada, para uma garrafa estéril transparente de 100 mL junto à chama de um maçarico portátil, de modo a minimizar a contaminação exterior. As amostras líquidas para análise físico-química são retiradas pelos operadores da filtração, acoplando uma mangueira em forma de espiral à torneira do tanque, enchendo uma garrafa de vidro de 1 L, que posteriormente são enviadas para o laboratório físico-químico.

As amostras extra-rotina servem apenas para uma análise físico-química, que podem necessitar de ser analisadas no laboratório ou diretamente no local, utilizando o aparelho *Haffmans Portable Optical*

*CO<sub>2</sub> / O<sub>2</sub> Meter c-DGM*. No primeiro caso, são recolhidas para garrafas de vidro de diferentes volumes com o auxílio, ou não, de uma mangueira de forma espiral, dependendo do local

Todas as amostras são analisadas o mais depressa possível de modo a não sofrerem qualquer contaminação, alteração ou perda de material. Ainda assim, todas as amostras retiradas são seguramente fechadas e rotuladas para não originar qualquer tipo de erro.

### 3.2.2 Análise Microbiológica

Dado a pequena ou até nenhuma presença de microrganismos nas amostras provenientes dos *TCF*'s é necessário concentrá-los de modo a ser possível a sua deteção. Logo, o primeiro passo para as amostras de 100 mL que chegam ao laboratório de microbiologia é a filtração. Esta é feita numa câmara de fluxo laminar, através de uma membrana estéril de esteres mistos de celulose (*S-PAK<sup>®</sup> sterile membrane filter, Millipore Corporation*) com uma porosidade de 0,45 µm. De seguida, utilizando a técnica de sementeira por membrana filtrante, a membrana é transferida em condições de assepsia para uma caixa de *Petri* e colocada sobre o meio de cultura respetivo ao tipo de organismo em estudo e colocada numa estufa a incubar.

Para a deteção e quantificação de microrganismos aeróbios totais (leveduras) e bactérias aeróbias são utilizados, respetivamente, os meios de cultura *mWLN (Modified Wallerstein Laboratory Nutrient Agar)* e *mWLD (Modified Wallerstein Laboratory Differential Agar)* e são incubados durante 3 dias a 30 °C ± 1 °C. No final do período de incubação, as placas são observadas com o auxílio de um microscópio. Caso se verifique a presença de leveduras, a sua identificação pode ser feita de maneira muito simples pois se estiverem presentes nos dois meios de cultura são de uma estirpe selvagem, se estiverem presentes apenas no meio *mWLN*, são leveduras *Lager*. Caso se verifique a presença de bactérias aeróbias vários testes podem ser aplicados para a sua identificação como coloração de *Gram*, teste *KOH*, amino-peptidase, catálase, oxidase e fermentação da lactose.

As bactérias ácido-lácticas, por sua vez, são detetadas e quantificadas utilizando o meio de cultura *Raka-Ray* e são incubadas em condições de anaerobiose durante 5 dias a 30 °C ± 1 °C. Se no final do período de incubação se verificar o crescimento microbiano, a sua identificação é realizada através da observação morfológica com auxílio do microscópio, coloração de *Gram* e teste de presença de catálase.

Quando se trata de bactérias anaeróbias estritas, a técnica de sementeira por membrana filtrante não pode ser aplicada e, portanto, é utilizado sementeira por incorporação. A amostra é imediatamente adicionada a uma garrafa de pressão estéril que contém o meio líquido *NBB-C (Dohler, NBB<sup>®</sup>-Concentrate)* e a mistura é homogeneizada e incubada durante 11 dias a 30 °C ± 1 °C. No fim de incubação, é logo visível se ocorreu um crescimento microbiano pois o líquido irá apresentar turvação e procede-se à identificação das bactérias através de análise da sua morfologia ao microscópio, coloração de *Gram*, presença de catálase e teste de solubilidade em *KOH*.

Os resultados das análises microbiológicas efetuadas são condensados no *FTR Microbiology – Bright Beer Tank*.

### 3.2.3 Análise Físico-Química

As amostras que entram no laboratório físico-químico, do interesse deste trabalho, têm essencialmente duas finalidades: análise utilizando o *Alcolyzer Beer Analyzing System* ou o aparelho *Haffmans Vos Rota 2.0*.

O aparelho da marca *Haffmans* é um turbidímetro cuja operação é bastante simples, colocando parte da amostra numa cuvete e inserindo-a no mesmo, que irá proceder à medição da respetiva turvação usando princípios de reflexão de luz. Colocada a cuvete dentro do aparelho, um mecanismo magnético assegura-se que fica centrada na plataforma e um sistema complementar verifica o nível do líquido e o encerramento da tampa antes de começar a medição [69]. Aquando a medição, existem dois sensores de luz que capturam a luz refletida em dois ângulos diferentes, a 25° e 90° graus, permitindo uma rápida observação do tipo de partículas presentes na amostra, já que, partículas mais pequenas que 1 µm (como proteínas) causam uma dispersão lateral da luz capturada no sensor a 90° graus, enquanto que partículas maiores que 1 µm (como partículas de *kieselguhr* ou leveduras) causam uma dispersão frontal da luz sendo detetada no sensor a 25° graus [69]. O resultado é apresentado no ecrã em EBC e é guardado o registo do mesmo.

Outra parte da amostra é preparada para ser analisada (segundo o procedimento ilustrado na Figura 3.4, partindo do ponto 5) no sistema *Alcolyzer* da empresa *Anton Paar*, que como o nome indica, determina várias propriedades da cerveja [70]. Os passos de aquecimento da amostra e degaseificação do CO<sub>2</sub> (passos 5 e 6 do procedimento, respetivamente) são essenciais para uma avaliação correta das propriedades da cerveja pelo sistema.

1. Preparar a filtração da amostra, colocando um funil de plástico com um papel de filtro num *erlenmeyer* de 1 L, previamente etiquetado;
2. Adicionar 2 colheres de *kieselguhr* para dentro do funil e verter a amostra líquida;
3. Esperar até que a quantidade de amostra filtrada perfaça o fundo do frasco;
4. Retirar o funil e colocar o papel de filtro com o resíduo dentro de um saco de plástico;
5. Colocar o *erlenmeyer* com a amostra a aquecer durante 10 minutos num banho a 20 °C;
6. Inserir um agitador magnético dentro do frasco e deixa-lo agitar durante 10 minutos;
7. Preparar uma segunda filtração, colocando um funil de plástico com um papel de filtro num *erlenmeyer* de 0,5 L, previamente etiquetado;
8. Verter a amostra até que o filtrado perfaça o fundo do frasco;
9. Encher um frasco próprio para o *alcolyzer* (etiquetado) e colocar a tampa de borracha;
10. Colocar o frasco na posição 1 e inserir o nome da amostra no sistema;
11. Carregar no *start* e no fim imprimir os resultados.



Figura 3.4- Procedimento de preparação de amostra para Alcolyzer / Imagem Alcolyzer (Adaptado de [70])

Este aparelho utiliza a medição de absorvâncias na gama dos infravermelhos próximos para determinar o teor de álcool, densidade e densidade relativa, alheando isto à capacidade de determinar a cor por espectrofotometria e o pH por potenciometria [71]. Entrando detalhe no seu funcionamento, o teor

de álcool da amostra é medido por espectrofotometria, determinando a absorvância num intervalo de álcool específico no espectro *NIR* e calculando o seu valor em % (v/v), no microprocessador, utilizando algoritmos adequados [71]. Por sua vez, a densidade a 20 °C é determinada pelo densitómetro *Anton Paar* (que utiliza o mesmo princípio de tubo de oscilação em U descrito no subcapítulo Área de Foco) e é calculado no microprocessador os diferentes valores de extratos [71]. Neste microprocessador, a fórmula base de cálculo é a fórmula de *Tabarié*, definida por [71]:

$$\rho_{extrato} = \rho_{amostra} + \rho_{\text{água}} - \rho_{\text{álcool}} \quad (3.1)$$

Onde:  $\rho_{extrato}$  = Densidade a 20 °C do extrato real (g/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho_{amostra}$  = Densidade a 20 °C da amostra de cerveja (g/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho_{\text{água}}$  = Densidade a 20 °C da água = 0,998204 g/cm<sup>3</sup>  
 $\rho_{\text{álcool}}$  = Densidade do álcool destilado (g/cm<sup>3</sup>)

Tomando ainda em consideração que a densidade relativa a 20 °C/ 20°C é igual a [71]:

$$SG = \frac{\rho_{\dots}(20^{\circ}C)}{\rho_{\text{água}}(20^{\circ}C)} \quad (3.2)$$

É possível formular a equação 3.1 como:

$$SG_{ER} = SG_{EA} + 1 - SG_A \quad (3.3)$$

Em que:  $SG_{ER}$  = Densidade relativa a 20 °C do extrato (real)  
 $SG_{EA}$  = Densidade relativa a 20 °C do extrato (aparente)  
 $SG_A$  = Densidade relativa do álcool

De modo a converter o álcool de % (v/v) para % (w/w) é utilizado a fórmula:

$$\text{Álcool \% (w/w)} = \frac{A * \rho_{\text{etanol}}}{\rho_{amostra}} \quad (3.4)$$

Na qual:  $A$  = Teor de álcool medido pelo Alcozyzer (% (v/v))  
 $\rho_{amostra}$  = Densidade a 20°C da cerveja filtrada medida pelo densitómetro (g/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho_{\text{etanol}}$  = Densidade do etanol a 100% a 20 °C = 0,78924 g/cm<sup>3</sup>

Os diferentes tipos de extratos são calculados das seguintes formas: começando pelo extrato aparente (expresso em % (w/w)), determinado a partir da densidade da amostra a 20 °C, usando a tabela de *Goldiner, Klemann e Kampf* [71]. Por sua vez, o extrato real (% (w/w)) é determinado, igualmente, utilizando a tabela de *Goldiner, Klemann e Kampf*, a partir da densidade do extrato a 20 °C calculado pela fórmula de *Tabarié* (3.3) [71].

Para o cálculo do extrato primitivo é utilizada a fórmula de *Bailing*, definida por [71]:

$$E_P = \frac{2,0665 * A * E_R}{1,06665 * A + 100} * 100 \quad (3.5)$$

Onde:  $E_P$  = Extrato primitivo (°Plato)  
 $A$  = Teor de álcool (%(w/w))  
 $E_R$  = Extrato real (%(w/w))

Resumindo, as propriedades determinadas pelo sistema *Alcolyzer* podem ser visualizadas na figura acima. Estes resultados são condensados e podem ser consultados no *First Time Right – Bright Beer Tank*.

Álcool (% v/v)	Densidade	Densidade Relativa
7.13 % v/v	1.00679 g/cm <sup>3</sup>	1.00860
Álcool (% w/w)	E. Primitivo (% w/w)	E. Real (% w/w)
5.59 % w/w	15.36 °Plato	4.73 %w/w
E. Aparente (% w/w)	Valor Cor	Valor pH
2.21 %w/w	11.47 EBC	4.25

Figura 3.5- Exemplo das propriedades medidas pelo *Alcolyzer*

As amostras extra-rotina efetuadas no laboratório têm como única finalidade a análise pelo sistema *Alcolyzer*, já descrito, seguindo o mesmo procedimento estipulado na Figura 3.4. Caso a amostra tenha sido recolhida antes do passo de filtração de cerveja, necessita de ser filtrada no laboratório (começando no passo 1 do procedimento). A análise de amostras no próprio local, utilizando o dispositivo *Haffmans Portable Optical CO<sub>2</sub> / O<sub>2</sub> Meter c-DGM*, foi realizada segundo o procedimento descrito abaixo:


<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se o aparelho estiver em utilização, desconecta-lo em segurança (garantir que a torneira do local a que está ligado se encontra fechada);</li> <li>2. Conectar o aparelho ao ponto de amostragem com a mangueira de entrada e garantir que a mangueira de saída se encontra perto de um esgoto;</li> <li>3. Abrir a torneira do ponto de amostragem e a câmara do aparelho de modo a purgar cerveja que se encontra no interior, durante 30 segundos;</li> <li>4. Fechar a câmara do aparelho, observar e registar os valores apresentados;</li> <li>5. Desconectar o aparelho em segurança, garantindo que a torneira do ponto de amostragem e a câmara de medição estão fechadas;</li> <li>6. Colocar o aparelho num sitio visível e disponível para utilização por parte dos operadores.</li> </ol>	
--	--

Figura 3.6- Procedimento para a utilização do aparelho *Haffmans* / Imagem do dispositivo (Adaptado de [72])

Normalmente, este aparelho é utilizado para controlar o conteúdo de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> dissolvidos (com base nos mesmos princípios dos sensores correspondentes, já explicados no subcapítulo Área de Foco [30]) na cerveja armazenada nos *TCF's* pelos operadores da área de Filtração. Está preparado para ambientes

industriais mais “duros” e colisões, apresentando uma maneira simples de monitorizar parâmetros essenciais na cervejaria [72].

## 4 Discussão de Resultados

### 4.1 Otimização do consumo de *kieselguhr*

O início da intervenção começou pelo acompanhamento dos ciclos de filtração e do trabalho inerente ao seu funcionamento, adquirindo o conhecimento necessário para adiante. A filtração de cerveja é um processo parcialmente automatizado, mas ainda existem tarefas realizadas manualmente pelos operadores como o envio de cerveja para os filtros (através da troca de mangueiras nos painéis adequados) e regulação do seu caudal, e ainda, a limpeza dos filtros no final de cada ciclo.

Tabela 4.1- Etapas automatizadas da filtração na SCC

<i>Etapas automatizadas do ciclo de filtração</i>
1. Esterilização do filtro
2. Formação da 1ª pré-camada
3. Formação da 2ª pré-camada
4. Introdução do aluvião (ao longo do ciclo)

O tipo e a quantidade de cerveja filtrada seguem um planeamento semanal baseado na necessidade de produto acabado da área de enchimento. Estes tipos de cerveja não influenciam de nenhuma forma os ciclos de filtração (as receitas de *kieselguhr* são as mesmas) e num ciclo podem ser filtrados vários tipos de cerveja, com a atenção que cervejas com cores mais escuras são deixadas para último, para não prejudicar a cor das cervejas claras. Durante os ciclos, a receita de aluvião pode ser alterada em situações pontuais.

Por coincidência, durante parte do trabalho, o sistema *Big Bags* foi forçadamente desativado graças a obras que estavam a ser realizadas no local e, portanto, a incorporação do *kieselguhr* nos tanques de mistura para a sua utilização durante os ciclos de filtração passou a ser feita manualmente a partir de sacos de 20 Kg dos diferentes tipos, obrigando a uma alteração da receita.

Tabela 4.2- Receitas de *kieselguhr* para as diferentes fases

<i>Receita de Sacos</i>	<i>Receita de Big Bags</i>
1ª pré-camada	1ª pré-camada
80 Kg DIC	75 Kg DIC
2ª pré-camada	2ª pré-camada
60 Kg CBR / 20 Kg CBL	60 Kg CBR / 20 Kg CBL
Aluvião	Aluvião
40 Kg (CBR) / 40 Kg (CBL)	35 Kg (CBR) / 35 Kg (CBL)

A existência de três linhas de filtração semelhantes não significa que trabalhem individualmente entre si, ocorrendo ocasiões em que trabalham ao mesmo tempo, filtrando o mesmo tipo de produto

(proveniente dos mesmos tanques de guarda) ou outro tipo de cerveja. No primeiro caso, é possível então que os *TCF's* sejam cheios por dois ou mais filtros ao mesmo tempo.

A responsabilidade de terminar os ciclos de filtração recai também sobre os operadores. Normalmente, existem duas razões para esta interrupção: pressão alta nos filtros ou interrupção voluntária. A causa involuntária é controlada observando os medidores de pressão à entrada e saída do filtro (parando o ciclo quando a diferença de pressão ronda os 4 bar) e a causa voluntária pode acontecer por várias razões como a indisponibilidade de *TCF's* por estarem todos ocupados, porque o volume de cerveja filtrado já é suficiente para a demanda ou porque existe uma interrupção geral da produção. Uma avaliação do peso destas razões em cada linha de filtração foi efetuada, para o ano de 2017:

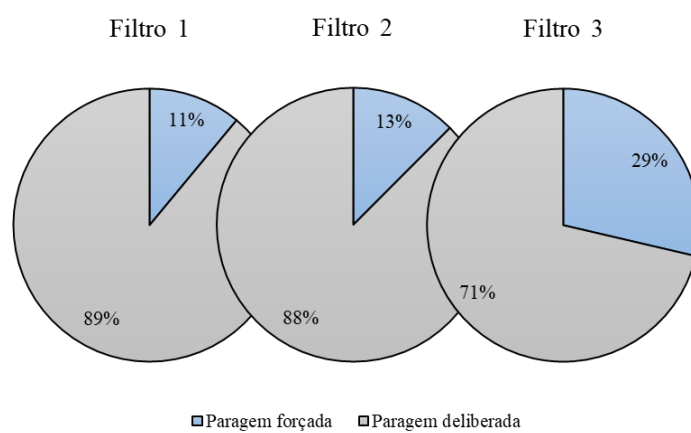


Figura 4.1- Distribuição das causas para interrupção dos filtros (em 2017)

Verifica-se que, regra geral, os filtros quase nunca funcionam até ao limite. Esta situação é comum em todas as linhas, em que a linha 3 é a que regista maior número de vezes em que o filtro foi parado por se observar uma diferença de pressão igual ou acima de 4 bar. Outra nota importante sobre estes dados é que os correspondentes à linha de filtração 2 são apenas correspondentes ao período de Setembro a Dezembro de 2017 por ausência dos restantes registos.

### 4.1.1 Redução do doseamento de *kieselguhr*

O primeiro ensaio planeado tem como objetivo reduzir a quantidade de *kieselguhr* adicionado durante o aluvião, sem que esta redução tenha um impacto negativo na produção de cerveja com qualidade, através do aumento dos níveis de turvação e presença de organismos microbiológicos nocivos. Isto, é conseguido através da redução do fator  $k$  (no *software Brewmax*), fator que controla o caudal de adição de *kieselguhr* diluído, proveniente do tanque de mistura, à cerveja que entra no filtro, ao longo do ciclo de filtração.

Os ensaios realizados em zonas críticas de produção, como este, têm sempre um risco acoplado de prejudicar todo o meio envolvente e, dado que, a fase de trabalho coincide com a época alta de produção ainda uma maior caução foi necessária.



Tabela 4.3- Valores do fator *k* encontrados inicialmente

<i>Fator k</i>	<i>Filtro 1</i>	<i>Filtro 2</i>	<i>Filtro 3</i>
<i>Inicial</i>	13	15	15

#### 4.1.2 Definição dos critérios a monitorizar

Os ciclos de filtração têm muitas variáveis inerentes a cada um que podem ser quantificadas e analisadas, mas também outras que não existe maneira de observar nos dados que são possíveis recolher, o que faz com que a sua comparação seja extremamente complicada. Para esta comparação e para perceber se as alterações feitas têm impacto na *performance* da filtração, foram estabelecidos os principais parâmetros a observar e interpretar nos diferentes ciclos:

Para começar, ainda antes do envio para os filtros, a cerveja encontra-se no processo de maturação dentro dos tanques de guarda. O tempo em que esta fica dentro dos tanques varia e isto pode afetar o próprio processo de filtração (mais tempo a maturar, maior deposição de partículas no tanque), sendo este um critério a ter em conta, quando possível.

Durante o próprio ciclo, existem muitas variáveis. Obviamente, um critério essencial é a duração de cada ciclo e conseqüente volume de cerveja filtrado. O tipo de cerveja filtrado não tem um papel muito importante, já que não existem ciclos de filtração totalmente constituídos por outro tipo de cerveja que não seja *Cerveja X* sendo impossível a sua comparação. Acontecendo que a paragem do ciclo tem a ver com a pressão sentida na entrada e saída do filtro, é também necessário controlar o aumento de pressão ao longo da filtragem. É notório, também, que a observação do *kieselguhr* despendido no decurso do ciclo é fundamental, sendo registado o número de vezes e a quantidade que é adicionada durante o aluvião (adicionada ao já consumido nas pré-camadas). Todos os dados são inseridos manualmente no sistema ou tratam-se mesmo de registos manuais e, portanto, podem estar sujeitos a algum erro humano.

Quando a cerveja já se encontra armazenada, é imprescindível analisar a turvação final e o conteúdo microbiológico presente no líquido filtrado, pois estes dois indicadores são de extrema importância na qualidade da cerveja e de uma filtração competente.

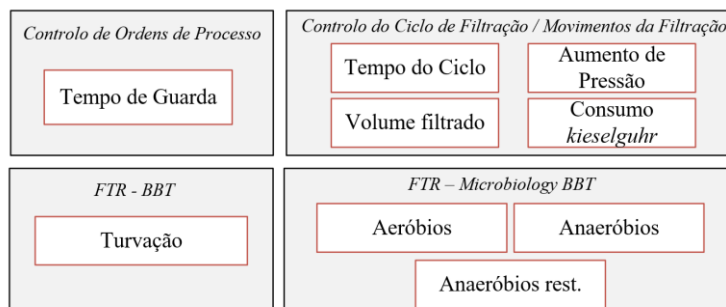


Figura 4.2- Parâmetros a monitorizar e respetivas fontes

É assumido que, dependendo da altura do ano, e por diversas razões, o desempenho dos filtros pode ser diferente devido às condições da cerveja que é enviada para filtrar. Com isto em mente e num esforço para contrariar este problema e encontrar a maneira mais viável de validar os valores gerados pelos ensaios efetuados, é optado também por elaborar um pré-estudo incidente nos parâmetros acima descritos, do mesmo período de tempo, no ano transato. Outra consideração a ter em conta é que os filtros raramente trabalham até ao potencial máximo (Figura 4.1), havendo uma dispersão aleatória de horas de funcionamento e conseqüente volume filtrado, que pode induzir em erro quando cruzado os valores destas variáveis com os ensaios implementados. É decidido então, também, calcular o tempo teórico de duração de um ciclo de filtração nos seguintes passos:

Primeiro, para determinar uma aproximação da quantidade de *kieselguhr* máxima de cada filtro, foi calculado o volume de cada placa e multiplicado pelo número de placas, ignorando o pequeno espaço entre cada placa:

$$KG_{m\acute{a}x} = \frac{c \cdot h \cdot l \cdot n}{v_{KG}} \quad (4.1)$$

Onde:  $KG_{m\acute{a}x}$  = Carga de *kieselguhr* máxima (Kg)  
 $c \times h \times l$  = Dimensão de uma placa 10x10x4 (dm)  
 $n$  = número de placas do filtro (Filtro 1= 66; Filtro 2 e 3=70)  
 $v$  = volume específico de *kieselguhr* húmido = 3,41dm<sup>3</sup>/Kg

Calculando o tempo teórico de duração de um ciclo a partir da equação:

$$t = \frac{1000 \cdot (KG_{m\acute{a}x} - KG_{pr\acute{e}-camada})}{D_{Aluvi\tilde{a}o} \cdot Q} \quad (4.2)$$

Em que:  $t$  = tempo de duração do ciclo (h)  
 $KG_{m\acute{a}x}$  = Carga de *kieselguhr* máxima (Kg)  
 $KG_{pr\acute{e}-camada}$  = Carga de *kieselguhr* máxima (Kg)  
 $D_{Aluvi\tilde{a}o}$  = Dosagem de *kieselguhr* no aluvião do ciclo (g/hL)  
 $Q$  = caudal de cerveja do ciclo (hL/h)

### 4.1.3 Linha de filtração I

#### Estudo pré-ensaio

Como planeado e referido anteriormente, uma análise ao ano de 2017 foi feita. Os principais dados estão ilustrados na Figura 4.3, onde é claramente visível as diferenças de volume filtrado entre a época baixa e alta de produção de cerveja. Informações mais detalhadas sobre os ciclos de filtração em 2017 podem ser encontradas no Apêndice B.

Seria de esperar que o consumo de kieselguhr por hectolitro na fase de aluvião se mantivesse semelhante entre os diferentes meses, o que não se verifica nos meses de Março e Abril. Nestes meses observa-se uma diminuição significativa de, aproximadamente, 17 g/hL consumidos nos diferentes ciclos de filtração.

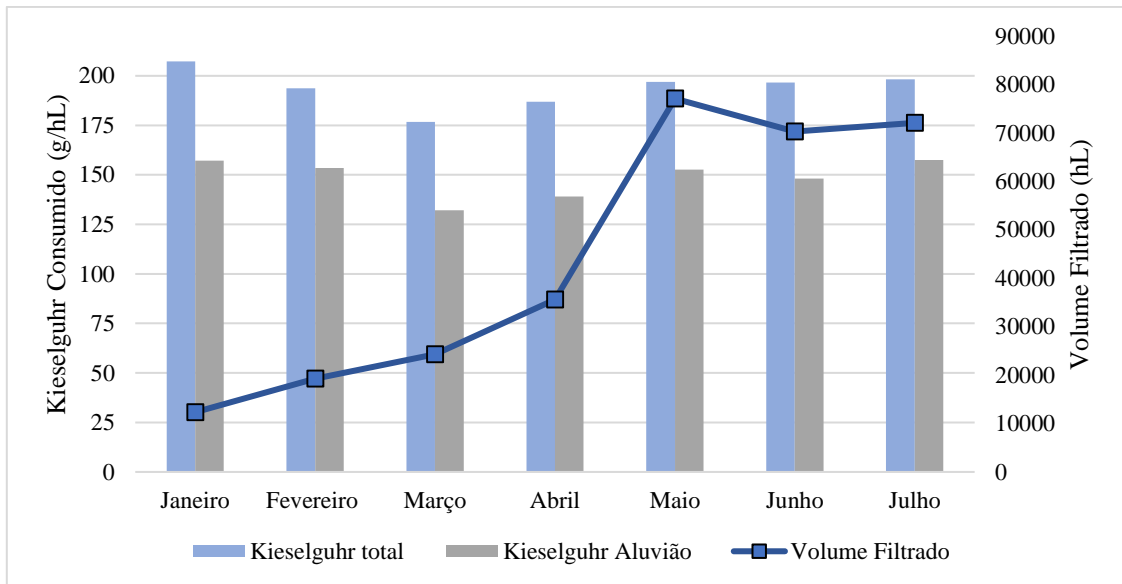


Figura 4.3- Volume filtrado e kieselguhr consumido mensalmente no filtro 1, no ano 2017

Uma análise mais detalhada demonstrou que o tempo para esgotar um tanque de mistura durante o aluvião foi muito superior nestes dois meses, podendo especular que uma alteração ao fator  $k$  foi realizada durante este período como ilustrado na tabela seguinte:

Tabela 4.4- Alteração de fator  $k$  e consequente duração de tanque no filtro 1, em 2017

Filtro 1	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho
Fator $k$	15	15	11	11	15	15	15
Duração de Tanque (horas)	2,0	2,1	2,5	2,4	2,1	2,1	2,0

Como tal, e tendo o ensaio planeado pela equipa em mente, uma comparação do comportamento do filtro 1 utilizando os dois valores de  $k$  pode ser construída:

Tabela 4.5- Comparação do filtro 1 com  $k$  diferente, em 2017

<b>Parâmetros de performance</b>	<b>fator <math>k = 15</math></b>	<b>fator <math>k = 11</math></b>
<i>Nº de ciclos</i>	72	18
<i>Horas funcionamento médio</i>	16	16
<i>Volume Filtrado médio</i>	3488	3330
<i>Kieselguhr Consumido (Aluvião) (g/hL)</i>	153	136
<i>Kieselguhr Consumido (g/hL)</i>	197	183
<i>Caudal de Filtração (hL/h)</i>	212	210
<i>Aumento do deltaP (bar/h)</i>	0,2	0,2

Analisando estes valores, observa-se que esta redução tem um impacto significativo no consumo de *kieselguhr* e não impacta de grande forma outros aspetos importantes dos ciclos de filtração, mas aparentemente, foi feita a decisão de voltar ao valor original (talvez por não querer arriscar a produção de cerveja durante a época alta). Todavia, sabendo que no início de 2018 o valor de  $k$  estava estabelecido em 13, foi também analisado o período restante do ano de 2017 (Agosto a Dezembro) para perceber se a alteração foi feita previamente, o que não se verificou:

Tabela 4.6- Valores de fator  $k$  e conseqüente duração de tanque, em 2017 (Agosto-Dezembro)

<b>Filtro 1</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Dezembro</b>
<i>Fator <math>k</math></i>	15	15	15	15	15
<i>Duração de Tanque (horas)</i>	1,9	2,1	2,2	2,0	2,2

### Estudo ensaio

A intervenção da equipa de otimização, nesta linha de filtração, consistiu no decréscimo de 2 níveis de fator  $k$ . O acompanhamento do funcionamento do respetivo filtro foi feito ao longo de 7 meses (início de Janeiro ao final de Julho) e as diversas informações mensais podem ser encontradas no Apêndice B.

A ocasião da alteração foi escolhida numa tentativa de compensar uma situação alheia à responsabilidade da equipa que correspondeu à alteração forçada da receita de aluvião (ocorrida no início de Março), e entrou em vigor no início do mês de Abril. No momento em que a situação na área se regularizou e a receita de aluvião voltou à normalidade, o valor da constante da bomba não foi alterado. A cronologia das ocorrências desta linha está ilustrada na figura abaixo:

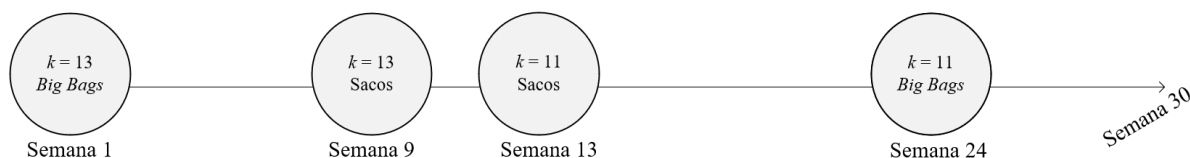


Figura 4.4- Cronologia das alterações no aluvião do filtro 1, em 2018

Os resultados dos respetivos ensaios podem ser divididos em duas categorias, de acordo com o que já foi referido antes, que são *performance* do filtro e as consequências desta na qualidade da cerveja. Estava também perspetivado a análise e quantificação da influência do tempo em guarda, mas não se chegou a nenhuma conclusão (figura presente no Apêndice B).

Começando pela primeira parte, os resultados para cada ciclo podem ser encontrados ilustrados detalhadamente no Apêndice B, contudo para uma visualização facilitada podem ser condensados na tabela seguinte:

Tabela 4.7- Resultados médios de diversos parâmetros nos diferentes ensaios no filtro 1, em 2018

Parâmetros de performance	fator k = 13(B)	fator k = 13(S)	fator k = 11 (S)	fator k = 11 (B)
Nº de ciclos	20	9	31	34
Horas funcionamento médio	18	14	16	15
Volume Filtrado médio (hL)	3688	2934	3398	3270
Kieselguhr Consumido (Aluvião) (g/hL)	143	169	133	132
Kieselguhr Consumido (g/hL)	185	221	179	180
Caudal de Filtração médio (hL/h)	212	214	216	214
Aumento do $\Delta P$ médio (bar/h)	0,2	0,2	0,2	0,2

Começando a análise de resultados pela quantidade de *kieselguhr* consumida, é possível perceber claramente as diferenças provocadas neste consumo, ao longo das diferentes situações:

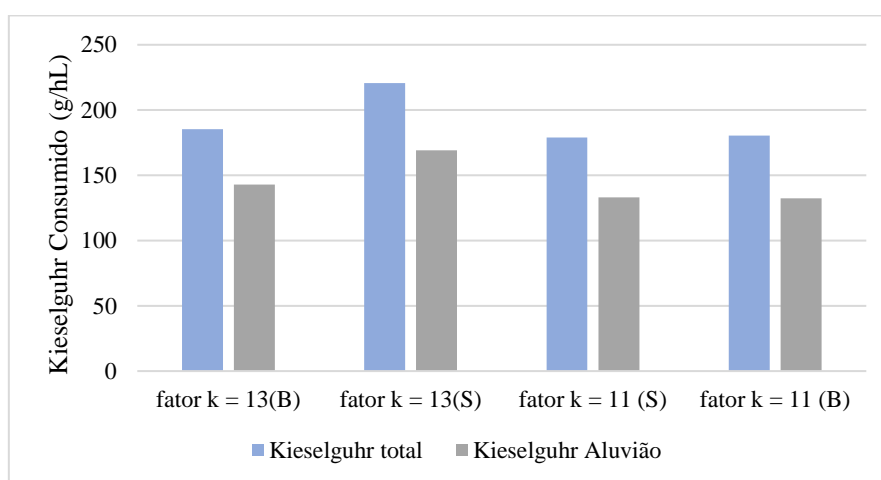


Figura 4.5- Kieselguhr consumido médio em cada ensaio no filtro 1, em 2018

Partindo da situação original, com a alteração da receita de Big Bags (B) para a de sacos (S), um aumento de aproximadamente 19% é sentido na concentração de adjuvante utilizado o que já era de esperar, já que a única diferença entre as duas situações é que a segunda adiciona uma maior quantidade dos vários tipos de *kieselguhr*. A alteração suscitada pela equipa para contrariar este aumento gerou uma diminuição de consumo rondando os 20% que, aquando do retorno para a receita original, seria de esperar outra redução significativa, contudo tal não aconteceu. Contrapondo a situação original com a final, uma diminuição de cerca de 8% foi alcançada e, comparando ainda com a mesma época do ano transato, uma redução de 13% foi conseguida.

Ainda olhando para a fase de aluvião, a redução do caudal de alimentação de *kieselguhr* para o aluvião, proveniente do tanque de mistura, originou que a uma preparação de aluvião durasse 12 minutos mais do que era a situação inicial (Tabela 4.8).

Tabela 4.8- Valor de  $k$  e consequente duração de um tanque, em 2018

Ensaio	fator $k = 13(B)$	fator $k = 13(S)$	fator $k = 11(S)$	fator $k = 11(B)$
Fator $k$	13		11	
Duração de Tanque (horas)	2,3		2,5	

O tempo de um ciclo de filtração e o derivado volume de cerveja filtrado deveria seguir a norma de quanto menor *kieselguhr* adicionado ao longo do mesmo, maior o número de horas e hectolitros filtrados (verificando-se também o inverso). Isto não é corroborado pelos valores médios apresentados na tabela de resultados. Porém, estes dados têm forçosamente de ser analisados com as estatísticas das razões para a cessão da atividade do filtro, demonstradas abaixo:

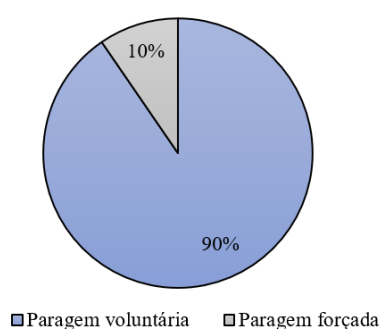


Figura 4.6- Causas para a interrupção do filtro 1, em 2018

Como esperado, os ciclos de filtração protagonizados pelo filtro 1 quase nunca chegam ao limite de longevidade possível, significando que não se pode tirar nenhuma conclusão dos valores médios tanto do tempo de funcionamento como do volume filtrado. Todavia, calculando os seus valores teóricos a partir das equações 4.1 e 4.2:

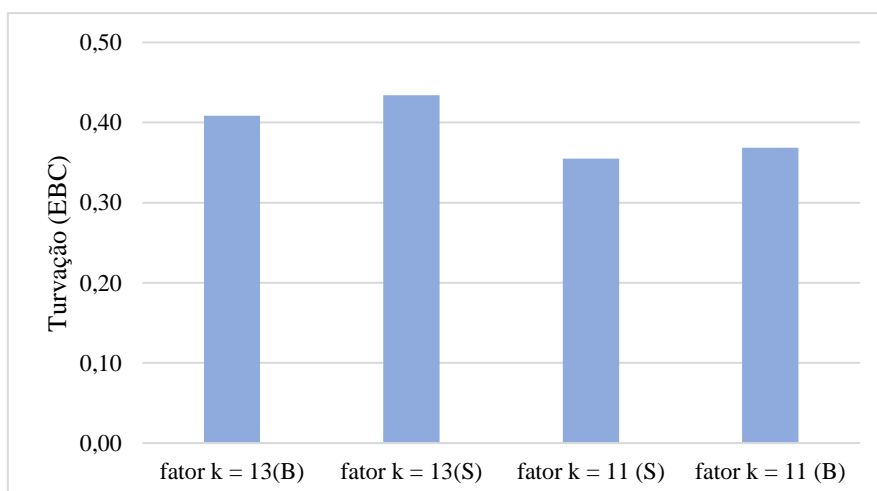
*Tabela 4.9- Valores teóricos de volume filtrado e tempo de funcionamento do filtro 1*

	<i>Volume filtrado teórico (hL)</i>	<i>Tempo de funcionamento teórico (horas)</i>
<i>fator k = 13 (B)</i>	4330	20
<i>fator k = 13 (S)</i>	3630	17
<i>fator k = 11 (S)</i>	4611	21
<i>fator k = 11 (B)</i>	4681	22
<i>Mesmo período (2017)</i>	4074	19

Contrastando a situação inicial com a alteração promovida pela mudança forçada das receitas de *kieselguhr*, é possível observar uma diminuição de 16% no volume esperado de cerveja filtrada e a redução de 3 horas no tempo máximo possível de funcionamento. A modificação estimulada por parte da equipa, fomentou um aumento de potencial volume filtrado de 29% e o aumento de 4 horas na duração esperada do ciclo. O retorno para a situação de receitas normais, origina um aumento de volume filtrado teórico na ordem dos 2% e mais 1 hora de duração teórico dos ciclos de filtração.

Comparando a situação presente com a inicial do mesmo ano, é constatado um aumento de 2 horas no tempo de funcionamento teórico e, conseqüentemente, aumento de 8% no volume de filtração teórico. Ainda analisando os valores para o mesmo período de tempo, em 2017, do estudo da situação atual (*11 (B)*), um aumento de 3 horas teóricas e um aumento de 15% no volume filtrado teórico são verificados.

Entrando na segunda categoria, analisando as conseqüências para a qualidade físico-química e microbiológica das modificações descritas acima, é importante ter a noção que estas são conseguidas a partir de amostras de produto acabado, que se encontra dentro dos *TCF's*, que podem ser cheios ao mesmo tempo por filtros diferentes, sendo importante fazer essa distinção para uma total veracidade dos dados. Principiando a análise pela turvação, considerando apenas os tanques cheios somente pelo filtro 1 com cerveja do tipo *Cerveja X*:



*Figura 4.7- Turvação média dos tanques cheios pelo filtro 1 com Cerveja X em cada situação*

Verifica-se que a média dos valores de turvação desceu com a alteração do fator k, embora não seja possível afirmar que existe uma relação de causalidade entre estes dois factos porque a turvação pode ser influenciada por inúmeras condições do processo, no entanto, é de facto inegável que o ensaio promovido não afetou negativamente os valores de turvação. Informação mais pormenorizada pode ser encontrada no Apêndice B.

Quanto à componente microbiológica, novamente são apenas contabilizados os tanques cheios apenas pelo filtro em questão, mas consideram-se todos os tipos de cerveja:

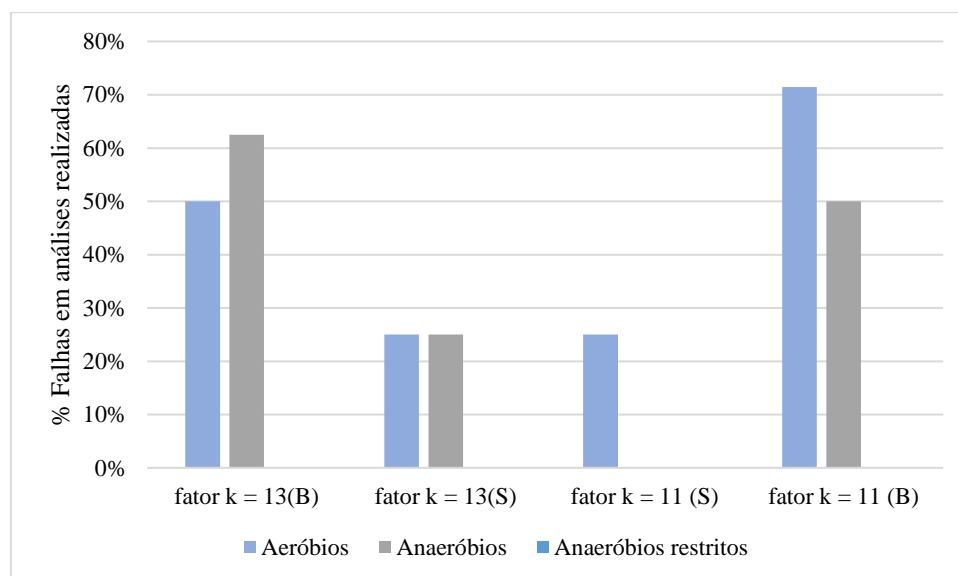


Figura 4.8- % de falhas em cada parâmetro microbiológico no filtro 1, em 2018

Novamente, regra geral as alterações que ocorreram decresceram o número de falhas por análises realizadas por parte do laboratório de microbiologia. Da situação inicial para a presente observa-se que a percentagem de falhas em testes para encontrar microrganismos aeróbios aumentou, mas o inverso aconteceu com os microrganismos anaeróbios (que são mais severos em termos de qualidade na cerveja). No entanto, da mesma forma que uma diminuição destas falhas não pode ser justificada apenas por estes ensaios pois existem muitas variáveis que influenciam o índice microbiológico, o contrário também é verdade, embora possa ser uma situação a ter em atenção. Mais informação está presente no Apêndice B.

### 4.1.4 Linha de filtração II

#### Estudo pré ensaio

No caso desta linha em particular, os registos da atividade do filtro 2 encontram-se incompletos. Ainda assim, uma análise aos que existem pode fornecer informações valiosas sobre o seu funcionamento, mesmo não sendo na mesma época em que o ensaio de realizou. Os principais dados estão ilustrados na figura abaixo e outros detalhes no Apêndice C.



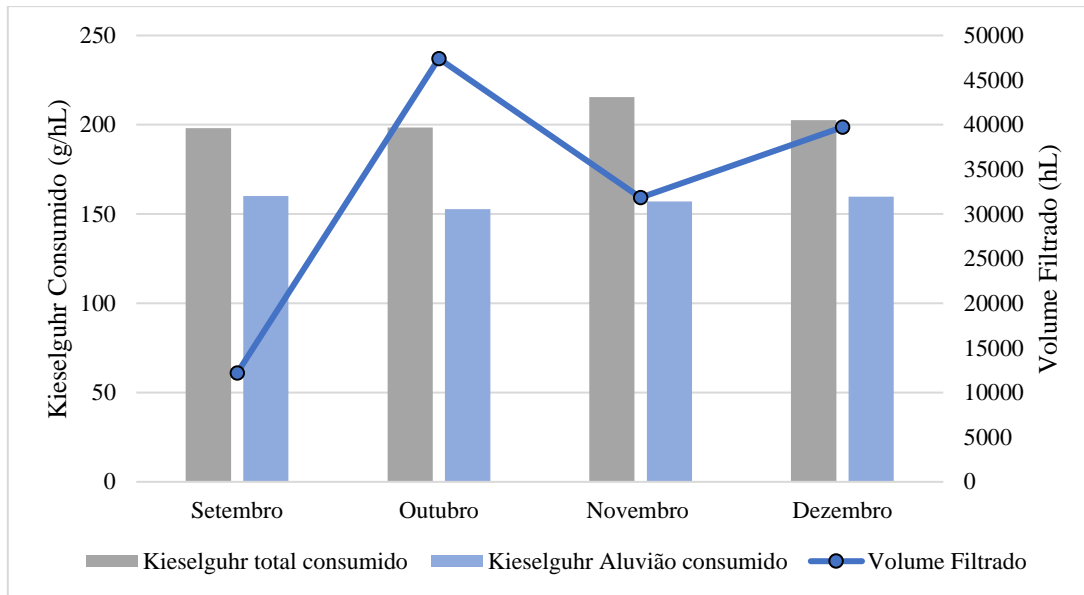


Figura 4.9- Kieselguhr consumido e volume filtrado mensalmente no filtro 2, em 2017

A quantidade de adjuvante de filtração consumida ao longo do ciclo de filtração, no aluvião, manteve-se constante nestes meses, rondando os 150 g/hL. Este facto, alheado à análise de tempo que demorou a esgotar cada tanque de preparado de aluvião, permite especular que o fator k neste filtro se manteve igual a 15, como se encontrava no início de 2018, durante o ano de 2017 também.

Tabela 4.10- Fator k especulado e duração do tanque de mistura do filtro 2, em 2017

<b>Filtro 2</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Dezembro</b>
Fator k	15	15	15	15
Duração de Tanque (horas)	1,9	2,0	1,9	1,9

### Estudo ensaio

O trabalho da equipa de otimização, na linha de filtração II, resultou na diminuição do fator k em três níveis. A monitorização da performance deste filtro foi feita desde o início do ano de 2018 até ao final do mês de Julho e os dados recolhidos encontram-se presentes no Apêndice C.

A atividade propriamente dita começou no final do mês de Março com o primeiro ensaio promovido, reduzindo o fator k de 15 para 13, de modo a fazer face ao aumento de consumo experienciado pela alteração forçada das receitas de kieselguhr a ser empregadas durante a filtração. De seguida, houve oportunidade, no início de Abril, para uma segunda redução, fixando o valor nos 12 e foi mantido assim aquando a volta do sistema de Big Bags, no início do mês de Junho. A figura apresenta a cronologia das alterações ocorridas.

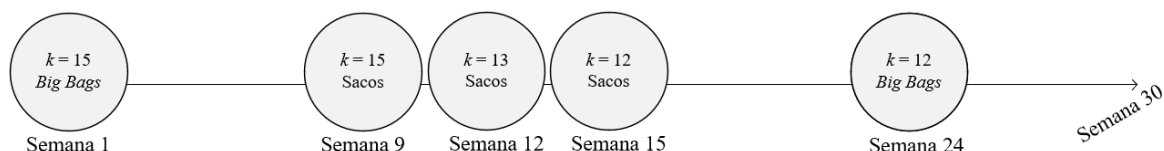


Figura 4.10- Cronologia das alterações no aluvião no filtro 2, em 2018

Seguindo a mesma metodologia apontada na secção anterior, os resultados são divididos em duas partes: no impacto da redução da quantidade de adjuvante no funcionamento do filtro e nas consequências subsequentes no produto filtrado. Uma análise à etapa de maturação de cerveja, relacionando o tempo em que a cerveja matura nos tanques com o desempenho do filtro foi também realizada, sem resultados conclusivos (apresentada no Apêndice C).

Na tabela seguinte, pode ser visualizado um resumo dos principais parâmetros estudados para averiguar as diferenças provocadas pelos diferentes ensaios e alterações no funcionamento dos filtros. Informação ciclo a ciclo pode ser encontrada no Apêndice C.

Tabela 4.11- Resultados médios dos parâmetros principais monitorizados de funcionamento do filtro 2 por ensaio, em 2018

Parâmetros monitorizados	k = 15 (B)	k = 15 (S)	k = 13 (S)	k = 12 (S)	k = 12 (B)
Nº de ciclos	21	9	8	31	26
Horas funcionamento médio	19	15	20	18	17
Volume Filtrado médio	4189	3229	4228	3792	3529
Kieselguhr Consumido (Aluvião) (g/hL)	149	190	153	138	139
Kieselguhr Consumido (g/hL)	186	239	192	180	183
Caudal de Filtração (hL/h)	224	222	211	219	216
Aumento do deltaP (bar/h)	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2

Principiando a análise dos resultados pela evolução do consumo de kieselguhr evidenciado em cada ciclo de filtração, ao longo das alterações feitas no processo:

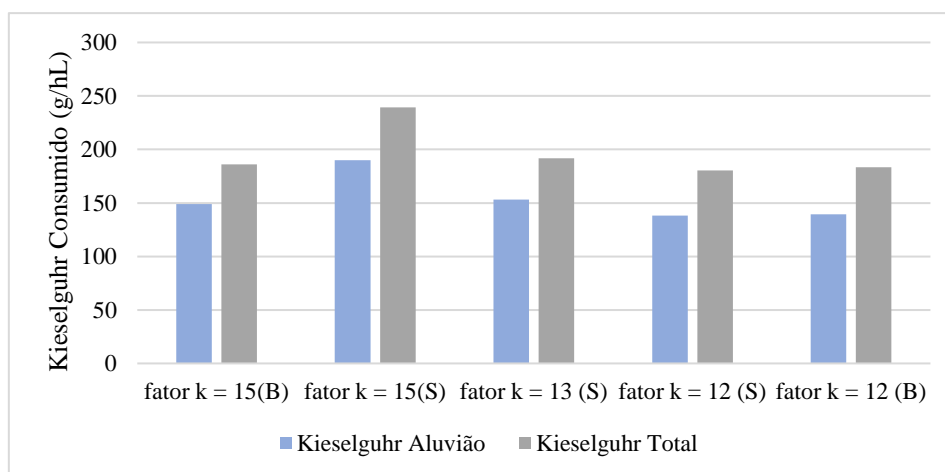


Figura 4.11- Kieselguhr consumido médio em cada ensaio no filtro 2, em 2018

A mudança forçada da receita de Big Bags (B) para a de sacos (S) provocou um aumento de sensivelmente 28% no consumo de adjuvante durante o aluvião. Este aumento seria expetável, uma vez que está a ser adicionado uma maior quantidade de kieselguhr nas mesmas condições que anteriormente. A modificação instaurada pela equipa, reduzindo o fator k para 13, originou uma redução de 19% na quantidade de pó despendido durante o ciclo e, uma segunda redução, gerou uma redução em 10% em relação à precedente. Com a normalização da área de filtração e o retorno à receita de Big Bags, o valor de k foi mantido o mesmo, e seria de esperar observar uma redução algo acentuada, (dado ao aumento de consumo sentido na primeira troca de receita) no entanto tal não se verificou, mantendo-se com um consumo similar.

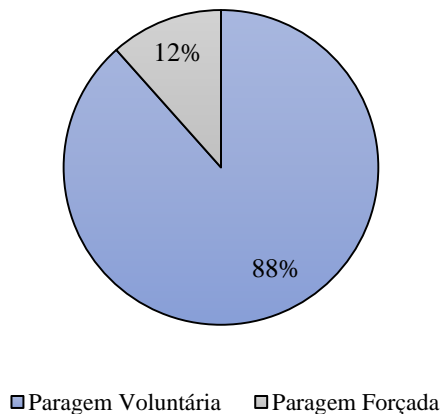
Contrastando a situação que se encontrava no início com a final, observa-se uma redução de 7% e, como os registos do filtro 2 para a mesma fase temporal do final do trabalho não se encontram disponíveis, é feita a comparação com os dados do filtro 3 (porque são filtros semelhantes em termos de morfologia), onde se observa uma diminuição no consumo de kieselguhr de 9%.

Olhando para o significado físico da redução do fator k, ou seja, a redução do caudal de adição da mistura, preparada no tanque acoplado ao filtro, à cerveja que vai ser filtrada, é notado um aumento na duração do tanque de 24 minutos da situação original para a presente (Tabela 4.12).

*Tabela 4.12- Valor de k e duração de tanque por ensaio, em 2018*

<i>Ensaios</i>	<i>k = 15(B)</i>	<i>k = 15(S)</i>	<i>k = 13 (S)</i>	<i>k = 12 (S)</i>	<i>k = 12 (B)</i>
<i>Fator k</i>	15		13	12	
<i>Duração do tanque (horas)</i>	2,0		2,4	2,4	

Antes de retirar qualquer conclusão sobre as consequências dos ensaios no tempo de funcionamento do filtro 2 e do volume filtrado decorrente, é necessário analisar se este filtro é utilizado no seu total potencial, durante a fase monitorizada, demonstrado na figura abaixo:



*Figura 4.12- Distribuição das causas de interrupção do filtro 2, em 2018*

À semelhança do ano transato, os ciclos de filtração são interrompidos voluntariamente na grande maioria das vezes, o que significa que a duração dos ciclos e volume filtrado é quase arbitrária e então analisar os seus valores médios observados em cada ensaio/alteração no filtro pode levar a inferências erradas. Com isto em mente, é calculado o valor teórico destas duas variáveis a partir das equações 4.1 e 4.2 listadas anteriormente, chegando aos seguintes resultados:

*Tabela 4.13- Valores teóricos de volume filtrado e tempo de funcionamento teórico no filtro 2*

<b>Ensaio</b>	<b>Volume filtrado teórico (hL)</b>	<b>tempo de funcionamento teórico (horas)</b>
<i>fator k = 15 (B)</i>	4742	21
<i>fator k = 15 (S)</i>	3694	17
<i>fator k = 13 (S)</i>	4582	22
<i>fator k = 12 (S)</i>	5115	23
<i>fator k = 12 (B)</i>	5071	24
<i>Mesmo período (2017)</i>	4620	21

Comparando os valores teóricos do começo da experiência com os valores pós-alteração de receitas, é possível constatar uma diminuição de 22% no volume filtrado previsto e uma redução no tempo de funcionamento de 4 horas. O primeiro decréscimo do caudal de alimentação de kieselguhr proporcionado pela equipa resultou num aumento teórico de 24% de volume filtrado, aliado a um aumento de 5 horas em tempo de funcionamento. O segundo, obteve outro aumento do volume de cerveja filtrado teórico na ordem dos 12 % assim como o acréscimo de mais 1 hora de ciclo de filtração. O retorno para a receita de Big Bags manteve o volume filtrado teórico semelhante, mas aumenta em 1 hora de funcionamento teórico em comparação com o mesmo valor de k na receita de sacos.

Estudando a evolução destes valores teóricos, entre o início e o final do trabalho desenvolvido, é verificado, teoricamente, o aumento de 3 horas nos ciclos de filtração e, por conseguinte, um aumento na ordem dos 7% de volume de cerveja filtrado. Além disto, contrapondo o valor presente destas variáveis com o observado na mesma altura, do ano transato, no filtro 3 (pela ausência de dados do filtro em questão), vê-se um aumento de 3 horas de potencial funcionamento do filtro e um incremento de 10% no possível volume de cerveja filtrado.

Transitando para a segunda parte do estudo dos ensaios, as consequências na qualidade do produto final provocadas pelas alterações na *performance* do filtro 2, é necessário ter o conhecimento prévio que o funcionamento em simultâneo de diferentes filtros pode resultar em *TCF's* cheios por dois ou mais destes filtros, o que significa que para coletar as informações mais corretas possíveis é imperativo fazer esta distinção. Portanto, começando pela análise de foro físico-químico à turvação das amostras retiradas dos tanques de produto acabado somente cheios, pelo filtro 2, de cerveja da marca *Cerveja X*:

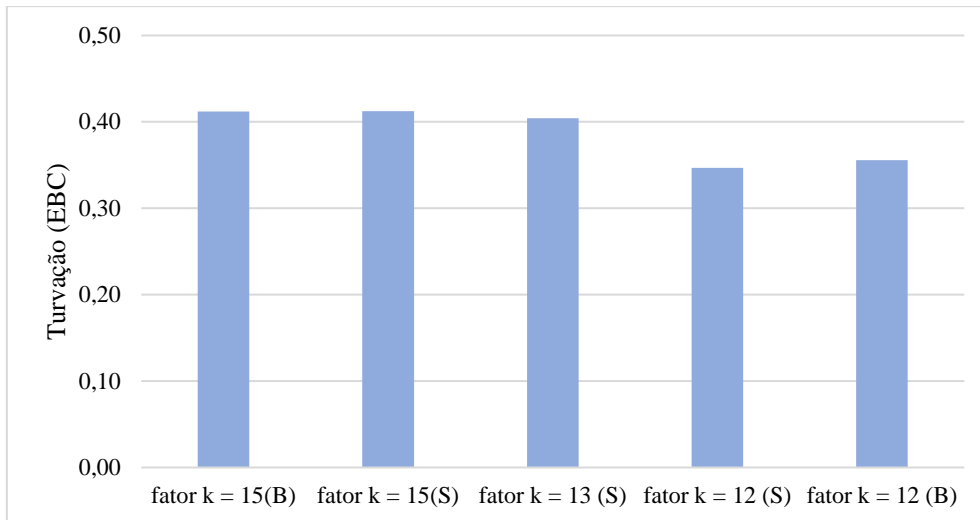


Figura 4.13- Turvação média dos tanques cheios pelo filtro 2 com Cerveja X em cada alteração

Observa-se que a turvação média de Cerveja X tem uma tendência a descer com o decréscimo do fator k, culminando com uma diferença de 12% do início para o fim do período monitorizado. Todavia, não se pode afirmar com certeza que exista uma relação de causalidade entre estas duas variáveis, pois existem inúmeras mais que afetam a turvação final da cerveja. Por outro lado, qualquer dos valores é muito inferior ao limite de turvação admitido pela fábrica (0,9 EBC) e também é inegável o facto que os ensaios realizados pela equipa não promoveram negativamente este aspeto da qualidade. Informação mais detalhada pode ser consultada no Apêndice C.

Em relação ao elemento microbiológico, novamente são apenas contabilizados para análise os tanques cheios apenas pelo filtro 2, englobando todo o tipo de cervejas menos as vertentes *Radler* e sidras:

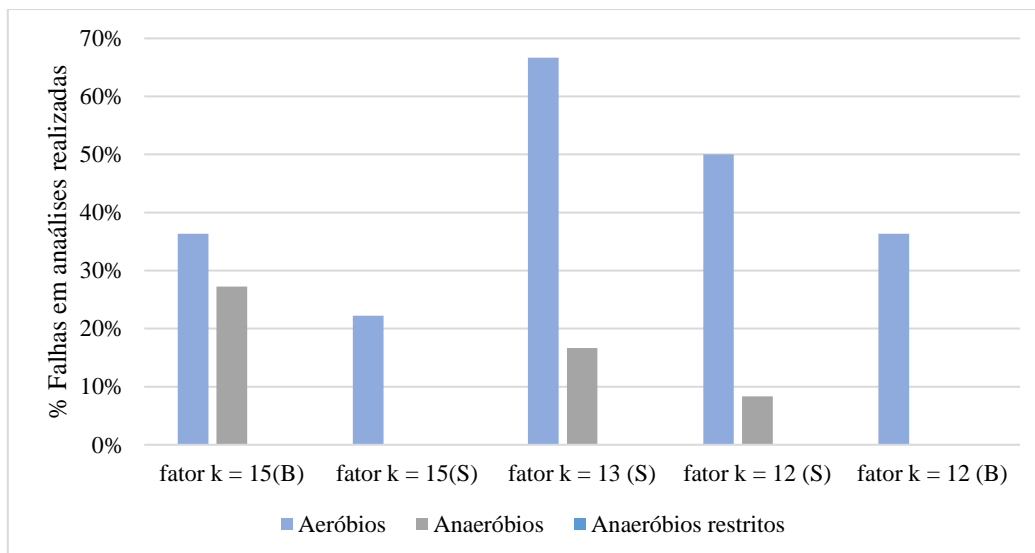


Figura 4.14- % de falhas encontradas em cada parâmetro microbiológico no filtro 2, em 2018

Contrastando a situação inicial com a presente verifica-se que o número de falhas por análise feita, em termos de microrganismos aeróbios, é praticamente o mesmo. Ao longo do espaço temporal em que este parâmetro foi monitorizado é possível observar um pico em termos desta percentagem, quando o valor de  $k$  é igual a 13, no entanto volta a descer quando o  $k$  é reduzido de novo, o que quer dizer que este mau resultado não será uma consequência das alterações da equipa. Por outro lado, nas análises para a quantificação de organismos anaeróbios (mais nocivos para a cerveja que os anteriores), é observado uma redução ao longo da evolução das alterações. Claro que, como no caso da turvação, estes resultados só podem ser conclusivos numa perspetiva de demonstrar que as alterações ao fator  $k$  não são uma razão evidente para o pioramento do índice microbiológico e não que são uma razão do melhoramento deste índice, pois ele é afetado por muitas variáveis ao longo do processo. Mais informação pode ser consultada no Apêndice C.

#### 4.1.5 Linha de Filtração III

##### Estudo pré-ensaio

Assim como foi premeditado, uma inspeção ao ano de 2017 (no mesmo período em que o trabalho se iria incidir) foi efetuado. Os dados fulcrais estão apresentados na Figura 4.15 e as restantes informações mais pormenorizadas podem ser consultadas no Apêndice D.

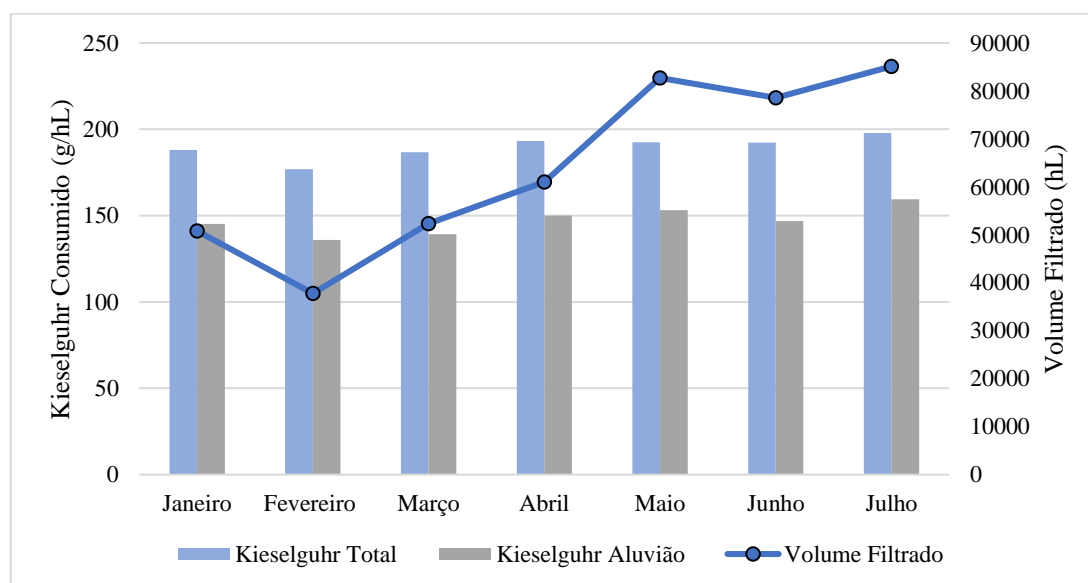


Figura 4.15- Volume filtrado e kieselguhr consumido no filtro 3, em 2017

Semelhantemente ao caso da linha de filtração 1, quando seria de esperar que os valores da concentração de kieselguhr despendido no aluvião fosse praticamente o mesmo ao longo dos meses, isto não se verifica em dois meses, Fevereiro e Março. Analisando a duração de um tanque de mistura para o aluvião, nota-se uma diferença algo significativa o que permite especular que nestes meses uma experiência na redução de fator  $k$  foi realizada, seguindo o demonstrado na tabela seguinte:

*Tabela 4.14- Alteração do fator k e consequente duração de tanque no filtro 3, em 2017*

<b>Filtro 3</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Maió</b>	<b>Junho</b>	<b>Julho</b>
<i>fator k</i>	15	13	13	15	15	15	15
<i>Duração de Tanque</i>	2,2	2,3	2,3	2,1	2,1	2,1	2,0

Sendo assim, tendo a metodologia dos ensaio a elaborar presente, é construída uma comparação dos principais parâmetros de funcionamento dos filtros com os dois valores da constante k:

*Tabela 4.15- Comparação do funcionamento do filtro 3 com k diferente, em 2017*

<b>Parâmetros de performance</b>	<b>Fator k = 15</b>	<b>Fator k = 13</b>
<i>Nº de ciclos</i>	96	26
<i>Horas funcionamento médio</i>	17	16
<i>Volume Filtrado médio</i>	3731	3466
<i>Kieselguhr Consumido (Aluvião) (g/hL)</i>	152	138
<i>Kieselguhr Consumido (g/hL)</i>	196	187
<i>Caudal de Filtração (hL/h)</i>	218	214
<i>Aumento do <math>\Delta P</math> (bar/h)</i>	0,2	0,2

Analisando os valores, observa-se uma redução de 14 g/hL de kieselguhr consumido no aluvião, sem aparentes problemas nos restantes aspetos da filtração. Contudo, chegada a época alta de produção (provavelmente para não arriscar perturbações), a alteração é regredida para o valor original e, dado que em 2018 se encontra com o valor de 15, parece manter-se assim no restante do ano.

### Estudo ensaio

A ação de otimização por parte da equipa, nesta linha, resultou na redução do fator k em 3 níveis. O estudo e respetivo acompanhamento da *performance* desta linha de filtração 3 foi levada a cabo durante os primeiros 7 meses do ano de 2018 e os seus detalhes podem ser consultados no Apêndice D.

As alterações efetuadas neste filtro foram sempre precedidas das mesmas alterações, mas na linha número 2, que atuou quase como uma prova de conceito, assegurando o bom funcionamento do filtro 3. Sendo assim, como ilustrado na figura abaixo, a primeira alteração nas condições de aluvião foi a alteração forçada nas receitas (no início de Março), que foi procedida da redução do fator k para 13, no primeiro terço do mês de Abril. A alteração seguinte, retornando à receita original, coincidiu com um período de mal funcionamento do filtro e então optou-se por cessar o ensaio e retornar o valor de k ao original. Com o mal funcionamento do filtro resolvido e concluindo que nada tinha a ver com os ensaios efetuados, um último degrau foi descido em relação ao valor de k, acabando com o valor de 12.

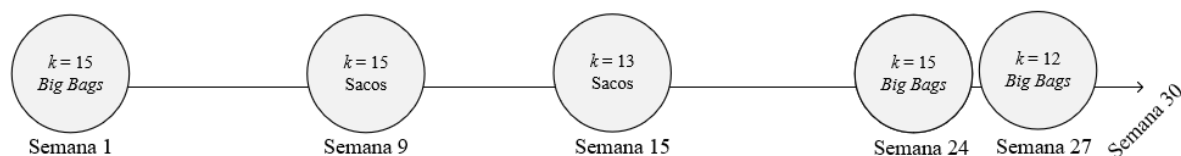


Figura 4.16- Cronologia das alterações experienciadas no filtro 3, em 2018

Seguindo o princípio já aplicado anteriormente, os resultados são agrupados em duas categorias: indicadores da *performance* do filtro e indicadores da qualidade da cerveja. Foi também proposto quantificar a influencia que o número de dias de guarda tem na filtração da cerveja, contudo os dados não são conclusivos (apresentados no Apêndice D).

Iniciando pela primeira categoria, os valores médios dos parâmetros mais importantes monitorizados para averiguar o desempenho do filtro 3 são apresentados na Tabela 4.16. Os resultados recolhidos, ciclo a ciclo de filtração, podem ser visualizados no Apêndice D.

Tabela 4.16- Resultados médios dos principais parâmetros nos diferentes ensaios no filtro 3, em 2018

	(1) $k = 15$ (B)	$k = 15$ (S)	$k = 13$ (S)	(2) $k = 15$ (B)	$k = 12$ (B)
Nº de ciclos	26	18	32	18	14
Horas funcionamento médio	17	18	19	15	19
Volume Filtrado médio (hL)	3772	3797	4050	3308	4141
Kieselguhr Consumido (Aluvião) (g/hL)	142	170	141	150	128
Kieselguhr Consumido (g/hL)	183	210	179	197	166
Caudal de Filtração (hL/h)	224	215	219	225	216
Aumento do $\Delta P$ (bar/h)	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2

O consumo de *kieselguhr* pode ser observado de forma mais evidente no seguinte gráfico, revelando a evolução ao longo das alterações de aluvião na linha 3:

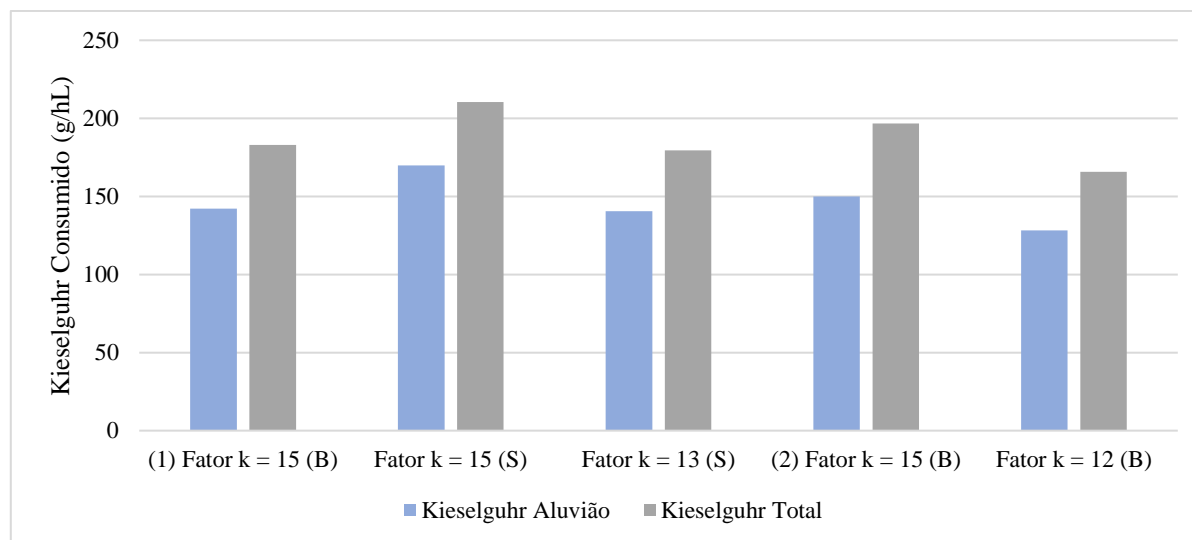


Figura 4.17- Kieselguhr consumido médio em cada ensaio no filtro 3, em 2018



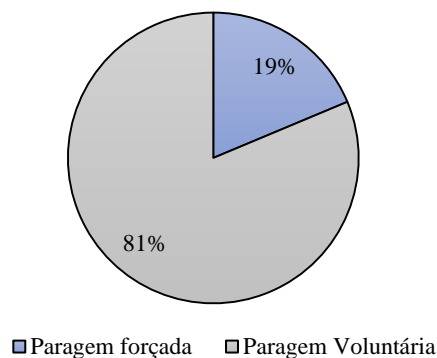
Analisando com maior detalhe esta evolução temporal, a troca forçada da receita de Big Bags (B) para a de Sacos (S), provocou um aumento de 20% no consumo de adjuvante de filtração no aluvião, como era expetável (é adicionado maior quantidade de kieselguhr sem mais nenhuma alteração). A alteração efetuada pelo grupo de otimização, reduziu o gasto de pó em aproximadamente 18%, praticamente anulando o consumo em excesso provocado pela alteração de receitas. A avaria sentida no filtro, coincidente com o retorno à receita de Big Bags e alheia ao trabalho da equipa, forçou o retrocesso do fator k para o valor original resultando num novo aumento de 6% no consumo de kieselguhr no aluvião. Com a situação solucionada, o fator k foi diminuído para o nível 12, o que originou uma redução de 15% em relação à passada alteração e um decréscimo de 26% em relação ao mesmo período de tempo, do ano transato.

Ainda na fase de aluvião, esta diminuição do consumo de kieselguhr, traduz-se num aumento da duração do tanque de mistura de cada aluvião de 30 minutos (Tabela 4.17).

*Tabela 4.17- Valor de k e duração do tanque correspondente no filtro 3, em 2018*

<i>Ensaios</i>	<i>(1) k = 15 (B)</i>	<i>k = 15 (S)</i>	<i>k = 13 (S)</i>	<i>(2) k = 15 (B)</i>	<i>k = 12 (B)</i>
<i>Fator k</i>	15		13	15	12
<i>Duração de tanque (horas)</i>	2,1	2,1	2,4	2,0	2,5

O tempo de funcionamento e o volume filtrado derivado deste, por cada alteração, parece seguir a tendência esperada de quanto menos kieselguhr, maior o valor destas duas variáveis pois o filtro necessita de mais tempo para ficar saturado de pó, chegando à sua capacidade máxima. No entanto, analisando as estatísticas de interrupção do filtro 3 durante o período dos ensaios:



*Figura 4.18- Causas para a interrupção do filtro 3, em 2018*

É denotado que a situação já verificada em 2017, se mantém. Como na maior parte das vezes, o filtro 3 não é utilizado até ao máximo potencial, os valores de tempo de funcionamento médio e volume filtrado médio têm um cariz quase aleatório. Contudo, para avaliar a verdadeira influência das alterações

no caudal de kieselguhr adicionado ao longo da filtragem, é possível calcular os valores teóricos das destes dois parâmetros, utilizando as equações enunciadas a cima (4.1 e 4.2).

Tabela 4.18- Valores teóricos de volume filtrado e tempo de funcionamento no filtro 3

	<i>Volume filtrado teórico</i>	<i>tempo de funcionamento teórico</i>
(1) Fator $k = 15$ (B)	4976	22
Fator $k = 15$ (S)	4131	19
Fator $k = 13$ (S)	4993	23
(2) Fator $k = 15$ (B)	4714	21
Fator $k = 12$ (B)	5511	26
Mesmo período (2017)	4396	20

Partindo da situação original, a alteração forçada de receitas, originou uma diminuição de 3 horas no tempo de funcionamento teórico e uma diminuição de 17% no possível volume filtrado. A modificação no fator  $k$ , da responsabilidade da equipa, gerou um aumento de 21% no potencial volume de cerveja a filtrar e num incremento de 4 horas no funcionamento do filtro. O retorno à receita e valor  $k$  originais, causou uma esperada diminuição de volume filtrado teórico e tempo de funcionamento de 6% e 2 horas, respetivamente. Contraponto a situação inicial e a presente, observa-se um aumento de 11% no volume filtrado teórico, assim como, um aumento de 4 horas na duração potencial dos ciclos de filtração. Comparando ainda com o mesmo período da última alteração, mas em 2017, é verificado um aumento de volume de 25% e 6 horas de duração dos ciclos.

Por outro lado, analisando os dados dos indicadores da qualidade da cerveja afetados pelos filtros, é importante ter em mente que as análises para a sua determinação provêm dos tanques de produto acabado que podem ser cheios de cerveja proveniente de filtros diferentes. Para se ter a noção mais correta possível sobre a influência das diferentes alterações provocadas na linha de filtração 3, foram apenas considerados os TCF's cheios pelo filtro em questão, de cerveja do tipo *Cerveja X*:

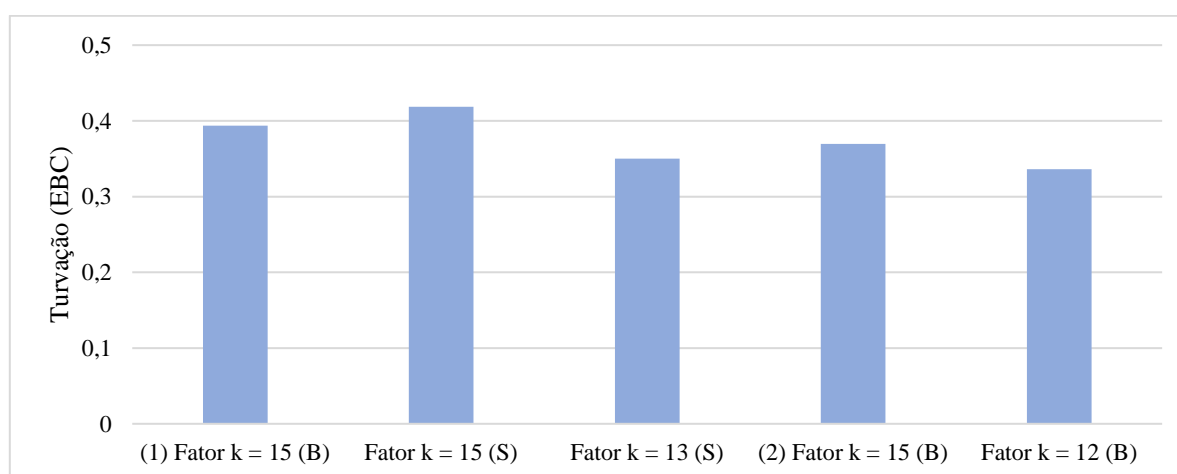


Figura 4.19- Turvação média dos tanques cheios pelo filtro 3 com Cerveja X por alteração

Verifica-se que a média de turvação aparenta ter a tendência de diminuir à medida que o fator  $k$  diminui também. Embora não seja possível estabelecer uma relação de causalidade restrita, uma vez que existem muitos fatores dentro do processo cervejeiro que podem ter um impacto na turvação do produto, é inegável que não existe uma influência negativa neste parâmetro físico-químico que advinha da redução da quantidade de kieselguhr utilizado. Informação do valor de turvação, tanque a tanque, pode ser consultado no Apêndice D.

Para analisar o segundo indicador de qualidade, contaminação microbiológica, são considerados novamente apenas os TCF's cheios pela linha de filtração 3, mas de diversos tipos de cerveja:

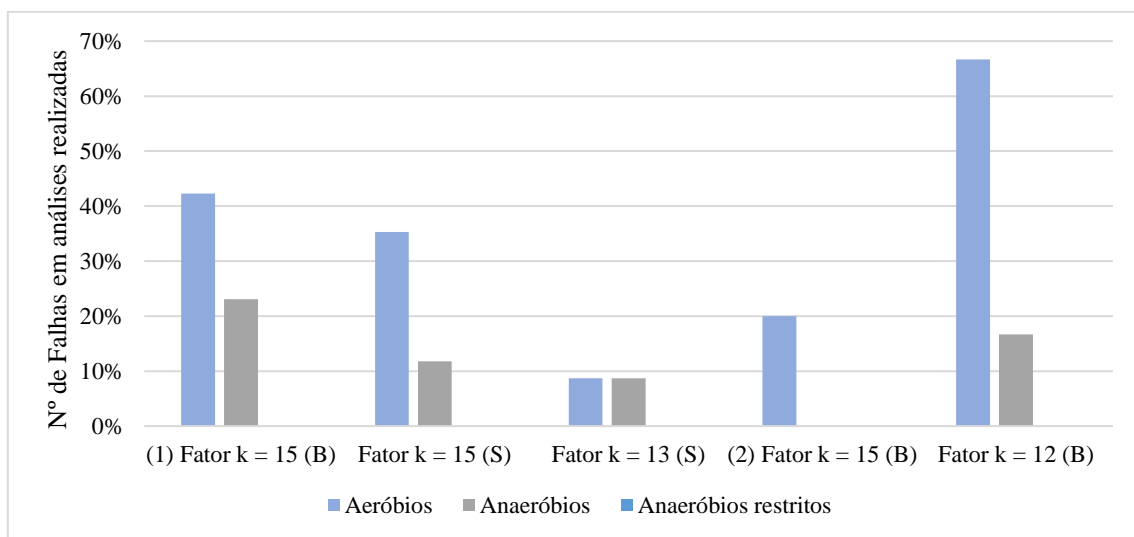


Figura 4.20- % de falhas microbiológicas encontradas nos TCF's analisados por alteração, em 2018

Regra geral, existe uma evolução positiva no índice microbiológico à medida que as alterações foram feitas. Analisando a situação inicial e a presente, por um lado, é evidenciado uma redução no número de falhas por análise efetuado no que toca a microrganismos anaeróbios (que são os mais prejudiciais para a cerveja). Por outro lado, existe um aumento do mesmo parâmetro nas análises a microrganismos aeróbios. No entanto, não se pode afirmar que isto derive somente da redução do fator  $k$ , pois, não existe uma tendência para o aumento de contaminação do produto final no resto das alterações e, como referido anteriormente, existe uma melhoria no parâmetro dos anaeróbios. Além disto, tal e qual como na turvação, o índice microbiológico está sobre influencia de inúmeras partes diferentes do processo, não sendo factual o estabelecimento de uma causalidade direta entre os ensaios realizados no filtro 3 e os resultados microbiológicos. Ainda assim, mesmo assumindo que não existe um impacto negativo neste aspeto de qualidade, pode ser uma situação a manter sobre vigia.

#### 4.1.6 Redução de Custos

Através do trabalho efetuado nas três linhas de filtração, foi possível diminuir o consumo de *kieselguhr* necessário para a filtração de cerveja, sem prejudicar a produção. Para além aumento do tempo de funcionamento máximo que os filtros podem trabalhar durante um ciclo e o conseqüente aumento de

volume filtrado possível em cada ciclo que permite uma redução de tarefas operacionais que não pode ser quantificado, o principal retorno está na redução dos custos de compra e tratamento do próprio kieselguhr. Sendo assim, um exercício para quantificar esse aspeto é elaborado.

Aplicando os valores presentes de kieselguhr consumido no aluvião por hectolitro de volume filtrado e de volume filtrado por ciclo determinado teoricamente e os mesmos valores para o ano transato (Tabela 4.19), ao volume de cerveja filtrado em 2017, demonstra uma diferença de kieselguhr consumido no aluvião de, sensivelmente, 40 000 Kg. Ao mesmo tempo, com o aumento da duração dos ciclos, significa que são precisos menos 55 ciclos de filtração para filtrar o mesmo volume o que se traduz numa diminuição de 9 000 Kg de kieselguhr gastos em pré-camadas.

Tabela 4.19- Valores de kieselguhr consumidos no aluvião e volume filtrado teórico no presente e em 2017 em vários filtros

Filtros	2017		Presente	
	Kg. Aluvião (g/hL)	Volume Filtrado t. (hL)	Kg. Aluvião (g/hL)	Volume Filtrado t. (hL)
Filtro 1	154	4101	132	4681
Filtro 2	157	4494	139	5071
Filtro 3	151	4683	128	5511
Média	<b>154</b>	<b>4426</b>	<b>133</b>	<b>5088</b>

O preço de compra de *kieselguhr*, entre os variados tipos, ronda os 0,50 €/Kg, logo, podemos projetar uma poupança anual de 25 000 € na compra deste recurso. Todavia, existem também custos para transporte e tratamento do mesmo procedendo a sua utilização na fábrica. Seguindo a mesma forma de comparação utilizada acima, existe uma poupança de aproximadamente 7 000 € no tratamento destes resíduos. É possível, então, estimar que o trabalho da equipa de otimização resultou num corte de custos anuais de 32 000 €, sem prejudicar de qualquer forma outros aspetos do processo ou qualidade da cerveja.

## 4.2 Otimização do processo de diluição

No âmbito de otimizar o processo de diluição, o primeiro passo consistiu no adquirento de experiência e conhecimentos no terreno, observando os procedimentos instaurados na área de Filtração e falando com os responsáveis e operadores que aqui exercem funções.

O processo de diluição está ligado intimamente ao de filtração. Assim que são iniciados os preparativos para arrancar um novo ciclo de filtração, é também preparado o *carboblender* da linha em questão. São ligados os sistemas de HGB e CDS, selecionado o produto que vai ser diluído da lista gravada na memória da máquina, escolhido o modo de operação (manual ou automático) e introduzido o valor de extrato primitivo da cerveja que vai circular no seu interior. Este parâmetro é introduzido num local secundário do painel de controlo no carboblender 1 e na área principal dos restantes (assim como a escolha do modo de controlo), exemplificadas abaixo:

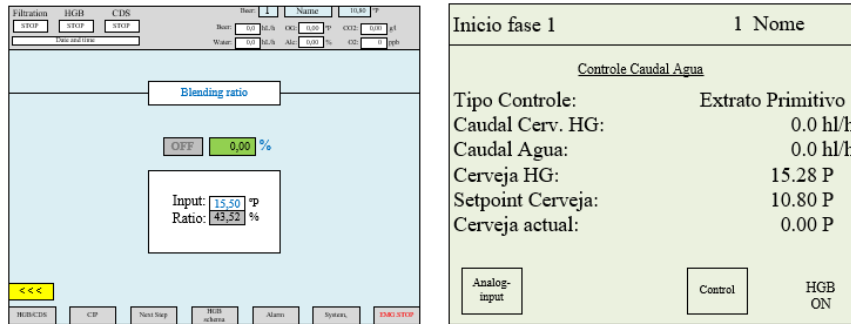


Figura 4.21- Interface do utilizador para introduzir extrato de guarda no CB 1 (esquerda) e CB 2 e 3 (direita)

O funcionamento do equipamento desde o começo até ao fim do ciclo de diluição pode ser dividido em duas fases: fase de arranque e fase de produção.

A primeira, quando as válvulas e sistemas de controle estão a ajustar-se para trabalhar dentro dos parâmetros definidos, pode ainda ser dividida em duas etapas distintas baseadas no destino final do que circula no seu interior. Numa primeira etapa, o líquido que chega ao carboblender, proveniente do filtro, é apenas água de lavagem do mesmo ou que foi utilizada para pré-camadas e cerveja misturada com esta que têm como destino final o esgoto. Quando não existe mais água no filtro, entra no circuito apenas cerveja, mas o carboblender ainda não completou a sua fase de arranque e então o output de água para diluir a cerveja para o indicado ainda não é o correto e, por isso, esta cerveja é enviada para um tanque de recuperação para ser integrada de novo no processo. Assim que o output de água estabiliza, entra na fase de produção e a cerveja passa a ser enviada para os TCF's.

As trocas de destino final do fluido que circula no interior do sistema, quer em modo automático ou manual, são manualmente decididas pelo operador responsável, que toma estas decisões a partir dos valores de extrato primitivo medido em linha e o caudal de água a entrar no sistema, observados no display exemplificado acima (nos CB 2 e 3) e no display abaixo para o CB1:

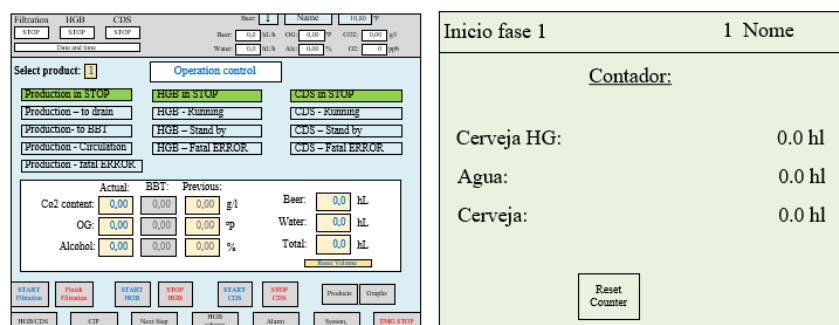


Figura 4.22- Exemplos dos displays do carboblender 1 (esquerda) e dos CB 2 e 3 (direita)

É prática usual na área de filtração que a fase de arranque dos carboblenders seja feita em modo manual. Isto acontece porque os operadores afirmam que em modo automático o tempo da fase de arranque é muito maior e por isso é desperdiçado mais produto, sendo o modo alterado cerca de 30 minutos depois do equipamento se encontrar estável.

Durante a fase de produção, a falta de confiança que existe no modo automático dos carboblenders instiga uma monitorização do seu funcionamento através do cálculo da percentagem de diluição que está a ser aplicada pelo sistema, utilizando para o cálculo quer os caudais de cerveja não diluída e água a entrar no momento, quer o volume total de água e cerveja diluída que consta no tanque (observados estes valores no painel de controlo do carboblender 1 exemplificado na Figura 4.22 e nos outros carboblenders na Figura 4.21 e Figura 4.22), utilizando a simples fórmula:

$$\% \text{ diluição} = \frac{Q_{\text{água}}}{Q_{\text{cerveja não diluída}}} * 100 \quad \text{ou} \quad \% \text{ diluição} = \frac{V_{\text{água TCF}}}{V_{\text{cerveja diluída TCF}}} * 100 \quad (4.3)$$

Este valor calculado é comparado com o valor teórico que consta no documento “Mapa de diluições”, elaborado pelo responsável da área, que contém o valor de álcool e extrato primitivo da cerveja em guarda, a percentagem de diluição necessária para atingir o valor de extrato primitivo definido e a previsão do valor de álcool na cerveja diluída, exemplificado abaixo:

Tabela 4.20- Exemplo do mapa de diluições

Tanques	Valores Guarda		Diluição		
	Álc. (%v/v)	Extr. Prim. (°P)	% diluição	Álc. (%v/v)	Extr. Prim. (°P)
101-113	7,02	15,38	45,0	4,84	10,80
102-114	7,02	15,38	45,0	4,84	10,80

Quando os dois valores são dispares, não existindo uma regra que limite a diferença admitida (sendo para alguns operadores  $\pm 1$  % e para outros um pouco mais ou um pouco menos), é feita uma alteração no funcionamento do equipamento, pois para os operadores o valor teórico presente no mapa de diluições é sempre assumido ser o mais correto. Esta alteração, normalmente, tem três formas de se manifestar (novamente, dependente do operador responsável na altura).

Mantendo o modo de operação em automático, uma alteração convencional é aumentar ou baixar o *set-point* de extrato primitivo de modo a equiparar a diluição do sistema com a teórica apresentada no mapa de diluições. Outra alteração em modo automático é calibrar o sensor que mede o extrato primitivo, sem o envio de uma amostra para o laboratório de modo a verificar a calibração, alterando o valor medido pelo sensor para este, sem alterar o *set-point*, originar uma taxa de diluição semelhante à teórica. Por fim, outro procedimento verificando uma diferença significativa entre a diluição apresentada pelo sistema e a teórica, é trocar o controlo do sistema de operação para manual.

Quanto ao controlo da carbonatação, a situação é um pouco diferente. No enchimento de um *TCF* é possível controlar o conteúdo de  $\text{CO}_2$  presente na cerveja acoplando o medidor portátil *Haffmans Portable Optical  $\text{CO}_2 / \text{O}_2$  Meter c-DGM*, sendo depois ajustado o *set-point* de carbonatação de acordo com o necessário (apesar da existência de valores padrão definidos para cada tipo de cerveja) na secção indicada do painel de controlo, ilustrado abaixo:

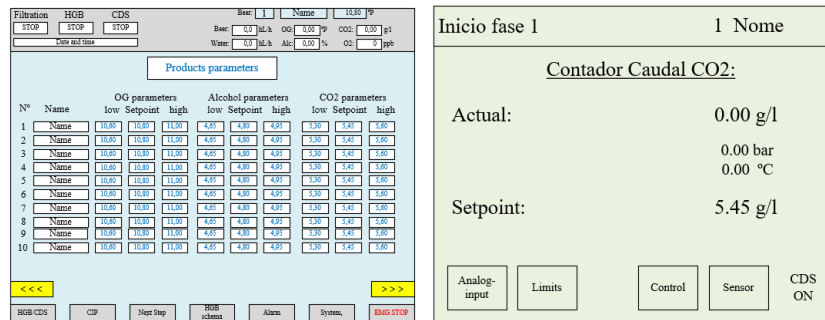


Figura 4.23- Painel de controlo para ajuste de set-points (CB1, esquerda) e para set-point de CO2 (CB2 e 3, direita)

No que se refere a registos de tudo o que está relacionado com o funcionamento do carboblender, são feitos manualmente, pelos operadores. É registado o modo de controlo hora a hora, no entanto este não é feito de forma rigorosa e também não reflete quando são feitas as modificações já mencionadas acima, no modo automático. No final de cada TCF, são também registados os valores do contador para a quantidade de cerveja diluída, assim como a quantidade de água introduzida, percentagem de diluição, conteúdo de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>.

De cada TCF cheio é retirada uma amostra que é enviada para o laboratório de qualidade físico químico para determinar se a cerveja se encontra dentro das especificações de enchimento. Para os parâmetros afetados diretamente pelo carboblender isto traduz-se, exemplificando, na Tabela 4.21. Estes valores diferem entre cada tipo de cerveja. No entanto, a diluição da cerveja tem também impacto noutros parâmetros de forma indireta, que também são controlados pelos respetivos limites de qualidade, como: teor de álcool, cor e amargor.

Tabela 4.21- Exemplo de limites dos parâmetros de qualidade

Parâmetros	Limite Inferior	Valor ideal	Limite Superior
Extrato primitivo °P	10,60	10,80	11,00
CO2 g/l	5,30	5,45	5,60

Quando a cerveja armazenada se encontra fora de um destes limites, não pode proceder para o enchimento. Isto despoleta uma resposta que pode consistir na adição de água, adição de CO<sub>2</sub>, descarbonatação, diluição de uma cerveja para mistura ou até mesmo o total desperdício. Todas estas soluções trazem custos e mão de obra acrescidos.

Em relação ao feedback dos operadores quanto a este assunto, parece existir algum desconhecimento da forma como o sistema carboblender funciona. Além disto, afirmam que as receitas de produtos guardadas na memória já estão desatualizadas e muitas não são mais necessárias, ajudando a uma maior confusão. A respeito dos problemas com o controlo automático, afirmam que não é sustentável porque parece que os sensores de CO<sub>2</sub> são bastante irregulares e causam a desregulação de todo o sistema de medição. Isto, na sua opinião, é causado por resíduos de cerveja dentro da câmara de medição destes

sensores (o processo de CIP não é eficiente), agravado no carboblender 2 por diluir cervejas do tipo Radler (elevado teor de açúcares).

#### 4.2.1 Rota Implementação de controlo in-line

Desde o início do ano de 2018 até à formação da equipa de melhoria (semana 10), o valor do indicador da qualidade físico-química da área de Filtração de cerveja, o *FTR batch*, era de 95,1 %. Este indicador pode ser subdividido em cinco outros indicadores, mas apenas dois deles mostram particular interesse no foro dos objetivos da equipa, o *FTR Extrato Primitivo* e o *FTR CO<sub>2</sub>*.

Ambos os indicadores demonstram um resultado acima do objetivo proposto para o ano, no entanto, podem não espelhar a total situação pois não têm conta a ocorrência de falhas que tenham sido resolvidas sem o desperdício total da cerveja.

Como uma relação de causalidade entre o sistema de automação funcionar nas suas capacidades totais e uma diluição efetiva de cerveja com o mínimo de erros possíveis pode ser estabelecida, o objetivo proposto pela equipa é que as ações tomadas na área se reflitam no número de horas que os carboblenders funcionam no modo automático, estabelecendo uma meta nos 70 % (Figura 4.24). Antes do início das atividades da equipa, a média (entre os dois meses de 2018) do funcionamento no modo automático para os carboblenders 1, 2 e 3, era respetivamente, 97 %, 22 % e 30 %.

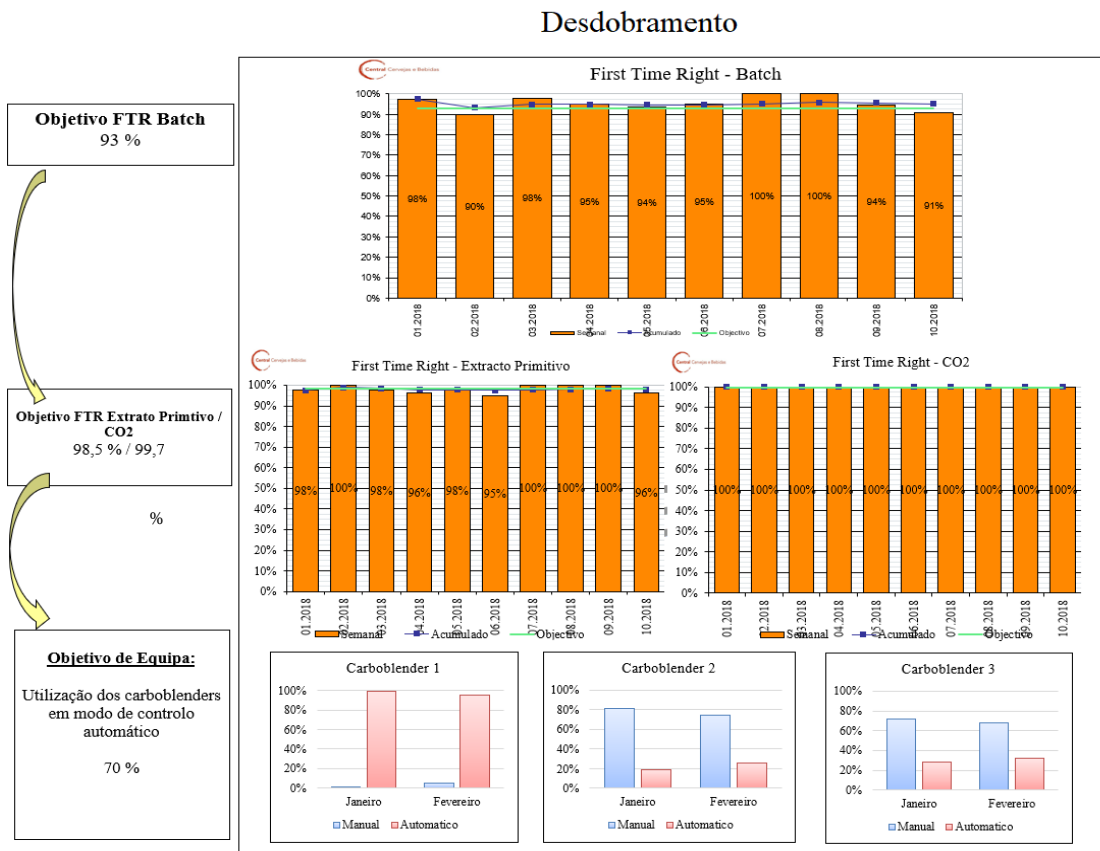


Figura 4.24- Representação do desdobramento dos objetivos de equipa



As tarefas que serviram para a melhoria do indicativo do funcionamento dos carboblenders e dos indicadores FTR que este pode influenciar tiveram como base ferramentas TPM, nomeadamente a Rota de Implementação de controlo *in-line*.

#### 4.2.2 Passo I – Verificar os sistemas de medição

Este primeiro passo consiste em entender a situação atual, distinguindo e compartilhando a lista de parâmetros a serem medidos, verificando o estado atual dos medidores *in-line* e *offline* e identificando potenciais pontos de restauro necessários antes da implementação dos passos seguintes [73].

##### 1) *Listar os parâmetros a serem medidos:*

Como primeira tarefa, é necessário identificar os parâmetros que controlam a qualidade da cerveja de acordo com as necessidades do cliente, assim como o tipo de controlo instaurado e a sua frequência [73].

Os principais parâmetros de qualidade que são diretamente e indiretamente afetados pelo processo de diluição de cerveja estão listados na Tabela 4.22, assim como a existência de um sensor *in-line* instalado para a sua medição (verde se existe e vermelho para o contrário) e o plano de controlo do seu valor dentro da área de filtração.

Tabela 4.22- Parâmetros de qualidade, tipo e controlo de medição

<i>Parâmetros Qualidade</i>	<i>In-line</i>	<i>Frequência de controlo</i>
Gravidade	●	Tanque Guarda / TCF
Álcool	●	Tanque Guarda / TCF
Dióxido de Carbono	●	TCF
Oxigénio dissolvido	●	TCF
Turvação	●	TCF
Cor	●	Tanque Guarda / TCF

Todavia, para os objetivos propostos pela equipa, só os que estão ligados diretamente ao funcionamento do sistema carboblender é que necessitam de ser observados. A gravidade da cerveja (mais especificamente o valor do extrato primitivo) é essencial já que é a partir deste que é controlada a diluição. O teor de álcool não tem um papel preponderante no controlo de diluição, mas é um parâmetro que necessita de estar dentro dos limites de especificação para a cerveja poder ser enviada para o enchimento e o seu valor está diretamente relacionado com uma boa diluição da cerveja por parte do carboblender. O dióxido de carbono presente na cerveja é controlado pela própria máquina e por isso é imperativo o seu controlo pela equipa.

Dado o alto número de marcas de cerveja que são produzidos pela SCC, é fundamental perceber em quais destas é que o trabalho se deve focar. Analisando os tanques cheios em 2017, denotou-se que existem três marcas que representam mais que 90 % do volume produzido sendo estas as escolhidas.

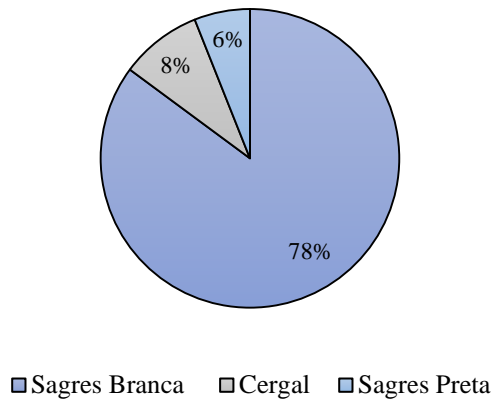


Figura 4.25- Percentagem de tanques cheios pelas 3 principais marcas

2) Coletar dados antigos de calibração:

Os dados antigos de calibração existentes são diminutos e não fiáveis e experiências efetuadas previamente na medição e análise dos parâmetros em questão não foram bem sucedidas pelo que a decisão da equipa foi ignorar a existência destes dados e não retirar nenhuma conclusão dos mesmos.

3) Verificar o sistema de medição do laboratório:

Os laboratórios da fábrica de Vialonga estão certificados pelo sistema *Laboratory Star System*, um sistema desenhado para garantir a qualidade coletiva dentro do grupo *Heineken*. De modo a garantir esta qualidade, são enviadas amostras idênticas para todos os laboratórios do grupo para análise e os resultados são comparados, através de um tratamento estatístico que tem em conta os valores obtidos em todos os laboratórios, formando o *HARA (Heineken Analytical Ring Analyses*, Figura 4.26 ). Aqui, quanto menor for o desvio da média, melhor a classificação.

**Heineken Analytical Ring Analysis**

Participant **138**

Component	Round	2016-08 to 2018-06												Excellent <b>0,6</b>				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	n	2- Z <3	Z >3	Z%	Rank
Original Extract - All methods	1000	-0.43	-0.29	0.00	0.00	0.00	0.14	-0.29	0.29	0.14	0.86	Discarded	-0.43	11	0	0	0.0	1
Alcohol by volume - All methods	1010	-0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	-0.25	0.25	0.25	0.50	-0.25	-0.25	12	0	0	0.0	1
Apparent extract - All methods	1020	-0.40	-0.80	0.00	-0.40	0.00	0.00	0.00	0.40	-0.40	0.40	Discarded	-0.80	11	0	0	0.0	1
Apparent extract after final attenuation - 02.12.04.007	1030	0.17	0.00	-0.33	-1.33	-1.50	-0.50	1.33	1.50	-0.17	0.67	Discarded	-0.50	11	0	0	0.0	1
Dissolved carbon dioxide - 02.12.04.020	1050	0.00	2.00	1.00	1.00	0.00	-2.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	12	1	0	4.2	14
Total foreign gas - 02.12.04.020	1051	-0.80	-2.00	Discarded	0.40	-0.40	Discarded	-0.40	-0.40	-2.00	-1.60	-0.80	-0.80	10	0	0	0.0	1
Bitterness - 02.12.04.008	1060	-1.00	-1.57	-1.43	0.14	-1.43	0.86	2.29	-0.43	0.29	0.43	0.29	0.43	12	1	0	4.2	14
Colour - 02.12.04.009	1070	0.00	-1.01	-0.67	0.67	-0.67	-0.67	-3.31	-0.67	Discarded	-0.67	-0.67	0.00	11	0	0	0.0	1
pH - 02.12.04.010	1080	0.00	-0.50	-0.25	0.00	0.00	-0.25	-0.75	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	12	0	0	0.0	1
Turbidity (90°C, 650 nm) - 02.12.04.030	1095	-1.00	-0.34	Discarded	Discarded	Discarded	-1.00	0.00	Discarded	Discarded	-1.00	Discarded	-2.00	6	0	0	0.0	1
Turbidity 7days test (90°C, 650 nm) - 02.12.04.031	2105	0.75	Discarded	Discarded	Discarded	Discarded	0.12	0.25	Discarded	Discarded	-0.25	Discarded	0.00	5	0	0	0.0	1
Foam stability - 02.12.04.015	2000	-0.83	0.00	-0.25	1.42	1.79	-0.17	-0.17	0.67	0.83	0.42	-0.17	0.50	12	0	0	0.0	1
Total sulphur dioxide - 02.12.04.041	4000	-0.15	1.00	-0.62	-0.91	-0.92	0.85	0.31	0.77		1.29	-0.15	1.08	11	0	0	0.0	1
Total nitrogen - 02.12.04.017	5000	Discarded	Discarded	Discarded	Discarded	Discarded	Discarded	Discarded	Discarded	Discarded	Discarded	Discarded	Discarded	0	0	0	0.0	1
Free amino nitrogen (FAN) - 02.12.04.018	5001													0				
Acetaldehyde - 02.12.04.101	6000													0				
Dimethylsulphide (DMS) - 02.12.04.101	6001													0				
Ethylacetate - 02.12.04.101	6002													0				
Iso-amylacetate - 02.12.04.101	6004													0				
Total higher alcohols - 02.12.04.101	6012													0				
Free diacetyl - 02.12.04.102	6100	-0.17	-0.87	1.03	-1.87	-0.97	-0.62	-0.40	-0.87	-0.43	-0.20	0.20	-0.27	12	0	0	0.0	1
Free 2,3-pentanedione - 02.12.04.102	6101	0.33	1.02	-0.67	-1.70	-0.38	-0.47	0.17	-0.17	-0.50	-0.50	-0.47	0.08	12	0	0	0.0	1
Vicinal diketones - 02.12.04.043	6200													0				
n		15	14	12	13	13	14	15	13	11	15	10	15	160				
2- Z <3		0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2				
Z >3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Z%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					0.6

Figura 4.26- HARA do laboratório físico-químico da fábrica de Vialonga

Como é possível observar, o desempenho do laboratório em questão é excelente, evidenciando sempre valores dentro da gama do aceitável para os métodos analíticos que são do interesse do trabalho da equipa (métodos para a determinação de extratos e teor de álcool).

4) *Verificar o sistema de medição in-line atual:*

Para cumprir este passo tomou-se a opção de estudar o histórico de resultados dos parâmetros críticos de qualidade nos três tipos de cerveja previamente selecionados, em busca de quantificar o número de falhas que ocorreram devido ao mau desempenho do sistema carboblender ou do seu errado manuseamento e identificar potenciais padrões de desvios encontrados.

Analisando as três principais marcas em conjunto, dos tanques que foram cheios com estes tipos de cerveja, 4 % continham pelo menos um dos parâmetros que compõe o *FTR* da filtração (cor, gravidade, conteúdo de CO<sub>2</sub>, conteúdo de O<sub>2</sub> e turvação) fora dos limites de especificação, ilustrando na Figura 4.27 a percentagem de falhas por parâmetro.

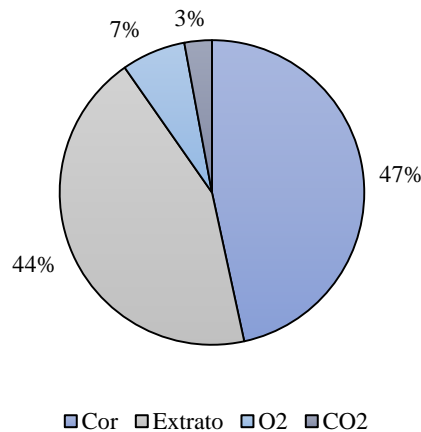


Figura 4.27- Distribuição das falhas encontradas nos tanques das 3 marcas de cerveja, em 2017

É verificado que não existem falhas na turvação e que quase não existem falhas em relação ao teor de oxigénio encontrado na cerveja, embora sejam parâmetros alheios ao funcionamento do carboblender. A parcela com maior representação é as falhas com origem na cor da cerveja, no entanto, juntando as falhas encontradas na gravidade e no conteúdo de dióxido de carbono no produto (parâmetros influenciados diretamente pelo carboblender), verifica-se que 51% das falhas têm origem no mau desempenho ou mau manuseamento deste aparelho.

Analisando em maior pormenor cada marca individualmente, a vertente do produto denominado *Cerveja X*, apresentou uma não conformidade em 2% dos tanques cheios. Na Figura 4.28 está apresentado a divisão das falhas por parâmetro e o seu enquadramento acima ou abaixo do intervalo de qualidade pretendido:

## Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja

André Filipe Carmo e Silva

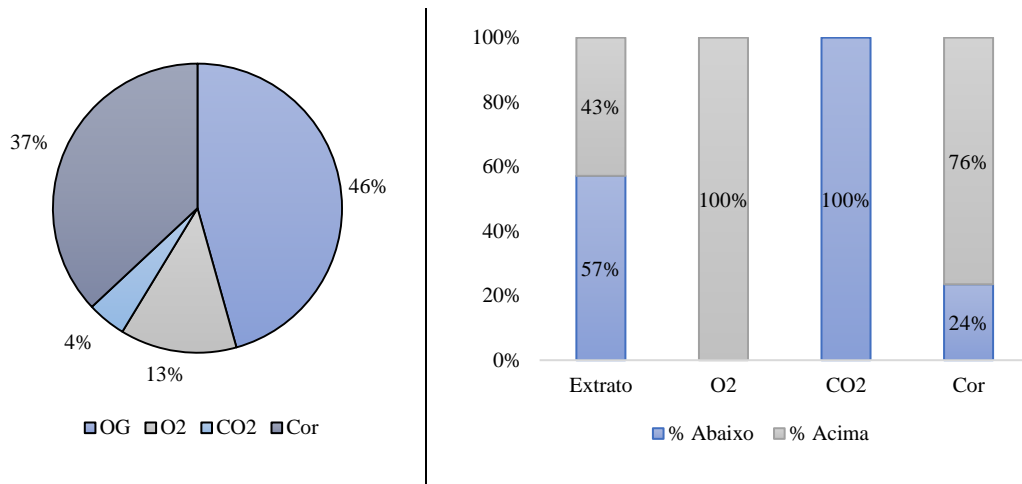


Figura 4.28- Falhas em Cerveja X (esquerda) e enquadramento acima ou abaixo dos limites (direita), 2017

Aqui, a fatia mais representativa da performance do carboblender, composta pela gravidade e dióxido de carbono, ocupou 50% do número total de falhas. As falhas de extrato não parecem apresentar nenhuma tendência evidente, enquanto que as falhas de CO<sub>2</sub> foram sempre por valores abaixo do limite de especificação.

No caso da marca *Cerveja Y*, 11% dos tanques cheios continham no mínimo um parâmetro não conforme. Observando a figura abaixo:

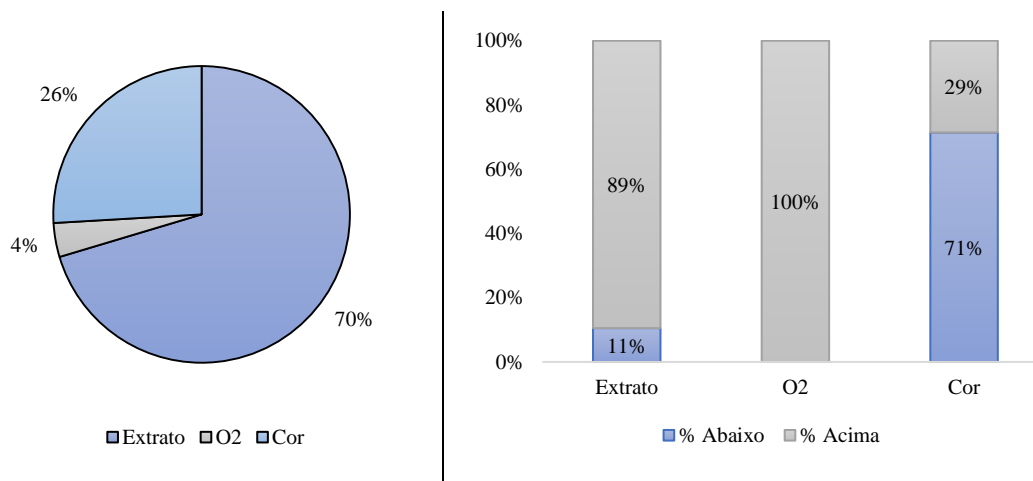


Figura 4.29- Falhas em Cerveja Y (esquerda) e enquadramento acima ou abaixo dos limites (direita), 2017

Denota-se que não existiram falhas no conteúdo de CO<sub>2</sub> e que as falhas de extrato compõem a grande maioria das falhas encontradas. É ainda observável que existe uma clara tendência para as falhas de extrato serem, na maior parte das vezes, superiores ao limite de especificação. Este problema já tinha sido identificado anteriormente pela equipa de gestão, tendo sido justificado pela produção desta marca ser sempre antecedida pela de *Cerveja X*, que apresenta um *set-point* de extrato mais elevado, causando

que o primeiro tanque cheio com *Cerveja Y* tenha influência por cerveja residual nas tubagens com uma concentração de extrato superior ao pretendido.

Por fim, no que diz respeito à marca *Cerveja Z*, 15% dos tanques cheios continham pelo menos uma falha nos parâmetros descritos acima. Examinando a figura abaixo:

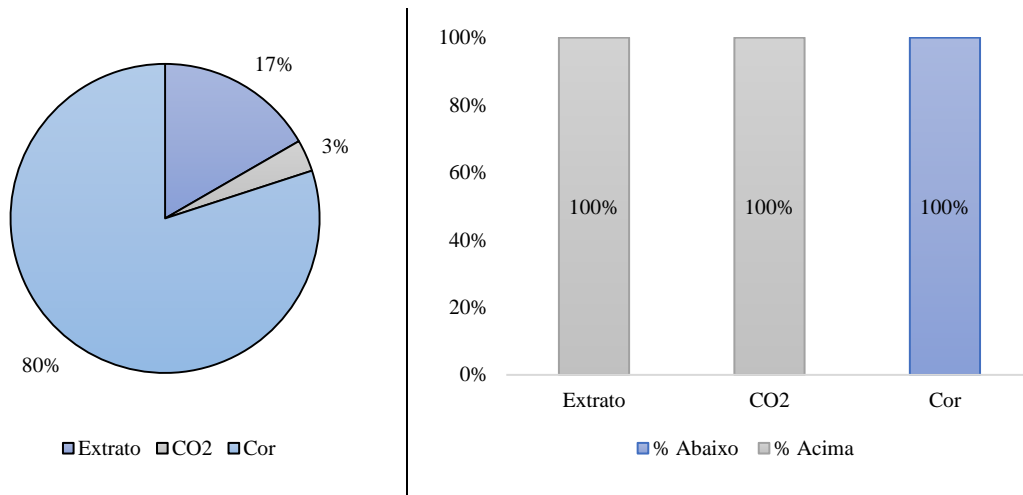


Figura 4.30- Falhas em Cerveja Z (esquerda) e enquadramento superior ou inferior aos limites (direita), 2017

Constata-se que as falhas provenientes da operação do carboblender não tiveram grande expressão nesta marca (cerca de 20%) e que existe uma clara tendência na distribuição destas, sendo as falhas de extrato e dióxido de carbono sempre superiores ao limite de especificação.

##### 5) Salientar anomalias no sistema in-line:

De modo a identificar os potenciais problemas operacionais que têm como resultado final o aparecimento de anomalias ou deficiências no controlo in-line e os pontos prioritários de ação dentro da área de foco da equipa, apesar de não fazer parte da rota seguida, foi elaborada uma Matriz de Qualidade. Para a sua construção foi fundamental a contribuição da experiência profissional dos elementos de equipa, conhecimento da área e os dados históricos apresentados anteriormente, que culminaram na atribuição de eventuais causas para valores de extrato e dióxido de carbono em cada fase do processo. Com base nestas causas, foram atribuídas a categoria 5M em que se inseriam e um peso relativo focado na gravidade da sua consequência para as medições do carboblender. Foram também teorizadas justificações para cada causa e a forma de estudo das mesmas, concluindo se estas hipóteses teriam uma influência significativa.

Depois de tudo definido, com o auxílio dos cálculos pré-estabelecidos inerentes à Matriz QA, foi possível identificar as prioridades.

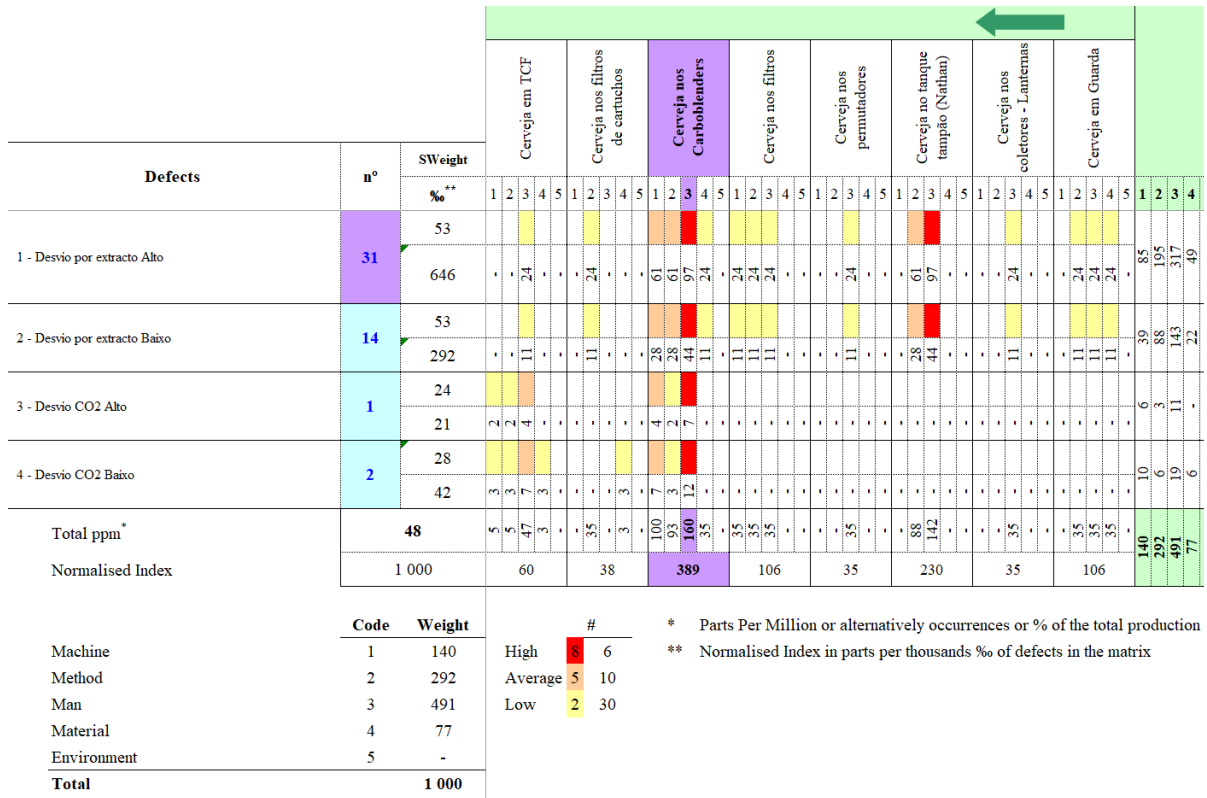


Figura 4.31- Matriz de Qualidade adaptada ao funcionamento dos carboblenders

Para facilitar a visualização dos resultados gerados por esta análise, foi construído um diagrama de Pareto (Figura 4.32), que compara o peso de cada secção da responsabilidade da área de filtração no mau funcionamento do sistema carboblender e o divide por categoria de erro.

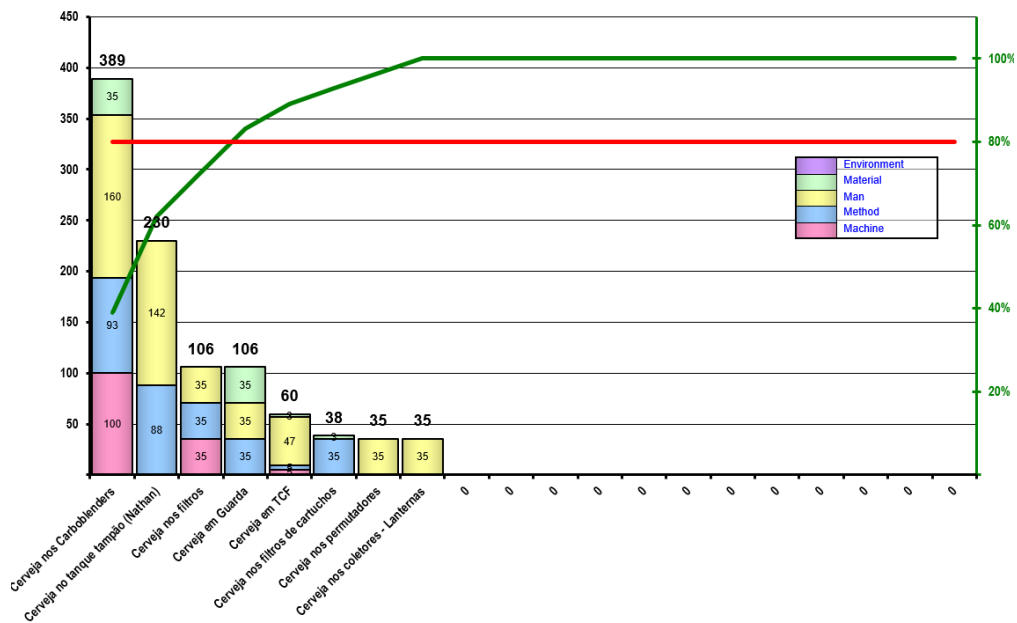


Figura 4.32- Diagrama de Pareto relativo à matriz QA carboblenders, tendo em conta as fases da área de filtração

Segundo a regra intrínseca a este gráfico, todos os aspetos superiores a 80% necessitam de ser considerados uma prioridade. Logo, tendo em conta o resultado obtido, a fase “Cerveja nos Carboblenders” é a mais crítica com 389 % de influência em todas as falhas encontradas no controlo dos parâmetros de qualidade da cerveja. Dentro desta etapa, as causas atribuídas referem-se na maior parte a problemas na categoria de mão de obra (160 %), devido à falta de confiança e conhecimento em relação ao funcionamento do sistema. Ademais, as categorias de máquina e método, com aproximadamente 100 % de influência, parecem também ter um papel preponderante para a falha do sistema, o que não acontece com a categoria de material e ambiente.

Existe ainda outra maneira de desenhar o gráfico pareto, organizando-o não por etapas de processo mas por modos de defeito (Figura 4.33), que revela que a influência da mão de obra na etapa da “Cerveja no tanque tampão” é também uma prioridade. Isto acontece porque a mistura de cerveja que pode acontecer por não respeitar a regra instalada, pode ter repercussões em etapas mais adiante.

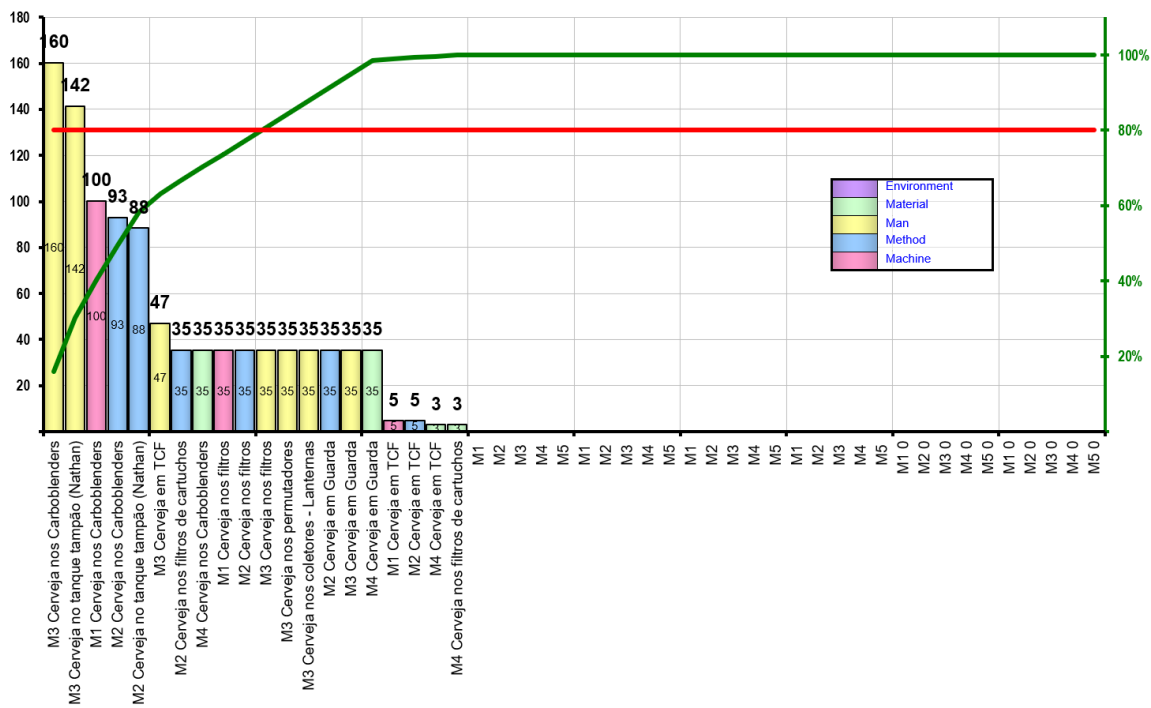


Figura 4.33- Diagrama de Pareto tendo em conta os modos de defeito na área de Filtração

Na figura abaixo é possível observar a distribuição do peso de cada categoria na área de Filtração, no que toca ao mau funcionamento dos carboblenders. Verifica-se que o maior contribuidor é o fator mão de obra, constituindo praticamente 50% das causas defeituosas. O modos de defeitos seguintes são o método e a máquina com, respetivamente, 29% e 14%. Estes três fatores asseguram mais de 90% das causas determinadas e por isso serão o foco de trabalho da equipa, sendo que o material não é significativo e o ambiente não tem expressão, já que a área em consideração está alheada do exterior.

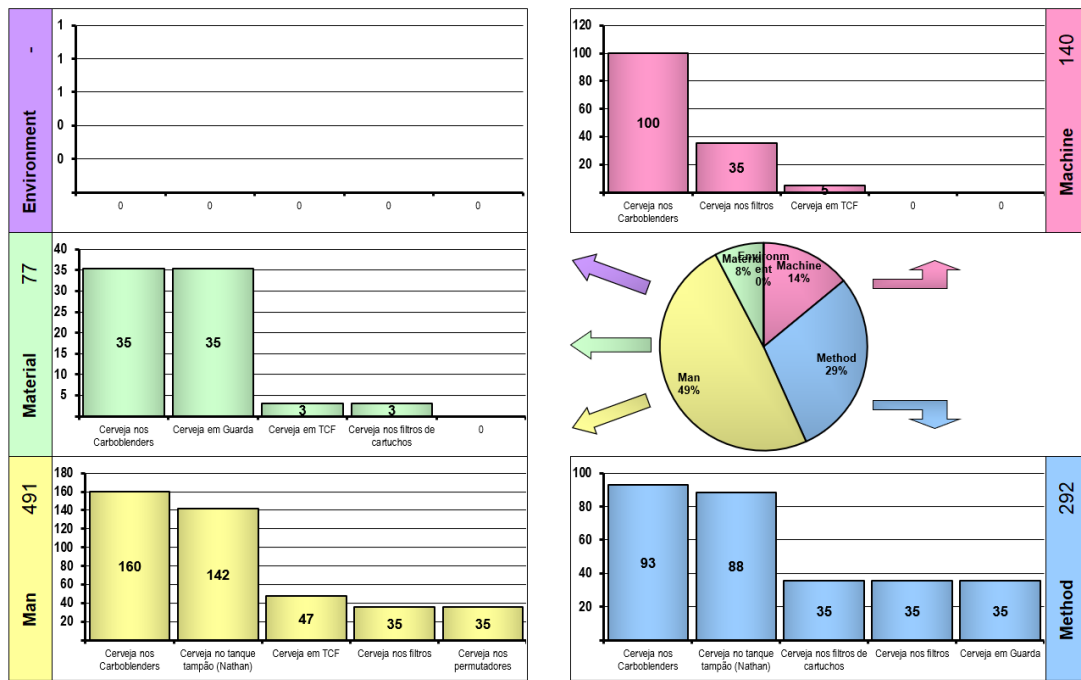


Figura 4.34- Distribuição dos 5M no mau funcionamento dos carboblenders

Identificado a área prioritária e os fatores pertencentes aos 5M com maior expressão nas causas que têm consequência no desempenho do sistema em questão, delineou-se as ações seguintes. Não faria sentido debruçar-se nos pormenores em uma análise do método e da mão de obra sem primeiro determinar se o principal interveniente, a máquina, estava em condições satisfatórias de operação.

Começando pelo estudo dos manuais de cada instrumento e complementando-o com experiência direta na área e pesquisa em fontes externas, foram identificados os problemas devido a condições operacionais, verificado se a posição dos medidores era a mais correta e identificadas anomalias dignas de registo. Dúvidas que surgiram, entretanto, foram esclarecidas entrando em contacto com a própria Centec, a empresa fornecedora. As informações foram compiladas nas tabelas apresentadas no Apêndice E.

No que toca a posição de instalação dos sensores, o que se destacou imediatamente foi a diferença de configuração entre o sistema mais recente e os dois mais antigos, onde o sensor de dióxido de carbono se encontra depois do ponto de entrada de CO<sub>2</sub> no sistema e antes do mesmo, respetivamente. Nos manuais disponíveis não existia nenhuma informação sobre a ordem de instalação. No carboblender 1, o único sensor que não se encontra numa posição ideal é o *Oxytrans TR* (sensor de oxigénio), pois a indicação é que se deveria encontrar instalado na vertical e longe o suficiente de curvas na tubagem, o que não se verifica [36]. No carboblender 2 e 3, apesar do sensor *Sonatec TR* se encontrar corretamente instalado, está muito próximo do ponto de amostragem. Isto significa que quando este estiver a ser utilizado, a zona sofre um aumento de turbulência que interfere com as medições do sensor, que por sua vez dificulta a recolha de amostras [28].



Foram identificadas as condições operacionais necessárias a respeitar para se atingir a máxima exatidão nas medições possível, inumeradas a seguir [26] [39]:

- *Temperatura*: os coeficientes relativos à compensação da temperatura estão guardados na unidade de avaliação e podem ser otimizados para cada tipo de cerveja diluída. A operação do sistema a uma temperatura diferente da que foi utilizada para a calibração destes coeficientes introduz um pequeno erro. É igualmente necessário garantir que não existem grandes flutuações no valor da temperatura e que o fluxo que entra em contacto com o transdutor é constante.

- *Pressão*: é imperativo manter uma pressão na linha alta o suficiente para impedir que haja a libertação de bolhas de CO<sub>2</sub>, uma vez que estas interferem com as medições dos sensores.

- *Composição do extrato*: uma mudança na composição de extrato afeta principalmente a velocidade do som e conseqüentemente o teor de álcool. Este erro também depende do próprio conteúdo do extrato.

- *Conteúdo de CO<sub>2</sub>*: O dióxido de carbono dissolvido influencia tanto a determinação da velocidade sonora como a densidade. A influência do conteúdo médio deste gás na cerveja é compensada pelo sistema de medição, mas as suas flutuações ainda podem causar um erro que não pode ser negligenciado.

Ainda em relação a condições operacionais, no manual do instrumento *Sonatec TR*, existem indicações sobre velocidade do fluído e pressão a respeitar e foi feita uma tentativa simplista para as verificar. Quanto à velocidade, é indicado que se a velocidade for superior a 10 m/s poderá haver problemas. Utilizando a seguinte fórmula para calcular o diâmetro do tubo [74]:

$$d = \sqrt{\frac{1,273 * q}{v}} \quad (4.4)$$

Onde:  $q$  = Caudal volumétrico (m/s)  
 $v$  = velocidade (m/s)  
 $d$  = diâmetro do tubo (m)

Isto determina que, com um caudal médio de 250 hL/h, para se obter uma velocidade de 10 m/s é necessário um tubo com um diâmetro de 3 cm. Na realidade, a tubagem do carboblender tem um diâmetro muito superior que este, então esta condição está verificada.

No caso da pressão, a indicação é que a pressão em linha tem de ser duas vezes maior que a pressão parcial do gás em questão, neste caso, o dióxido de carbono. Assumindo que a interação entre a água e este gás é simples, pode-se aplicar a lei de Henry (equação 1.5). Utilizando o valor de solubilidade do

CO<sub>2</sub> em água a 2 °C de 3,4 g/kg [75] e a contante de Henry de valor 3,4 x 10<sup>-2</sup> M/atm a 25 °C [76] e eliminando a dependência da temperatura a partir a equação de *van 't Hoff*:

$$H(T) = H^0 * \exp \left[ 2400 * \left( \frac{1}{275,15} - \frac{1}{298,15} \right) \right] \quad (4.5)$$

O cálculo resultante indica uma pressão parcial, nestas condições, de aproximadamente 1,20 bar. Aplicando a regra em questão, é necessário manter uma pressão de linha no mínimo de 2,40 bar o que se verifica no sistema (a pressão aplicada ronda os 4 bar).

Quanto a anomalias de destaque, denotou-se que o diagrama, presente no painel de controlo, do sistema dos carboblenders 2 e 3 não correspondia à realidade. Desde que foram instalados na fábrica, já existiram intervenções por parte da Centec nestes sistemas e, portanto, foi teorizado que, numa das intervenções, o software do sistema fosse atualizado e o diagrama representa um esquema *standard*. Quanto ao carboblender 1, na secção de escolha do controlo de operação (Figura 4.21), quando introduzido o extrato primitivo de guarda, a respetiva percentagem de diluição apresentada como cálculo auxiliar não era semelhante à calculada no mapa de diluições. Este problema podia ser indicador que o processador podia ter mal definidas as fórmulas que controlam a própria diluição. Depois de estabelecer contacto com a Centec, averiguou-se que não existia nenhum problema e a equipa foi introduzida ao conceito de *ratio blending* e *Plato blending*.

Quando o sistema opera em automático, o sistema funciona segundo o princípio de *Plato blending* que toma em consideração que para um correto cálculo da diluição é necessário converter os valores de extrato primitivo (que são determinados em °P, uma medida de massa) para uma unidade de volume. Quando opera em manual, é ativado o *ratio blending*, princípio que não tem em conta esta consideração e apenas faz um rácio simples entre o extrato primitivo (em °P) e o *set-point* de extrato definido (também em °P).

#### 6) Emitir um plano de restauração:

Este passo tem como base a intervenção ao nível da manutenção, focada na medição, para evitar possíveis anomalias e, por isso, os planos de manutenção e calibração dos sensores em vigor foram analisados e informações adicionais foram pesquisadas em documentos Heineken, manuais e no próprio contacto com a empresa fornecedora dos carboblenders e foram registados na tabela de observações, presente no Apêndice E. Quanto à análise de registos de manutenção ou calibração que poderiam fornecer informações sobre a confiabilidade do sistema, esta não foi possível de ser feita pois não existiam tais registos.

A posição dos sensores no sistema não foi mudada, no entanto, houve uma intervenção nos sensores de dióxido de carbono do carboblender 1 e 2 (limpeza e manutenção).

Quanto à calibração de sensores, foram elaborados novos documentos de registos e colocados no painel frontal de cada carboblender para conveniência e facilidade de acesso. Além disto, foi reforçado

para os operadores responsáveis pela operação a importância de não fazer alterações injustificadas e, no caso de serem necessárias, o seu registo.

#### 4.2.3 Passo II – Restaurar as condições do sistema de medição

O objetivo deste segundo passo é restaurar as condições do sistema in-line, a um nível mecânico, e evitar problemas. Todavia, a equipa aproveitou, uma vez que não existiam dados em relação à performance dos sensores e registos de calibração, para avaliar a qualidade da medição dos instrumentos que fazem parte dos sistemas carboblenders.

##### 1 e 2) Inspeccionar o sistema e coletar dados históricos sobre a sua confiabilidade:

Primeiramente, foi definida a estratégia de amostragem e os respetivos métodos comparativos. Dado que o CO<sub>2</sub> influencia as medições dos outros parâmetros e que o método comparativo escolhido para a confirmação dos valores medidos em linha pelo sensor (através do instrumento *Haffmans Portable Optical CO<sub>2</sub> / O<sub>2</sub> Meter c-DGM*) é de rápida ação, a confirmação dos seus valores tomou prioridade sobre os outros e foi possível em grande número, sendo analisado periodicamente. Quanto à avaliação dos sensores medidores de extrato e densidade, dado que a sua confirmação era feita de forma mais morosa, a estratégia focou-se em retirar uma amostra para análise, depois de confirmado o valor de CO<sub>2</sub>, quando o valor da diluição implementado pelo carboblender era muito diferente do valor teórico. Esta amostra era analisada no laboratório com o auxílio do aparelho *Alcolyzer* e o valor de extrato primitivo e teor de álcool aqui determinado era comparado com o apresentado no carboblender.

De modo a auferir se a diferença do valor medido *in-line* e o medido pelo instrumento estabelecido para comparação era significativo e, como tal, passivo de uma calibração, foi instaurado o sistema já utilizado para este propósito denominado *ZZ score*. Este valor, sem dúvida inspirado no *standard score*, é calculado da seguinte forma:

$$-2 \leq \frac{(X_{Carboblender} - X_{Equipamento})}{s} \leq 2 \quad (4.6)$$

Onde,  
 $X_{Carboblender}$  = Valor medido em linha no carboblender  
 $X_{Equipamento}$  = Valor medido pelo equipamento de comparação  
 $s$  = Desvio padrão de especificação

O *ZZ score* já estava implementado para averiguar os valores de extrato primitivo e de teor de álcool, mas não para os valores de dióxido de carbono. Devido a isto, foi analisado as tabelas de limites de especificação para determinar o desvio padrão correspondente, compilado com os restantes na tabela abaixo:

Tabela 4.23- Valores de desvio padrão utilizados no ZZ score

Parâmetro de Qualidade	Desvio padrão (s)
Extrato primitivo (°P)	0,07
Teor de álcool (% vol)	0,04
Teor de CO <sub>2</sub> (g/l)	0,05

Enquanto este trabalho no terreno decorria, foi instruído aos operadores para manterem os carboblenders a trabalhar no modo automático quando eram diluídas as marcas de cerveja alvo e para não fazerem alterações no sistema que pudessem comprometer a veracidade dos dados recolhidos e, caso fosse inevitável, que as registassem. Contudo, existiu muita resistência nesse sentido.

A recolha de dados foi altamente constringida pela planificação da produção do tipo de cervejas escolhidas, pelo funcionamento de cada linha de filtração, pelo horário de trabalho do líder de equipa e ainda pela disponibilidade dos equipamentos designados para comparação. Pela existência destes fatores, só foi conseguido um número satisfatório de amostras para a marca *Cerveja X*, sendo as amostras das restantes marcas apenas apresentadas no Apêndice E.

#### Carboblender 1

A análise do sensor para a medição do conteúdo de dióxido de carbono neste sistema, ilustrada no ZZ score abaixo, demonstrou que 42 % das amostras retiradas deferiam significativamente (diferença maior que duas vezes o desvio padrão) e que foi registada uma calibração, em média, a cada duas semanas. Como se trata do carboblender mais recente, admite-se que o tempo de resposta às flutuações no conteúdo de CO<sub>2</sub> na cerveja seja muito pequeno, e visto que o ponto de amostragem se situa afastado do próprio sensor, existe alguma margem para esperar alguma diferença nos valores comparados.

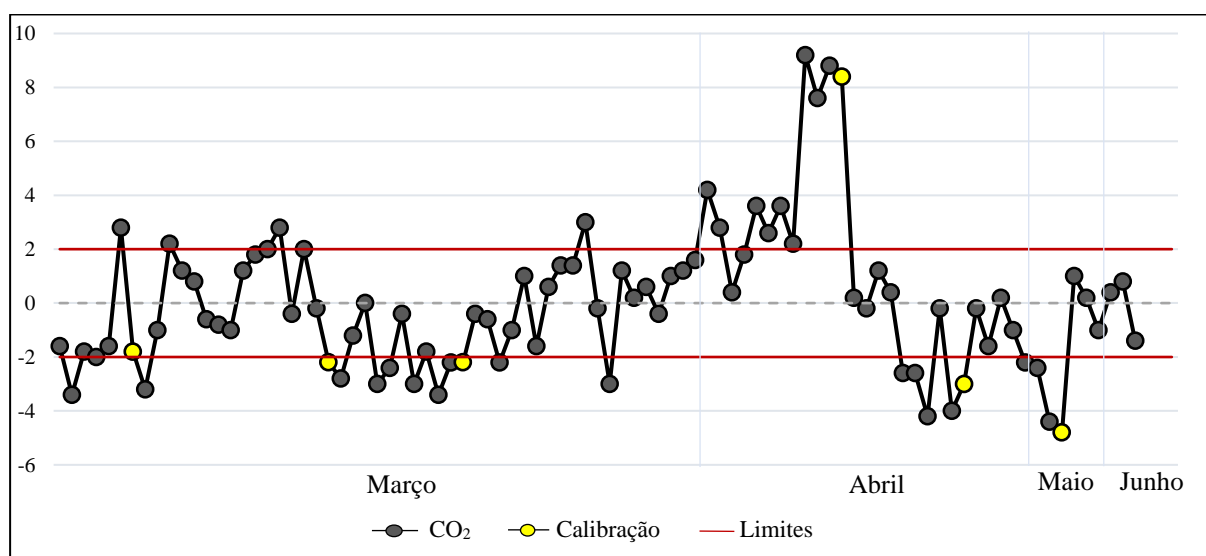


Figura 4.35- ZZ score de CO<sub>2</sub> no Carboblender 1, na marca *Cerveja X*



Em relação aos sensores de velocidade sonora e de densidade, o ZZ score do extrato primitivo e do teor de álcool foi construído e apresentado na figura abaixo. Constatou-se que apenas 10% das amostras recolhidas originaram uma diferença, para com o valor determinado em laboratório, maior que os limites aceitáveis. Quanto a registos de calibração, na marca de cerveja em questão, foi apenas efetuada uma vez no início do trabalho. Denota-se também que o valor de álcool determinado in-line tem uma clara tendência para ser superior ao laboratorial.

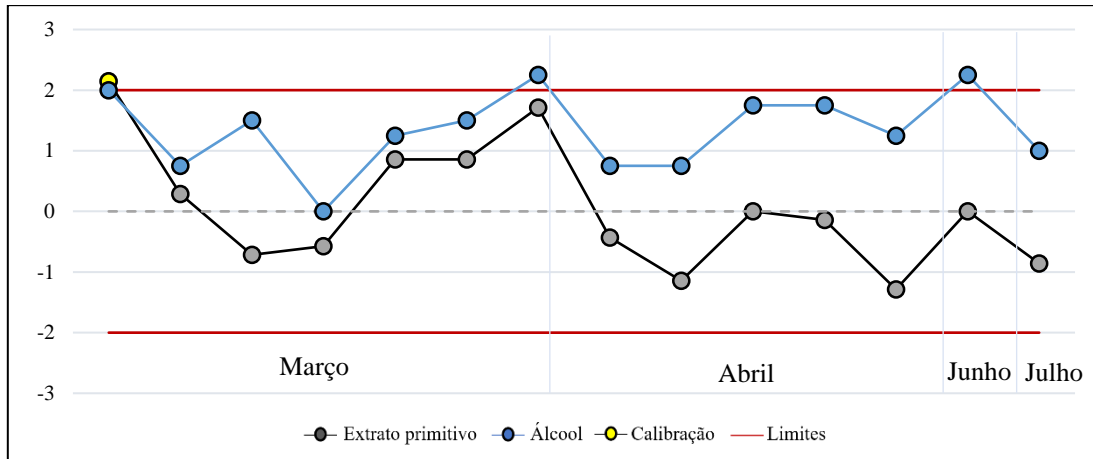


Figura 4.38- ZZ score de extrato primitivo e teor de álcool no Caroblender 2, na marca Cerveja X

Caroblender 3

No caso deste sistema, com um sensor para a determinação da quantidade de dióxido de carbono igualmente antigo ao presente no caroblender 2, era de extrema importância a comprovação do seu funcionamento. Observou-se o ZZ score construído para este parâmetro (figura abaixo), que revelou que 20 % das amostras retiradas se encontravam fora do limite de diferença aceitável, o que vai de acordo com a situação do sensor instalado no caroblender anterior. Os registos de calibração demonstraram-se um pouco inconstantes, existindo períodos em que foi necessário uma calibração passado uma semana como passado dois meses inteiros.

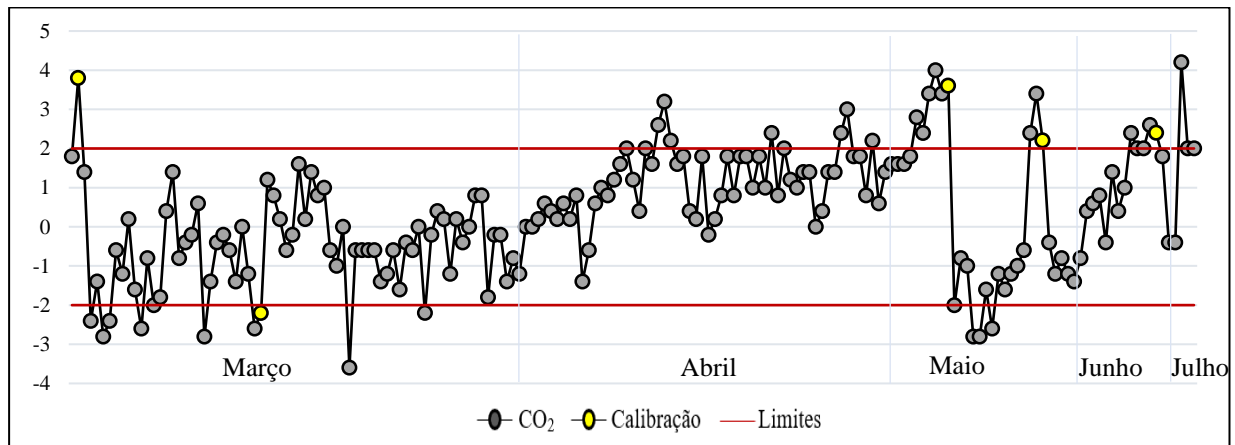


Figura 4.39- ZZ score de CO2 no Caroblender 3, na marca Cerveja X

No que concerne os restantes sensores que determinam o extrato e o teor de álcool da cerveja, foram elaborados os respetivos ZZ scores em relação à marca Cerveja X, apresentados na figura abaixo. Procedendo à sua observação, evidenciou-se que 14% das amostras retiradas e que foram comparados com os respetivos resultados laboratoriais tinham uma diferença demasiado elevada, percentagem semelhante à encontrada nos sensores semelhantes no carboblender 2. Quanto às alterações ao nível da calibração destes sensores, estes registos demonstraram que o valor de álcool não foi calibrado e que o extrato primitivo foi calibrado no início e depois apenas passado dois meses.

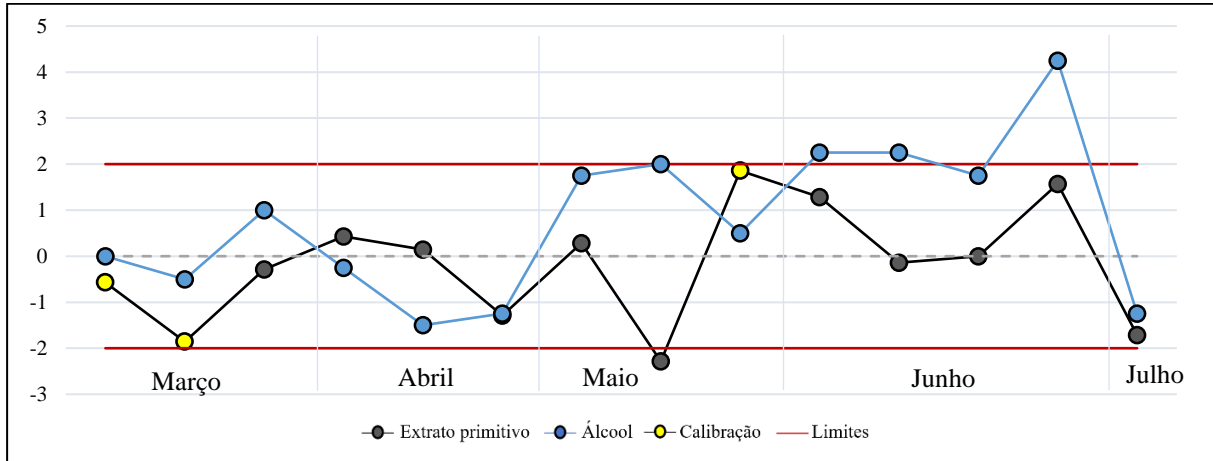


Figura 4.40- ZZ score de extrato primitivo e álcool no Carboblender 3, na marca Cerveja X

3 e 4) Restaurar as condições básicas e emitir um plano de manutenção:

À luz dos dados obtidos na análise de amostras por ZZ score efetuados pela equipa e também tendo em conta informações recolhidas externamente, apesar de não se retirar uma conclusão definitiva, propôs-se o seguinte plano para calibração e manutenção de sensores:

Tabela 4.24- Proposta de plano de calibração e manutenção

Sistema		Sensor extrato	Sensor densidade	Sensor CO2
Carboblender 1	Calibração	Mensal - Trimestral		Semanal
	Manutenção	Anual		Trimestral
Carboblender 2	Calibração	Mensal - Trimestral		Semanal
	Manutenção	Anual		Trimestral
Carboblender 3	Calibração	Mensal - Trimestral		Semanal
	Manutenção	Anual		Trimestral

A calibração dos sensores de extrato e densidade deve recomeçar o plano mensal e (sendo este cumprido assertivamente) for comprovado que o desvio não justifica uma calibração, evoluir gradualmente para uma verificação apenas trimestral. Idealmente, estas amostras para calibração não deveriam ser retiradas numa garrafa de vidro de 1 L pois não é necessária tanta quantidade e, quanto maior o volume

de cerveja retirado, maior margem para erro na identificação dos valores *in-line*. Garrafas de 0,20 L serão o mais indicado. Estes sensores são *maintenance free* e, portanto, não necessitam de uma intervenção neste sentido, todavia, uma calibração anual com água desmineralizada deverá ser efetuada de modo a averiguar o desvio dos medidores e acertá-lo. É ainda de realçar que é recomendado enviar os sensores para a empresa fornecedora para manutenção a cada 5 a 10 anos.

A calibração dos sensores de CO<sub>2</sub> deverá ter um plano de verificação semanal, já que se mostraram bastante inconsistentes durante a análise do seu desempenho e a sua calibração/verificação é feita de forma relativamente rápida e fácil. No entanto, é necessário ter em atenção a forma como se procede à verificação dos valores medidos pelo sensor, replicando o mesmo procedimento utilizado pela equipa (Figura 4.41), de forma a diminuir a existência de falsos resultados devido a flutuações na concentração de dióxido de carbono. Quanto à manutenção, deve proceder-se à desmontagem e respetiva limpeza das peças dos sensores trimestralmente.

1. Conectar o aparelho ao ponto de amostragem com a mangueira de entrada e garantir que a mangueira de saída se encontra perto de um esgoto;
2. Abrir a torneira do ponto de amostragem e a câmara do aparelho de modo a purgar cerveja que se encontre no interior, durante 30 segundos;
3. Fechar a câmara do aparelho, observar e registar os valores apresentados;
4. Repetir o passo 4 outras duas vezes, com um intervalo de 2 minutos entre cada medição;
5. Tomar a decisão de calibração – Caso 2/3 das medições originem uma diferença maior que a aceitável, fazer a média da diferença das 3 medições e calibrar com esse valor;
6. Desconectar o aparelho em segurança, garantindo que a torneira do ponto de amostragem e a câmara de medição estão fechadas;

Figura 4.41- Procedimento para calibração do sensor de CO<sub>2</sub>

### 5) Melhorar o SOP onde necessário:

Como foi referido anteriormente, o *standard operation procedure* em relação ao funcionamento dos carboblenders é comparar o valor da percentagem de diluição indicado pelo sistema operativo deste com a percentagem de diluição esperada, que foi calculada teoricamente e está presente no documento “Mapa de diluições”. No entanto, além de estar a dar maior importância a um valor teórico sobre um valor real, muitas condições não estão definidas como: qual é a diferença no valor das diluições aceitável e qual a ação corretiva a desempenhar quando os valores diferem.

Antes da formação e do trabalho desenvolvido por esta equipa de otimização, quais queeres valores anómalos na diluição apresentada no carboblender era descartada para um problema de máquina, nomeadamente, problemas nos sensores ou à falta de calibração dos mesmos. Todavia, foi experienciado durante a análise dos sensores que, mesmo com todos os sensores calibrados, existiam situações em que as diluições (real e teórica) eram significativamente diferentes e é possível afirmar, depois da etapa anterior, que não é um problema da categoria de máquina. Foi então necessário observar as condições



básicas do método e formulou-se a hipótese de que a cerveja que chega para diluição aos carboblenders não apresenta o extrato primitivo que está definido para essa mesma cerveja, no mapa de diluições.

De modo a averiguar o método, foi construído um diagrama da área da filtração e identificados os pontos críticos (disponível no Apêndice E). O critério para a escolha destes pontos foi baseado no princípio de funcionamento do processo, realçando os pontos dentro da área que têm alguma influência na cerveja e, conseqüentemente, na atividade de decisão na fase de diluição. Os pontos encontrados foram: tanques de guarda, *Nathan* (tanque tampão) e filtros de *kieselguhr*. Para auxiliar nas análises a estes pontos e chegar à causa-raiz dos problemas, foi também efetuada uma análise 5 Porquês (presente no Apêndice E).

#### Ponto Crítico - Tanques de Guarda

Esta zona foi identificada como crítica para o caso em estudo, posto que é deste local que é retirada a amostra para determinar o extrato primitivo que aparecerá registado no mapa de diluições. Este valor de extrato servirá para calcular uma diluição teórica expectável na diluição desta cerveja e que irá estabelecer a comparação para a verificação do bom funcionamento do carboblender, quando for altura de diluir a cerveja que se encontrava no tanque de guarda de onde foi retirada a amostra. É retirada uma amostra de cada tanque de guarda, um dia depois deste ser cheio.

A equipa colocou a hipótese de que esta amostra, nas condições que é retirada, não seria representativa do tanque de guarda completo. O primeiro ensaio para o testar consistiu em retirar uma amostra de vários tanques de guarda imediatamente antes de a cerveja contida dentro destes fosse enviada para a filtração, analisá-la em laboratório para determinar o seu valor de extrato primitivo e compara-lo à amostra de rotina retirada um dia após o enchimento do tanque. Os resultados, ilustrados na Figura 4.42, revelam que os valores de extrato primitivo são consistentemente menores no final do período de guarda, com um decréscimo em média de 0,05 °P.

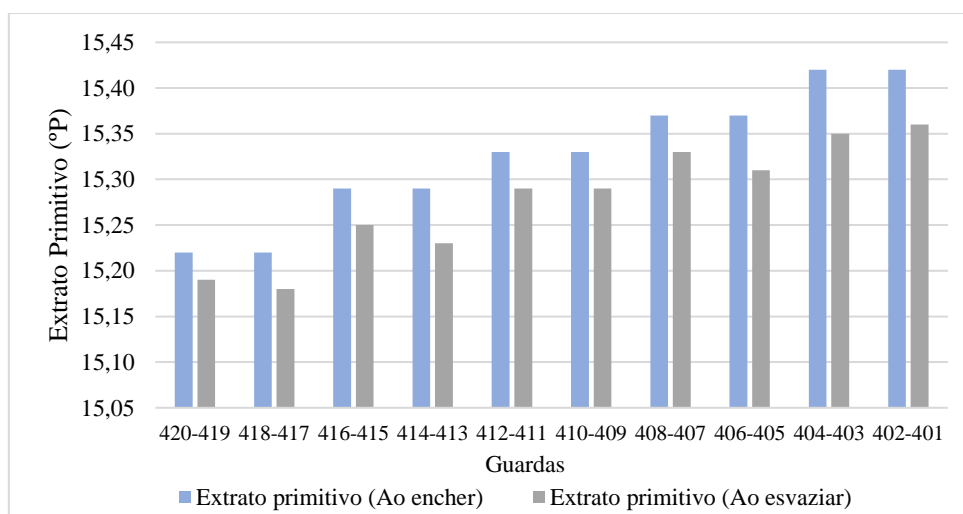


Figura 4.42- Comparação de valores de extrato primitivo no início e no fim do período de guarda

Observando a forma como os tanques de guarda estão desenhados e implementados na fábrica, como mostra o esquema abaixo, o ponto de amostragem situa-se a vermelho na metade superior do tanque de guarda inferior. A cerveja, durante o processo de maturação, é mantida nestes tanques a temperaturas baixas durante vários dias e, portanto, é teorizado que o decréscimo no valor de extrato primitivo demonstrado acima se deva a deposição dos açucares no fundo do tanque.

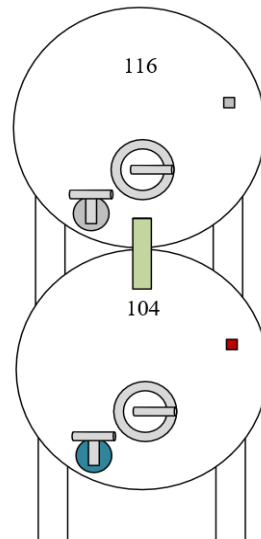


Figura 4.43- Esquema dos tanques de guarda

Isto, imaginando que a cerveja seguiria destes tanques logo para o carboblender, originaria valores de diluição que poderiam ser interpretados pelos operadores como anómalos e despoletar uma resposta desnecessária, uma vez que, no início se iria observar um valor de diluição superior ao suposto porque a cerveja é retirada do tanque pela parte inferior (no local demonstrado pela cor azul) onde existe uma maior concentração de extrato. Este valor de diluição decresceria ao longo do esvaziamento do tanque e atingiria outro pico e uma nova redução quando a cerveja do tanque superior chegasse ao carboblender, pois os tanques estão ligados pelo tubo desenhado a verde, e tem o mesmo ponto de saída (a azul). Esta situação só não se verificaria na marca *Cerveja X*, pois esta ainda vai circular noutro tanque antes de partir para a zona de diluição.

Na tentativa de completar o estudo anterior foi elaborado outro ensaio com duas partes. Na primeira parte, foi escolhido um tanque de guarda e retirada uma amostra todos os dias desde o seu enchimento até ao envio da cerveja para a filtração e analisado o valor de extrato primitivo. Estes resultados, na Figura 4.44, demonstram algo inesperado.

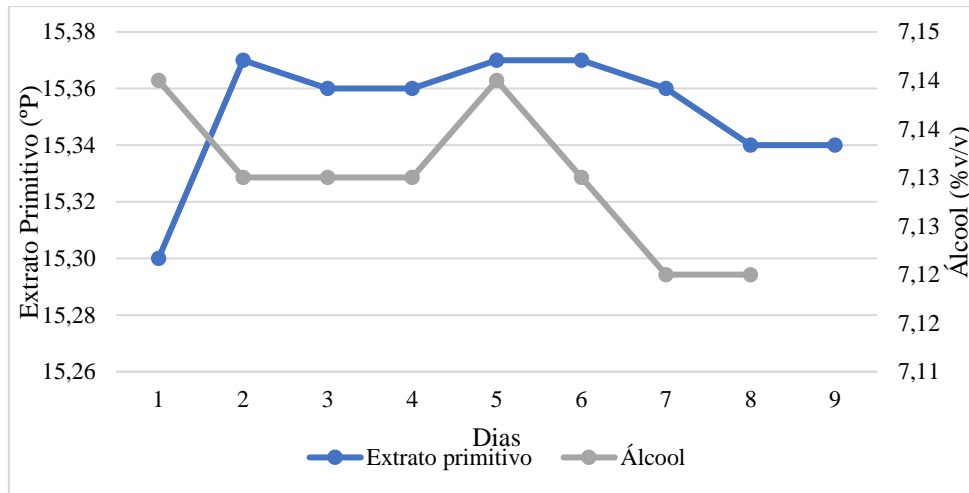


Figura 4.44- Evolução do valor de extrato primitivo e álcool ao longo da maturação

A primeira amostra de rotina, retirada pelo operador, revelou um valor de extrato primitivo que não faz sentido com os restantes. Isto pode ser apenas um erro humano de amostragem ou que, nalguns casos, a amostra retirada no dia seguinte ao enchimento não é, de facto, representativa do tanque. Quanto à evolução do extrato primitivo ao longo dos dias em que acontece o processo de maturação, demonstrou um decréscimo de 0,03 °P comparando o segundo dia e o último. Analisando o teor de álcool, reparou-se que à medida que o extrato primitivo baixa, o álcool também baixa, não se tratando de nenhuma fermentação residual.

A segunda parte, consistiu em coletar amostras ao longo do envio da cerveja para fora deste tanque e analisar se o perfil de concentração de açúcar correspondia à hipótese pensada e descrita em cima. Comprovou-se que o valor mais alto de extrato primitivo registado foi no início e que decresceu desde aí, contudo, não constantemente. O envio de cerveja do tanque superior começou por volta das 14:00 horas e neste o extrato primitivo manteve-se razoavelmente constante.

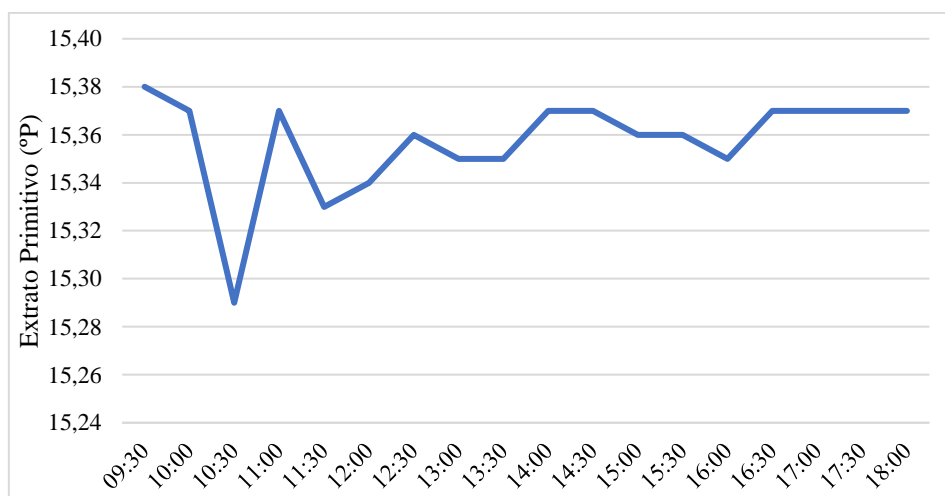


Figura 4.45- Perfil de extrato primitivo no esvaziamento de um tanque de guarda

Os resultados dos ensaios efetuados neste ponto crítico não permitiram retirar uma conclusão definitiva sobre se existe algum problema na amostragem representativa dos tanques de guarda. A hipótese de a ocorrência de deposição do extrato ao longo do tanque de guarda parece ser uma realidade, mas se esta tem alguma influência significativa no desempenho de diluição do carboblender não foi possível determinar, havendo espaço para mais estudos neste sentido.

### Pontos críticos - Nathan ou tanque tampão

A passagem pela *nathan* é um ponto obrigatório para marcas de cerveja como *Cerveja X* e *Cerveja Y* e, é assumidamente, um local onde existe mistura de cervejas provenientes de guardas diferentes e que, portanto, podem ter valores de extrato primitivo muito díspares. O método instaurado para diminuir ao máximo o impacto desta mistura é o seguinte: esperar que a *nathan* contenha 20% da sua capacidade com a cerveja da guarda que está na filtração nesse momento e enche-la com a cerveja da próxima guarda a filtrar para que o volume da nova guarda seja muito maior e dilua a presença da primeira cerveja, exemplificado no esquema abaixo:

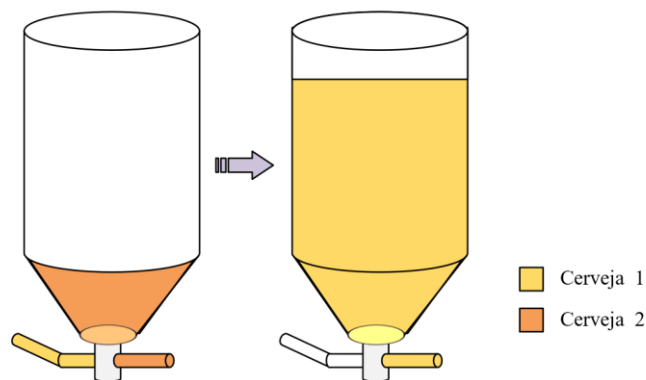


Figura 4.46- Esquema do método de utilização da *nathan*

A maior parte da cerveja 2 já se encontrada filtrada e diluída e uma nova guarda vai ser enviada para seguir o mesmo processo. Mesmo que as cervejas 1 e 2 tenham valores de extrato primitivo muito diferentes, como existe apenas uma pequena quantidade da cerveja 2, ao encher o tanque tampão até a capacidade total de 66 000 litros, a sua presença fica diluída na cerveja 1 e não influencia em nada os parâmetros da nova cerveja. Isto significa que, quando entrar no carboblender para diluição, não haverá nenhum valor anómalo na percentagem de diluição quando comparada com a teórica.

A experiência na área e depois, questionando os operadores da filtração sobre o assunto, ficou patente que muitas vezes este método não é cumprido por razões de stresse de tempo e afins. Foi teorizado, então, que se poderia verificar a situação esquematizada abaixo:

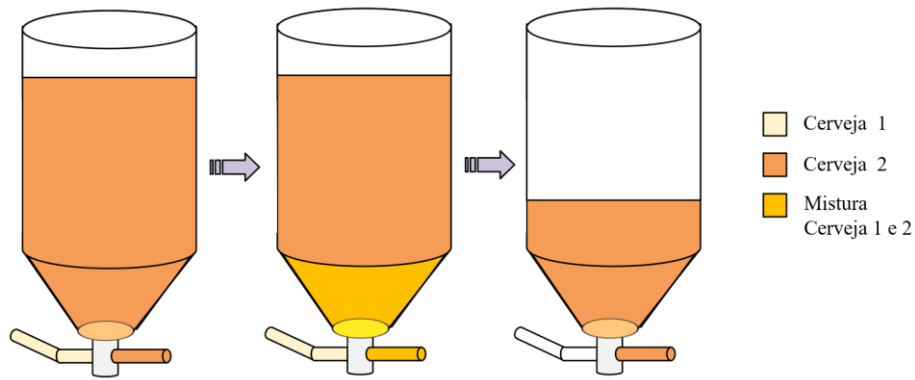


Figura 4.47- Esquematização da teoria da nathan

Enquanto o tanque tampão ainda está cheio com a cerveja 2, é adicionada a próxima cerveja agendada para ser filtrada, ou seja, a cerveja 1. Existe uma mistura entre as duas cervejas na parte inferior do tanque, passando adiante uma cerveja que tem as propriedades de ambas, causando valores anómalos de percentagem de diluição no carboblender, já que o extrato primitivo que lá chega é diferente da cerveja que deveria estar a ser diluída, nomeadamente, a cerveja 2. Isto vai resultar numa resposta por parte dos operadores, pensando que o carboblender está a funcionar incorretamente. Além disto, quando a cerveja 1 acabar e não for adicionada uma guarda nova, a cerveja no topo do tanque (ainda cerveja 2) avançará para a filtração e diluição e originará um valor diferente do esperado pois, supostamente, estaria a ser filtrada cerveja 1.

Não existiu oportunidade para criar um ensaio que provasse a veracidade desta teoria, portanto é um assunto passível de ser estudado futuramente.

#### Pontos críticos – Filtros de kieselguhr

Os filtros de *kieselguhr* foram identificados como um ponto crítico porque, no processo de filtração, é adicionada *kieselguhr* à cerveja como adjuvante. Este é adicionado por meio de água, ou seja, é preparada uma combinação de pó e água que é adicionada à cerveja ao longo da filtração, onde o *kieselguhr* acaba por ficar retido nas placas do filtro, mas a água mistura-se com a cerveja. Foi então teorizado que esta água adicionada dilui a cerveja significativamente, ao ponto de provocar um valor inesperado na diluição do carboblender.

É possível, a partir de um cálculo rudimentar, determinar a redução de extrato primitivo esperada (uma vez que °P é uma unidade para densidade), através da equação:

$$E_{\text{primitivo final}} = \frac{E_{\text{primitivo inicial}} * Q_{\text{cerveja}}}{Q_{\text{cerveja}} + Q_{\text{água}}} \quad (4.7)$$

Em que,  
 $E_{\text{primitivo final}}$  = Extrato primitivo no final do filtro (°P)  
 $E_{\text{primitivo inicial}}$  = Extrato primitivo no início do filtro (°P)  
 $Q_{\text{cerveja}}$  = Caudal de adição de cerveja ao filtro (l/h)  
 $Q_{\text{água}}$  = Caudal de adição de água (*kieselguhr*) ao filtro (l/h)

Com caudal de cerveja que ronda os 22 000 l/h e um caudal de água de, aproximadamente, 160 l/h, determinou-se que a diferença entre o extrato primitivo da cerveja que entra no filtro e da mesma, à saída, é de 0,11 °P. Esta diferença tem potencial para causar problemas na avaliação da performance do carboblender e, por essa razão, foram realizadas experiências confirmatórias retirando uma amostra de cerveja antes dos filtros e depois dos filtros (nas três linhas de filtração) e analisando-as em laboratório. Os resultados obtidos foram os demonstrados na figura Figura 4.48:

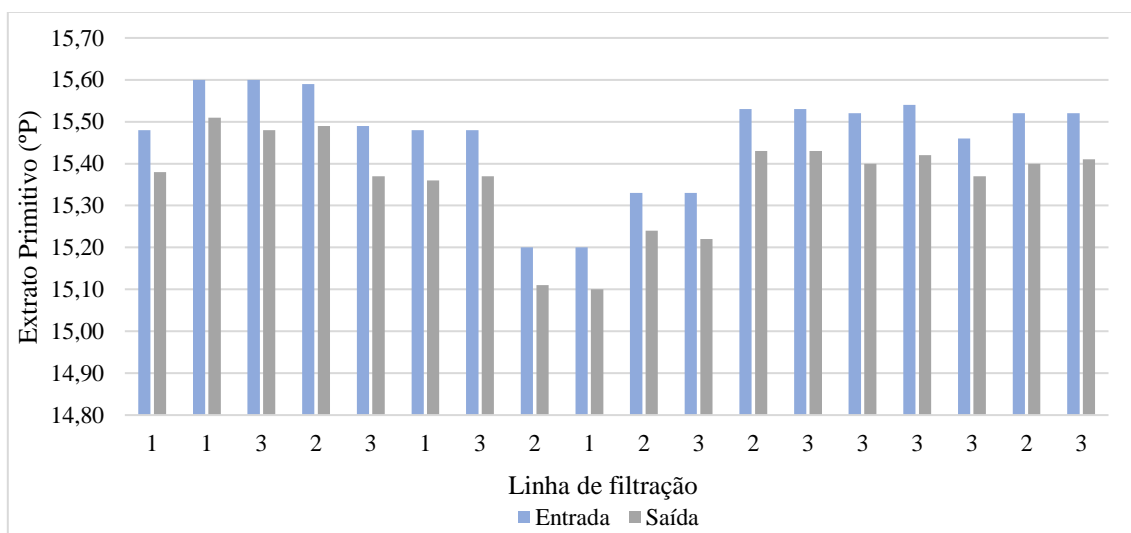


Figura 4.48- Comparação do valor de extrato primitivo à entrada e saída dos diferentes filtros

Estas amostras corroboraram o valor de 0,11 °P, determinado teoricamente, com cada linha de filtração apresentando o seguinte valor de diferença média:

Tabela 4.25- Diferença média do valor de extrato primitivo entre a entrada e saída do filtro

<i>Diferença (Entrada – Saída)</i>	<i>Filtro 1</i>	<i>Filtro 2</i>	<i>Filtro 3</i>
<i>Extrato primitivo (°P)</i>	0,10	0,10	0,11

Foi então concluído que esta diferença é, de facto, significativa e conseqüentemente tem o potencial de criar um desfasamento entre o valor de diluição retirado do carboblender e o valor tabelado esperado e portanto foi definido que, futuramente, o mapa de diluições irá ter em conta que o extrato primitivo das cervejas que chega para diluição não é igual ao determinado em guarda mas sim o mesmo valor com um desconto de 0,1 °P.

#### Definição de regras de interpretação

Depois de estudado as potências interferências dos passos processuais anteriores ao carboblender e aperfeiçoado o valor de extrato primitivo utilizado como comparativo para determinar o pleno funcionamento da diluição efetuada pela máquina, a equipa debruçou-se sobre o estabelecimento de regras para a interpretação das diferenças encontradas entre este valor teórico e o valor real.

Para replicar o controlo por *Plato ratio* aplicado no modo de controlo automático é necessário transformar os valores de extrato primitivo (normalmente em °P) para uma unidade de % vol, utilizando a fórmula seguinte:

$$E_{\%vol} = (densidade * E_{\circ P}) + (3,792 * 10^{-3} * E_{\circ P}^2) + (1,6688 * 10^{-5} * E_{\circ P}^3) \quad (4.8)$$

Depois disto é possível calcular a percentagem de diluição teórica esperada, a partir de um valor de extrato primitivo pré-diluição e um valor de extrato primitivo que atua como *set-point* para a mesma, através da equação abaixo [24]:

$$\% \text{ diluição teórica} = \left( \frac{E_{\text{primitivo entrada}}}{E_{\text{primitivo set-point}}} - 1 \right) * 100 \quad (4.9)$$

Com isto em mente, é possível criar uma tabela (para cada marca de cerveja diluída) que defina as percentagens de diluição para os limites de especificação deste parâmetro de qualidade, assim como definir a variação esperada encontrar nesta diluição quando o carboblender está a funcionar corretamente e quando é expectável que exista um problema de calibração. Obviamente, todos estes valores têm o pressuposto que é conhecido com certeza qual o extrato primitivo que está na cerveja que entra no carboblender, o que mesmo depois do estudo e respetivo melhoramento desta previsão, não é uma certeza absoluta.

Exemplificando com a marca diluída mais comum, *Cerveja X* (num range de extratos primitivos provenientes de guarda de 15 °P a 16 °P), para determinar a variação típica expectável é necessário revisitar as condições operacionais do sistema já referidas, na tabela abaixo [26] [39]:

*Tabela 4.26- Variação típica nas medições e diluição das condições operacionais*

<i>Condições operacionais</i>	<i>Extrato real (°P)</i>	<i>Álcool (% w/w)</i>	<i>Extrato primitivo (°P)</i>	<i>% Diluição</i>
<i>Exatidão dos sensores</i>	± <0,01	± <0,01	± 0,02	± 0,3
<i>Pressão*</i>	± <0,01	± <0,01	± 0,01	± 0,1
<i>Composição extrato</i>	± <0,01	± 0,02	± 0,04	± (0,5 - 0,6)
<i>CO<sub>2</sub>**</i>	± <0,03	± 0,03	± 0,07	± (0,9 - 1,0)
<i>Total precisão</i>	± <0,02	± 0,02	± 0,05	± 0,7

\* valores por médios de diferença por bar a baixo do suposto/\*\* valores para quando não existe compensação de CO<sub>2</sub> (não existência de um sensor de CO<sub>2</sub>)

Tendo em conta as variações nas medições causadas pelas condições inerentes do sistema e aplicando a lei de propagação do erro, é possível afirmar que a determinação do valor de extrato primitivo tem uma variação inerente de ± 0,05 °P (já tendo em conta a compensação de dióxido de carbono) o que se traduz numa variação no valor de diluição de ± 0,7 %.

Aplicando a mesma metodologia, é viável calcular a percentagem de diluição relacionada com os limites de calibração dos sensores e de especificação do parâmetro de qualidade extrato primitivo, demonstrado na tabela Tabela 4.27.

Tabela 4.27- Variação da diluição relacionada com limites de calibração e especificação para Cerveja X (de 15-16 °P)

<i>Especificação</i>	<i>Calibração</i>	<i>Expectável</i>	<i>Ideal</i>	<i>Expectável</i>	<i>Calibração</i>	<i>Especificação</i>
+ (2,7 a 2,9) %	+ (1,9 a 2,0) %	+ 0,7 %	0,0 %	- 0,7 %	- (1,9 a 2,1) %	- (2,8 a 3) %

Analisando a tabela construída e utilizando o esquema de cores para ajudar na compreensão, as regras para a intervenção no carboblender propostas tendo em conta a situação em que são tomadas as devidas precauções para diminuir ao máximo a mistura de cerveja e que, portanto, a cerveja que entra no processo de diluição tem um extrato primitivo semelhante ao esperado, são as seguintes:

- Calculando a diferença entre a diluição apresentada no carboblender e a teórica e verificando que o seu valor está entre o valor ideal e a zona verde ( $\pm 0,7$  %), o sistema está a funcionar corretamente e não necessita de qualquer intervenção.

- Calculando a diferença entre a diluição apresentada no carboblender e a teórica e verificando que o seu valor se encontra fora da zona verde e se aproxima do limite da zona amarela (por volta de  $\pm 1,5$  %), conferir o registo de calibração pois pode estar a necessitar de ser novamente calibrado. Se for este o caso, retirar uma amostra e enviar para análise no laboratório, sem interferir no funcionamento do sistema. Caso o sensor tenha sido recentemente calibrado, retirar uma amostra no ponto de amostragem do carboblender e outra à saída do filtro (para comprovar que extrato primitivo está a entrar no sistema) e envia-las para o laboratório para análise, sem interferir no controlo do sistema.

- Calculando a diferença entre a diluição apresentada no carboblender e a teórica e verificando que o seu valor se encontra para lá da zona amarela, retirar uma amostra no ponto de amostragem do carboblender e à saída do filtro e enviar com urgência para o laboratório. Mudar o controlo de automático para manual enquanto os resultados das análises não são comunicados.

#### **4.2.4 Passo III – Validar o sistema de controlo *in-line***

Este passo em concreto pretende validar a efetividade do sistema através da comparação do sistema com o laboratório existente [77]. Na altura do trabalho desenvolvido não existia nenhuma maneira instalada na fábrica de Vialonga para comparar o resultado final da diluição efetuada no carboblender (valor de extrato primitivo dentro do *TCF*) com o valor determinado em laboratório, a partir da amostra de rotina utilizada para auferir se os parâmetros de qualidade se encontravam todos dentro dos limites de especificação. Portanto, foi desenvolvido um modelo que possibilitasse esta comparação e consequente validação do sistema.

Este modelo desenvolvido tem, admitidamente, algumas falhas:



- Como não existia um sistema computadorizado para registo e construção de dados, a maior parte dos valores utilizados provém da visualização e registo manual de valores apresentados no carboblender por parte dos operadores, havendo um potencial erro humano;
- Tem como base a cerveja que se encontra em determinado *TCF* ter sido diluída a partir da cerveja de guarda com o extrato primitivo esperado (demonstrado que não é sempre assim o caso);
- É assumido que todas as diluições são feitas para o *set-point* presente no mapa de diluições, uma vez que a falta de registos computacionais não permite observar as mudanças que são efetuadas pelos operadores;
- *TCF*'s que são cheios com duas ou mais cervejas de guardas diferentes, com valores de extratos primitivos diferentes, são assumidos serem cheios na mesma proporção por estas;
- *TCF*'s cheios por duas ou mais linhas de filtração diferentes são assumidos terem sido cheios na mesma proporção;
- Não existe forma de conhecer se o *TCF* foi cheio em modo automático ou manual.

Foi feita a tentativa de aplicar este modelo para a marca *Cerveja X*, utilizando todos os tanques cheios com este tipo de cerveja no espaço temporal de Janeiro a Agosto. Todavia, as conclusões retiradas desta análise não são só limitadas pelas falhas inerentes do próprio modelo como o facto de que o trabalho realizado pela equipa durante este tempo para melhorar a eficiência e processo do controlo de diluição ainda não foi aplicado na prática.

A equação base utilizada neste modelo para a determinação do extrato primitivo final de um *TCF* com base no funcionamento do carboblender foi:

$$E_{TCF} = \frac{(0,99894 * (E_G - 0,1)) + (3,792 * 10^{-3} * (E_G - 0,1)^2) + (1,6688 * 10^{-5} * (E_G - 0,1)^3)}{\left(\frac{V_{\text{água}}}{V_{\text{cerveja total}}}\right) + 1} \quad (4.10)$$

Onde,  
 $E_{TCF}$  = Extrato primitivo da cerveja no *TCF* (% vol)  
 $E_G$  = Extrato primitivo de guarda (°P)  
 $V_{\text{água}}$  = Volume de água utilizado na diluição da cerveja (hL)  
 $V_{\text{cerveja total}}$  = Volume de cerveja diluída no *TCF* (hL)

De seguida converte-se este valor de extrato primitivo em % vol para °P e é comparado com o valor de extrato primitivo determinado em laboratório a partir de uma amostra do *TCF* em questão. A diferença entre estes dois valores pode ser agrupada pelo esquema de cores já apresentado para a diluição onde:

- Zona verde – Diferença entre valores dentro do que é esperado no funcionamento regular do sistema;
- Zona amarela – Diferença entre valores acima do esperado, mas dentro do considerado calibrado e admitido pela administração;

- Zona vermelha – Diferença anormalmente elevada entre os valores indiciando um problema que tem o potencial para causar uma falha de qualidade.

### Carboblender 1

Neste sistema (como observado na Figura 4.49), nos tanques cheios apenas com *Cerveja X* pela linha de filtração 1, 55 % apresentaram desvios no extrato primitivo na zona verde, 40 % na zona amarela e apenas 5 % na zona vermelha.

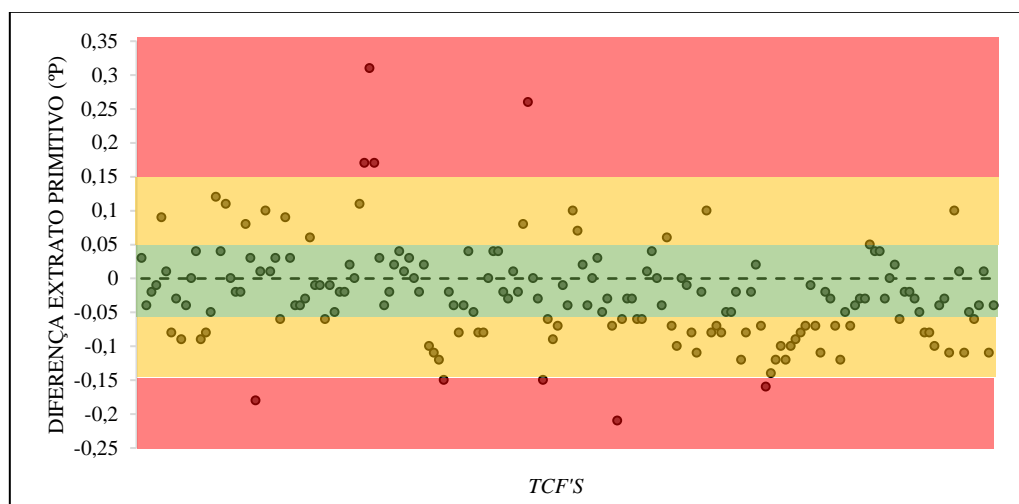


Figura 4.49- Diferença de extrato primitivo no TCF entre laboratório e carboblender 1

### Carboblender 2

Neste caso, os tanques cheios de cerveja da marca *Cerveja X* pela linha de filtração 2 apresentaram desvios significativamente maiores que os observados no carboblender 1 com 27 % dos valores de diferença determinados na zona verde, 56% na zona amarela e 17 % na zona vermelha (ilustrado na Figura 4.50), com uma clara tendência para os valores de extrato primitivo calculados a partir do *carboblender* serem mais baixos que os determinados no laboratório.

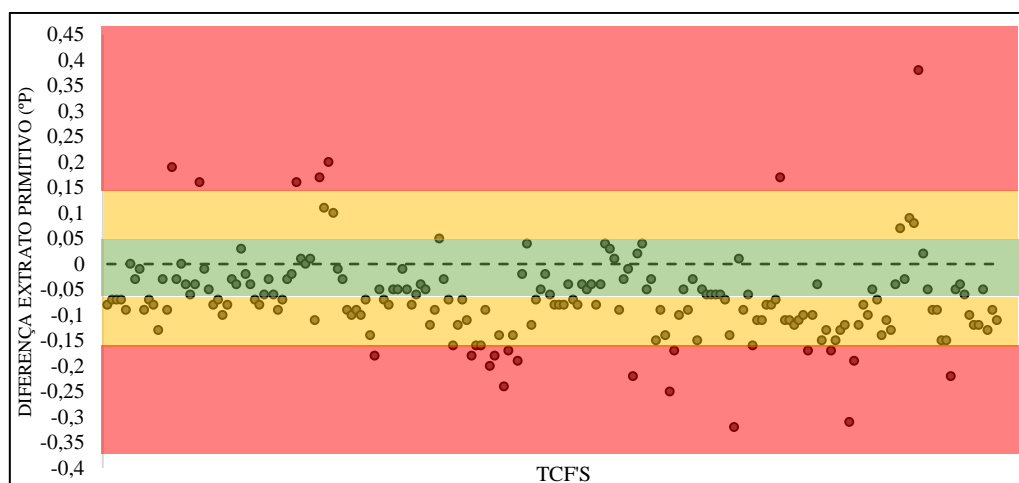


Figura 4.50- Diferenças no valor de extrato primitivo no TCF entre o laboratório e o Carboblender 2

No entanto, a equação deste modelo contém o desconto no valor do parâmetro controlador da diluição causado pelo incremento de água durante a passagem no filtro de placas. No caso dos carboblenders mais antigos, foi observado que a diluição não é independente do valor de extrato primitivo da cerveja que entra no sistema que é introduzido para começar o processo, uma vez que se comprovou (durante o trabalho no terreno) que a mudança deste valor a meio da diluição tem influência na quantidade de água que é adicionada. Portanto, aplicando o modelo com o valor introduzido na realidade (Figura 4.51), os resultados melhoram significativamente com 60 % dos valores dentro da zona verde, 31 % na zona amarela e 9 % na zona vermelha.

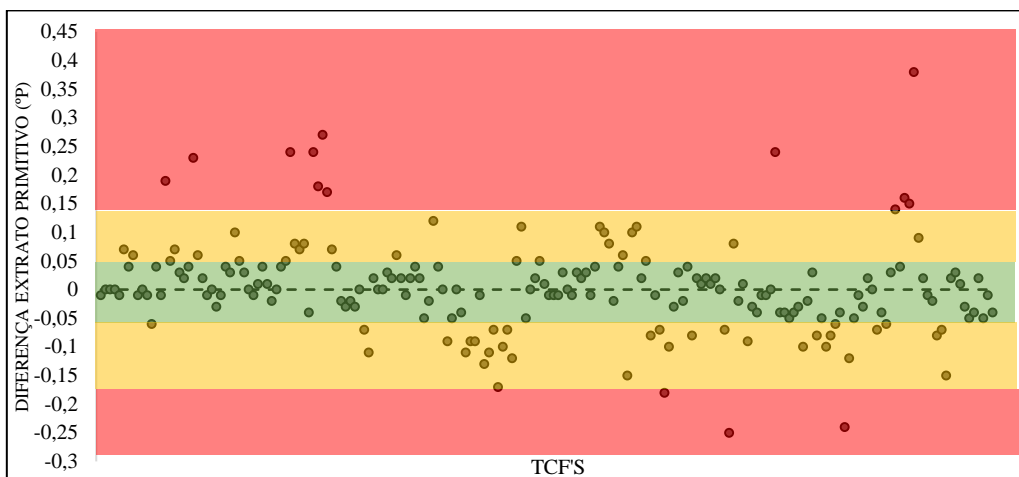


Figura 4.51- Diferença no extrato primitivo no TCF entre o carboblender e o laboratório no Carboblender 2 (ajustado)

### Carboblender 3

Como seria de esperar, neste carboblender, a mesma situação é evidenciada. Aplicando o modelo original, as diferenças entre o extrato primitivo no TCF determinado a partir das informações registadas a partir do *carboblender* e o analisado em laboratório são mais elevadas que o esperado com 18 % na zona verde, 55 % na zona amarela e 27 % na zona vermelha, com a mesma tendência de valores abaixo da linha ideal (Figura 4.53).

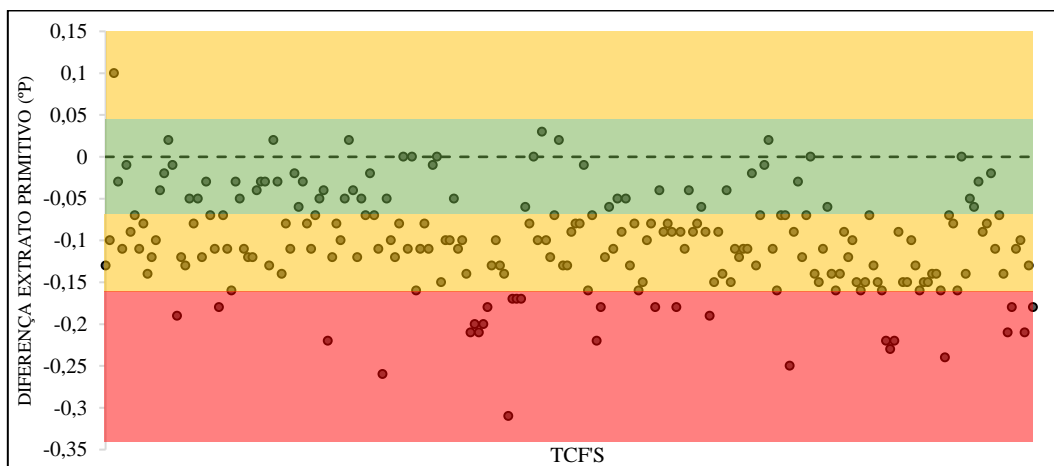


Figura 4.52- Diferença de extrato primitivo em TCF entre o laboratório e o Carboblender 3

Aplicando a correção na formulação do modelo, uma vez que este sistema é semelhante ao da linha 2, observou-se um melhoramento nas desigualdades entre os dois valores sendo equiparáveis aos evidenciados nos outros sistema, com 44 % dos resultados na zona verde, 46 % na zona amarela e 10 % na zona vermelha (ilustrado abaixo). Todavia, este parece ser o sistema menos exato.

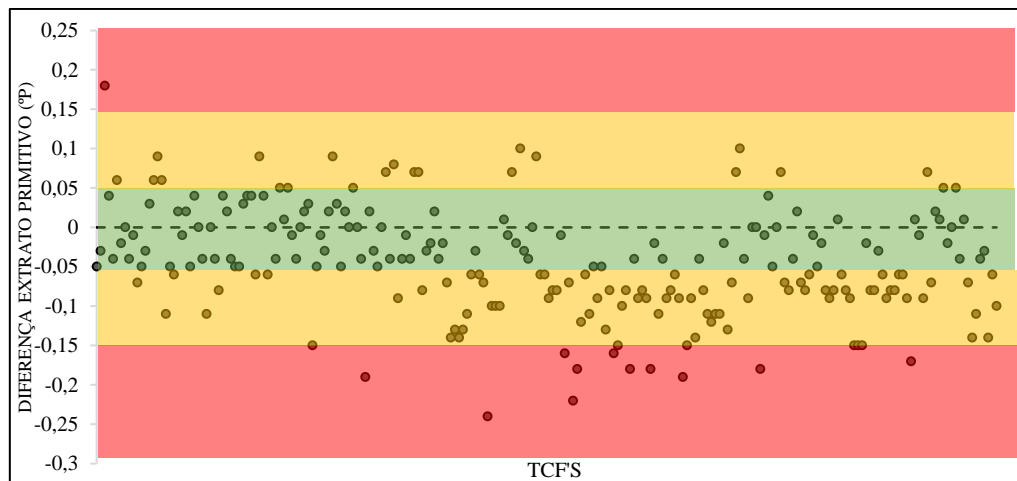


Figura 4.53- Diferença de extrato primitivo entre o laboratório e o Carboblender 3

Apesar das limitações do modelo criado e de os melhoramentos sugeridos pela equipa no processo ainda não terem entrado em vigor, esta análise feita concluiu que os sistemas já eram bastante competentes e confiáveis, ao contrário do afirmado.

### 4.2.5 Passo IV – Analisar os riscos do sistema

O passo IV tem como objetivo a procura de quantificar os possíveis riscos e definir o plano de prevenção associado ao processo de diluição com medições em linha [65]. Isto é conseguido através da identificação de todos os modos de falha e designação de prioridades de risco, que culminarão num plano de manutenção atualizado em relação ao existente.

A primeira etapa para lograr esta análise é reconhecer quais os equipamentos dentro do sistema in-line que são essenciais ao seu funcionamento e desconstruí-los nos seus componentes principais, determinando a função de cada um e as respetivas falhas funcionas e, como referido anteriormente, os respetivos modos de falha. Estes modos de falha são posteriormente analisados para tentar averiguar a influência de condições externas nos diferentes parâmetros de medição, verificado a consistência de sinais de entrada/saída, verificados os problemas de partida, detetado qualquer possibilidade de quebra de componentes e identificados os casos onde a manutenção dos instrumentos atual não é suficiente. Esta etapa foi elaborada com auxílio da análise para controlo in-line, disponibilizada pela *Heineken*, na fábrica de *Zouterwoude* [78].

Os equipamentos identificados foram os seguintes:

- Sensores de velocidade sonora e densidade;

- Sensores de dióxido de carbono;
- Sensores de oxigénio;
- Caudalímetros;
- Válvulas modeladoras de caudal.

Depois disto, estão reunidas as condições para executar a *FMECA* no sistema. Para cada efeito de falha de cada componente são definidos os efeitos nas diferentes categorias delineadas na matriz de risco e a sua frequência, de acordo com a matriz de risco ilustrada na Figura 4.54, e calculada a sua criticidade. Numa pequena nota, todos os efeitos na categoria de qualidade têm o valor de 0 ou 1 porque todos os TCF's são analisados antes da cerveja ser enviada para o enchimento. Para fazer uma estimativa da despesa monetário de uma falha em questão para a operação foi utilizada o custo de produção de três dos maiores tanques de cerveja em funcionamento com *Cerveja X*.

Por último, é executada a Análise Centrada na Manutenção (RCM), de modo a eliminar os modos de falha mais críticos. Esta análise resulta no que será a base de um novo plano de manutenção e onde foram colocadas hipóteses para uma manutenção preventiva adicional e controle, redesign da configuração dos sistemas, novos treinamentos sobre padrões necessários a instaurar sobre o funcionamento dos carboblenders e perspectivas de medidores adicionais. O resultado destas análises encontra-se demonstrado no Apêndice E.

		MTBF (hipótese)			
		> 6 anos	2 anos < X ≤ 6 anos	1 anos < X ≤ 2 anos	0 anos < X ≤ 1 ano
		P1	P2	P3	P4
<b>Segurança</b>					
Efeito	Sem efeito	S1			
	Quase acidente / acidente sem baixa	S2			
	Acidente com baixa	S3			
	Acidente com ferimentos permanentes / mortais	S4			
<b>Produção</b>					
Efeito	Sem efeito	S1			
	Paragem < 0.5 horas	S2			
	0.5 ≤ Paragem < 2 horas / Pequeno incremento no gasto de materiais	S3			
	Paragem ≥ 2 horas / Incremento significativo no gasto de materiais	S4			
<b>Custo de Restauração</b>					
Efeito	< 500 €	S1			
	500 € ≤ x < 2000 €	S2			
	2000 € ≤ x < 10.000 €	S3			
	≥ 10.000 €	S4			
<b>Qualidade / HACCP</b>					
Efeito	Sem efeito	S1			
	Bloqueio de produto interno (1 u. produzida)	S2			
	Bloqueio de produto externo / retorno	S3			
	Imagem denegrida / Danos ao consumidor	S4			
<b>Ambiente</b>					
Efeito	Sem efeito	S1			
	Pequena fuga / emissão	S2			
	Fuga de material perigoso / ruído	S3			
	Grande fuga / emissão catastrófica	S4			

Figura 4.54- Matriz de risco para o controlo in-line de cerveja

#### 4.2.6 Passo V e VI –Instalar sistemas gémeos e Implementar a gestão diária

Estes dois passos, cinco e seis, têm como objetivo prosseguir com a instalação dos medidores gémeos para os sensores in-line e criar um sistema de controle que reaja às anomalias, respetivamente [79]. No entanto, foram encarados pela equipa de forma diferente da que é ditada na rota a seguir, uma vez que, não foram instalados novos medidores no próprio sistema nem em áreas adjacentes e os requerimentos para a instauração de uma nova gestão diária passavam por realizar um controlo estatístico do processo que, com as condições existentes na área no momento deste trabalho, não seria possível de realizar satisfatoriamente. Além disso, com a incorporação dos sistemas carboblenders no *software* para controlo de processo *Brewmax*, o controlo estatístico poderá ser feito de forma muito mais facilitada e acertada e com ele novas tarefas e procedimentos irão surgir que a equipa não pode prever neste momento.

Ainda assim, foi preparada uma formação na forma de apresentação para instruir todos os operadores da área sobre as atividades, descobertas e otimizações nos procedimentos que envolvem o sistema carboblender e melhorar o conhecimento geral do próprio e do seu modo de funcionamento. Infelizmente, não foi realizada por questões de agenda.

A última fase de atividade da equipa prendeu-se por demonstrar o impacto positivo que todo o trabalho desenvolvido teve na área e nos indicadores definidos no início como sendo os principais demonstrantes de sucesso (definidos no desdobramento, Figura 4.24), evidenciados a seguir.

No carboblender 1, a situação encontrada pela equipa já era ótima com 97 % das horas de funcionamento em modo automático (valor médio entre Janeiro e Fevereiro) e manteve-se com este valor médio durante os meses de ação da equipa.

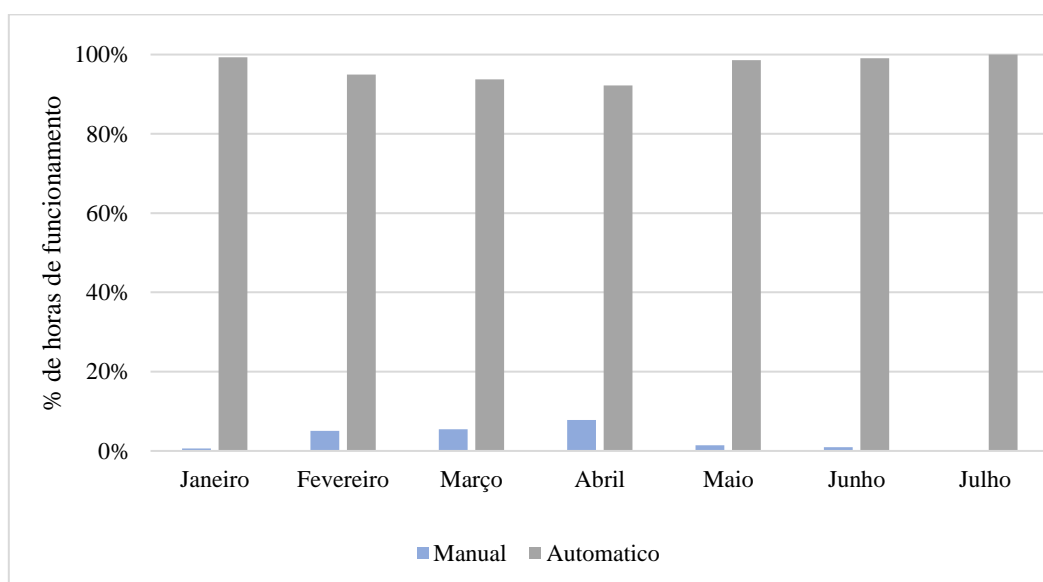


Figura 4.55- Percentagem do modo de funcionamento do Carboblender 1

Nos carboblenders 2 e 3, antes da entrada em vigor desta equipa, a percentagem da sua utilização em modo automático era, em média e respetivamente, de apenas 22 % e de 30 %. Os esforços da equipa culminaram com uma enorme subida no tempo em que estes sistemas trabalharam no modo automático, que se aproximou dos 92 %, ao longo dos meses de atividade, nos dois sistemas. Este valor é muito mais elevado que o objetivo definido no início de 70 %.

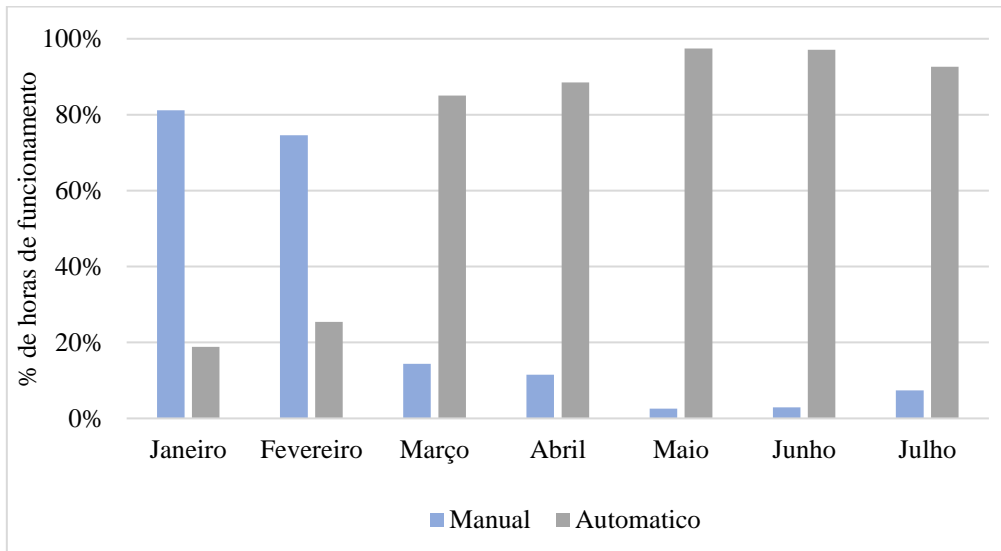


Figura 4.56- Percentagem do modo de funcionamento do Carboblender 2

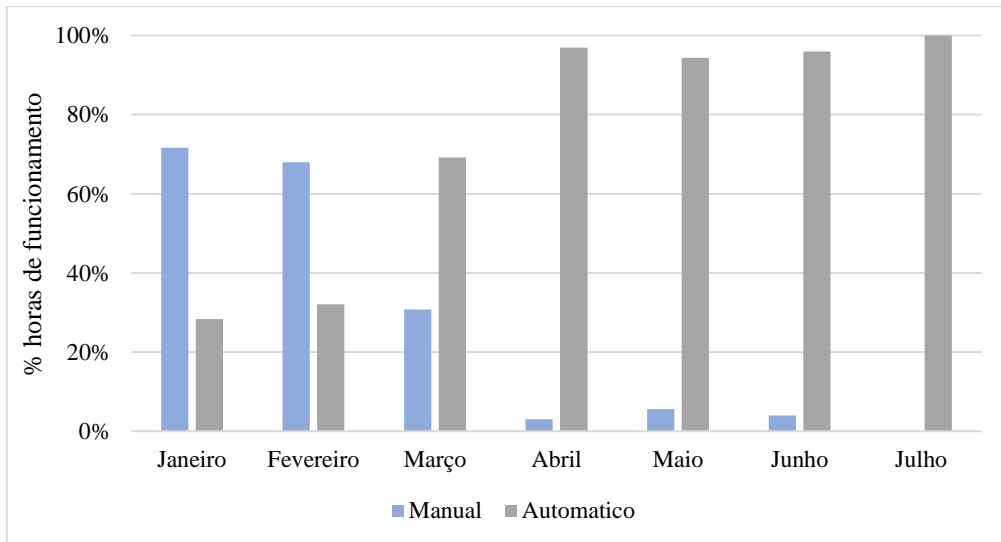


Figura 4.57- Percentagem do modo de funcionamento do Carboblender 3

O melhoramento deste indicador é também observável no FTR da área de filtração, que na semana final do trabalho da equipa, se encontrava acima do objetivo com um valor de 95 %.

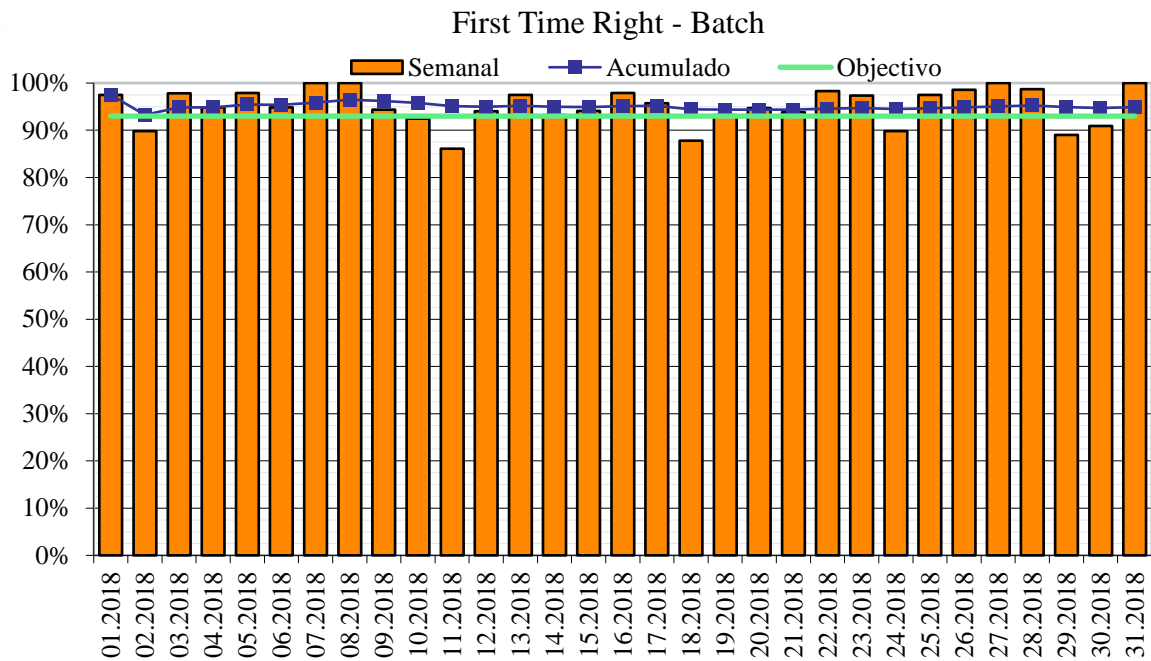


Figura 4.58- FTR da área de filtração no fim da equipa



## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

O elemento prático realizado no âmbito desta dissertação permitiu a aplicação de diversas ferramentas TPM, princípios de engenharia e espírito crítico para que fosse possível concretizar os objetivos propostos tanto na redução da quantidade de kieselguhr consumido na filtração de cerveja, como no melhoramento do funcionamento dos carboblenders em modo automático (para um valor bastante acima do perspetivado de 70 %). Isto foi, sem dúvida, apenas atingido com sucesso devido ao empenho de todos os envolvidos, nomeadamente, os operadores da área de Filtração, técnicos de laboratório e os responsáveis administrativos destas áreas cujos conhecimentos e experiência foram imprescindíveis.

A área de Filtração é a uma última etapa antes do envio da cerveja para o enchimento e é onde acontecem dois dos principais processos que garantem a qualidade de produto que é característico da SCC e esperado por parte dos seus clientes, que são a filtração e a diluição da cerveja. Ambos processos implicam o gasto de recursos, que na perspetiva de um desenvolvimento sustentável assumido pela empresa, necessitam de ser otimizados ao máximo. Por outro lado, a política de “zero defeitos” implementada pela fábrica, originou um investimento na automação destes processos e, particularmente na diluição da cerveja (materializado nos carboblenders), não estava a ser tirado o máximo proveito possível. Hipoteticamente, a total otimização do consumo de kieselguhr durante a filtração permite uma redução nos custos tanto da produção de cerveja como no tratamento de resíduos, que pode ser aplicado no melhoramento de outras áreas. Da mesma forma que, uma total automação do processo de diluição, garante uma otimização dos recursos utilizados e uma redução na ocorrência de falhas ou erros e uma intervenção humana apenas em situações excecionais, que pode ser realocada no melhoramento de outros aspetos dentro da área.

A criação de uma equipa de otimização multidisciplinar para a resolução destes problemas permitiu uma intervenção competente, auxiliada pela troca de conhecimentos das pessoas envolvidas na mesma. No entanto, este trabalho não teve ausência de desafios. Um dos principais foi a ausência de um registo informático de dados, que dificultou muitas vezes a coleção e o tratamento dos mesmos e, em muitos casos, a total impossibilidade de os obter. Outro desafio foi que, como o trabalho a desenvolver impactava diretamente a produção, isto foi um fator muito limitante no desenvolvimento de estudos ou ensaios.

Em relação à otimização do consumo de kieselguhr, o trabalho efetuada nas três linhas de filtração, permitiu uma redução na utilização deste recurso sem prejudicar a produção de cerveja nem os indicadores microbiológicos, vertente importantíssima associada com a filtração de cerveja. Para além do aumento do tempo de funcionamento máximo dos filtros e do aumento na capacidade de filtrar maiores volumes de cerveja sem ser necessário uma interrupção, que se traduz numa redução de tarefas operacionais, foi perspetivada uma redução de 49 000 Kg de kieselguhr utilizado em comparação ao ano

transato. As alterações promovidas pela equipa preveem, também, uma poupança de 32 000 euros anual na compra e no tratamento dos resíduos deste recurso.

Todavia, os ensaios que produziram os ótimos resultados observáveis, apenas tocam na superfície do trabalho que ainda pode ser elaborado em relação a este assunto. Num trabalho futuro, ainda é possível continuar o ensaio que foi desenvolvido pela equipa até chegar a uma redução limite que cause um impacto negativo na filtração de cerveja. Existe também a possibilidade de serem estudadas alterações na constituição da pré-camada, alterações nas receitas do aluvião, estudar o impacto da concentração a que é adicionado o *kieselguhr* na cerveja e ainda investigar outros tipos deste recurso a serem utilizados.

No caso da otimização do processo de diluição, ou seja, a investigação do porquê da falta de confiabilidade nos sistemas denominados carboblenders foi realizada com sucesso, tendo sido averiguados diversos aspetos do processo de diluição e do seu procedimento e construído as bases para a implementação de um sistema para a independência da área de filtração para com o laboratório. A partir da cooperação entre todos os membros da equipa, presença no terreno e do cumprimento da grande maior parte dos passos da rota implementada – Rota Implementação de controlo in-line – foi possível identificar as categorias problemáticas e desenvolvidas medidas para a redução dos seus efeitos, em suma:

- **Máquina:** Um estudo ao próprio funcionamento da máquina foi elaborado, a partir dos manuais de cada sensor e do sistema, fontes externas da Heineken e contacto com a empresa fornecedora, de modo a entender com total certeza os princípios de funcionamento dos carboblenders que não eram conhecidos pelos operadores responsáveis. Foram também recolhidos e analisados dados históricos de funcionamento e, graças à ausência de registos de medições e calibrações dos sensores, construídos estes registos e confirmado que não existia nenhum problema mecânico.
- **Método:** O método instaurado na área que determina se o carboblender está a funcionar corretamente foi analisado e criticado. Foram identificados os pontos críticos no processo da área que têm o potencial de causar um erro no método, nomeadamente: Tanques de guarda, Nathan e filtros de placas. Foram realizados ensaios numa tentativa de quantificar ou até eliminar a influencia de cada ponto crítico, culminando numa alteração no próprio método. Além disto, foi também desenvolvido um modelo para a comparação dos valores de TCF baseados no carboblender com os valores determinados em laboratórios para averiguar a confiabilidade do sistema.
- **Mão de obra:** Esta categoria foi identificada como a mais problemática e foi concluído que os operadores não tinham a formação ou espírito crítico necessários para identificar desvios no carboblender. Foram quantificados os desvios em termos de diluição e proposto um novo SOP para estabelecer uma decisão e, devido ao trabalho desenvolvido, estabelecido uma maior confiança na medição in-line.

Futuramente, a modernização da área de Filtração da SCC vai continuar com alterações com uma influência direta no assunto estudado. A integração dos sistemas carboblenders no software Brewmax vai permitir uma análise de dados muito mais facilitada que poderá confirmar os estudos e conclusões elaboradas por esta equipa. Além disso, a computadorização dos dados irá possibilitar a integração de todos os valores medidos pelos sensores e, portanto, uma previsão bastante certa de todos os parâmetros de qualidade da cerveja que se encontra dentro dos TCF's.

Outra consequência desta automação de registos é a viabilização da aplicação de análises estatísticas para instaurar um controlo de processo mais rigoroso, com treino de operadores em SPC, que deverá ser o próximo passo.

Para concluir, a otimização de processos industriais é obrigatoriamente a jornada a seguir para um desenvolvimento sustentável. Esta, é uma organização de esforços de diversas entidades com alguma interferência no processo para uma maximização da produtividade, segurança e da redução dos custos de operação. Aplicado a esta cervejeira, é o caminho para a obtenção de ótimos resultados e de um produto com qualidade excelente que poderá ser aproveitado por todos os consumidores.

“The most dangerous kind of waste is the waste we do not recognize.”

**Shigeo Shingo**

## Referências Bibliográficas

- [1] B. P. Brewery, «Filtered versus Unfiltered Beer». Disponível em: <http://www.bluepantsbrew.com/filtered-versus-unfiltered-beer/>. [Acedido: 24-Set-2018].
- [2] R. Lyke, «Unfiltered Enthusiasm», *All About Beer Magazine*, p. Volume 33, 2012.
- [3] ProBrewer, «Why filtration». Disponível em: <https://www.probrewer.com/library/filtration/why-filtration/>. [Acedido: 24-Set-2018].
- [4] ProBrewer, «History of beer filtration». Disponível em: <https://www.probrewer.com/library/filtration/history-of-beer-filtration/>. [Acedido: 24-Set-2018].
- [5] G. Freeman e M. T. Mckechnie, «Filtration and Stabilization of Beers», *Fermented Beverage Prod.*, vol. 16, pp. 365–392, 2003.
- [6] B. W. Hackstaff, «Various Aspects of High Gravity Brewing», *MBAA Tech. Q.*, vol. 15, pp. 1–7, 1978.
- [7] C. Geminn, «Concentrated wort processing method», *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.*, vol. 11, pp. 21–25, 1974.
- [8] IBD, *The General Certificate in Brewing*. Institute of Brewing and Distilling, 2016.
- [9] O. O. Schaus, «Brewing with high gravity worts», *MBAA Tech. Q.*, vol. 8, pp. 7–10, 1971.
- [10] G. Stewart, G., «High gravity brewing – the pros and cons», *newfoodmagazine*, 2007.
- [11] R. Koukol, «High Gravity Brewing», *Brauindustries*, vol. 3, pp. 22–27, 1995.
- [12] Centec, «Manual de Operações». Documento interno SCC, 2005.
- [13] Corosys, «Blending and Carbonation systems for breweries». Disponível em: <https://www.corosys.com/en/company/news-events/blending-and-carbonation-systems-for-breweries/?cn-reloaded=1>. [Acedido: 24-Set-2018].
- [14] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, «Soc. Central Cervejas». Disponível em: <http://www.centralcervejas.pt/pt.aspx>. [Acedido: 26-Set-2018].
- [15] F. Alexandra, «Melhoria dos indicadores microbiológicos em linhas de enchimento de cerveja em barril» (dissertação de mestrado), NOVA Faculdade de Ciências e Tecnologias, 2012.
- [16] Sagres, «Ninguém nos Pára». Disponível em: <http://www.sagres.pt/>. [Acedido: 28-Set-2018].
- [17] S. Ferreira, «Improvement of the Microbiological Quality Indicator in Fermentation» (dissertação de mestrado), Nova Faculdade de Ciências e Tecnologias, 2016.
- [18] M. Teixeira, «Melhoria do sistema gestão da qualidade microbiológica da Filtração de cerveja» (dissertação de mestrado), NOVA Faculdade de Ciências e Tecnologias, 2014.
- [19] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, *Fabricação de Malte e Cerveja*. Documento interno SCC, 2010.
- [20] SPX Corporation, *Gasketed plate heat exchangers - Instruction Manual*. 2012.
- [21] J. Boaventura, «Optimização do Processo de Filtração de Cerveja» (dissertação de mestrado), Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, 2009.
- [22] Heineken, «Fundamentals of Blendin Workbook». Documento interno SCC, 2012.
- [23] Centec, «Operating manual CarboBlender». Documento interno SCC, 2015.

- [24] R. de Leede, «Beer Blenders Unit». Documento interno SCC, 2004.
- [25] Centec, «Instruction Manual - Rhotec TR». Documento interno SCC, 2004.
- [26] Centec, «In-line Determination of the alcohol content, original wort and extract content of beer», *Coletânea Centec*, vol. 1. Documento interno SCC, pp. 12–24, 2005.
- [27] M.M. de Wit, «Alcohol & O.G. measurement - Application report», 1995.
- [28] Centec, «Instruction Manual - Sonatec TR». Documento interno SCC, 2014.
- [29] Centec, «Instruction Manual - Combitec». Documento interno SCC, 2012.
- [30] Sinéad Howley, «CO<sub>2</sub> Analysis in Beer», 2008.
- [31] Chemistry LibreText, «Henry's Law». Disponível em: [https://chem.libretexts.org/Textbook\\_Maps/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\\_Textbook\\_Maps/Supplemental\\_Modules\\_\(Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\)/Physical\\_Properties\\_of\\_Matter/Solutions\\_and\\_Mixtures/Ideal\\_Solutions/Dissolving\\_Gases\\_In\\_Liquids%2C\\_Henry'](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Physical_Properties_of_Matter/Solutions_and_Mixtures/Ideal_Solutions/Dissolving_Gases_In_Liquids%2C_Henry%27). [Acedido: 15-Out-2018].
- [32] Centec, «Instruction Manual - Carbotec TR-P». Documento interno SCC, 2006.
- [33] Centec, «The Centec Company Presentation», 2016.
- [34] M. Vrugteveen, «CO<sub>2</sub> in beer : Measurement of CO<sub>2</sub> content and dosing», 2006.
- [35] Centec, «Centec carbonation system CDS». Documento interno SCC, 2005.
- [36] Centec, «Instruction Manual - Oxytrans TR». Documento interno SCC, 2011.
- [37] M. Toledo, «Sensores de Oxigênio Dissolvido». Disponível em: [https://www.mt.com/int/pt/home/products/Process-Analytics/DO-CO<sub>2</sub>-ozone-sensor/dissolved-oxygen-meter.html](https://www.mt.com/int/pt/home/products/Process-Analytics/DO-CO2-ozone-sensor/dissolved-oxygen-meter.html). [Acedido: 18-Out-2018].
- [38] D. Thiedig, «Analysing technology for the beverage industry - Digox optical». [Em linha]. Disponível em: [http://www.thiedig.com/contenido/cms/front\\_content.php?idcat=214&lang=2&client=1](http://www.thiedig.com/contenido/cms/front_content.php?idcat=214&lang=2&client=1). [Acedido: 18-Out-2018].
- [39] Anton Paar, «Inline Beer Monitor : Alcohol , Real and Original Extract Determination in the Brewing Process using Density / Sound Velocity Measurement», *Process Appl. Note*, vol. 43, n. 1, pp. 1–5, 2003.
- [40] A. A. Olajire, «The brewing industry and environmental challenges», *J. Clean. Prod.*, vol. 1, pp. 1–21, 2012.
- [41] L. Fillaudeau, P. Blanpain-Avet, e G. Daufin, «Water, wastewater and waste management in brewing industries», *J. Clean. Prod.*, vol. 14, n. 5, pp. 463–471, 2006.
- [42] J. L. Legras, D. Merdinoglu, J. M. Cornuet, e F. Karst, «Bread, beer and wine: *Saccharomyces cerevisiae* diversity reflects human history», *Mol. Ecol.*, vol. 1, 2007.
- [43] Meussdoerffer, F.G. (2009). 'A Comprehensive History of Beer Brewing', in H.M. Eßlinger (ed.), *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [44] Vinepair, «A Brief History Of Beer». Disponível em: <https://vinepair.com/beer-101/a-brief-history-of-beer/>. [Acedido: 06-Fev-2019].
- [45] Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, «Sobre a Cerveja». Disponível em: <http://www.centralcervejas.pt/pt/marcas-produtos/sobre-a-cerveja/sobre-a-cerveja.aspx>. [Acedido: 06-Fev-2019].

- [46] Nelson, Max. (2005). *The Barbarian's Beverage: a History of Beer in Ancient Europe*. The Barbarian's Beverage: A History of Beer in Ancient Europe. 1-213.
- [47] A. Tierney-Jones, *1001 beers You Must Try Before You Die*. Cassel Illustrated, 2018.
- [48] BrewConductor, «Water For Brewing». Disponível em: <http://brewconductor.com/brewing/ingredients/water-for-brewing/>. [Acedido: 06-Fev-2019].
- [49] Heineken, *Fabricação de Malte e Cerveja*. Documento interno SCC, 2012.
- [50] Geotimes, «Energy & Resources». Disponível em: <http://www.agiweb.org/geotimes/aug04/resources.html>. [Acedido: 06-Fev-2019].
- [51] C. W. Bamforth, I. Russell, e G. Stewart, *Handbook of Alcoholic Brebages - Beer: A Quality Perspective*, Bamforth,., 2008.
- [52] H. M. Eßlinger e L. Narziß, «Beer», em *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2009.
- [53] PALM, «Mixed-fermentation brewing process». Disponível em: <https://www.palm.be/en/rodenbach/process>. [Acedido: 07-Fev-2019].
- [54] Steve Parks, «Brewing process», *Craft beer & Brewing*. Disponível em: <https://beerandbrewing.com/dictionary/liGWQ4hbZX/>. [Acedido: 12-Fev-2019].
- [55] The Beer Temple, «Brewing Process». Disponível em: <http://craftbeer temple.com/videoblog/brewing-process/>. [Acedido: 12-Fev-2019].
- [56] Novozymes, *Brewing Handbook*, vol. 1. 2013.
- [57] J. A. Teixeira e M. Fonseca, *Reactores Biológicos*. (1ª ed.) Lidel. 2006
- [58] BusinessDictionary, «What is product quality?» Disponível em: <http://www.businessdictionary.com/definition/product-quality.html>. [Acedido: 20-Fev-2019].
- [59] P. S. Hughes e D. Baxter, *Beer: Quality, Safety and Nutritional Aspects*. The Royal Society of Chemistry, 2001.
- [60] K. Sakamoto e W. N. Konings, «Beer spoilage bacteria and hop resistance», *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 89, pp. 105–124, 2003.
- [61] Requeijo, J. F. G., & Pereira, Z. P. D. P. S. L. (2012). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*. (2ª ed.) Lisboa: FFCT - Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- [62] FERNANDES, J. C.; MACON, E.; CASPANI, F. C.; ALONSO, L. C. Total productive maintenance – TPM. UNESP, Faculdade de Engenharia de Bauru. Bauru, SP. 2010.
- [63] José Coelho, «Implementação da TPM numa Empresa de Produção» (dissertação de mestrado), Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2008.
- [64] B. Stonner, «FMEA e FMECA - análise do modo de falhas, efeitos e criticalidade». [Em linha]. Disponível em: <https://blogtek.com.br/fmea-e-fmeca-analise-do-modo-de-falhas-efeitos-e-criticalidade/>. [Acedido: 05-Mar-2019].
- [65] Solving Efeso, «Rota Implementação do Controlo in-line - Passo 4». Documento interno SCC, 2006.
- [66] Brauer, Douglas & Brauer, Greg. (1987). Reliability-Centered Maintenance. Reliability, IEEE Transactions on. R-36. 17 - 24.
- [67] C. Sarantopoulos, «Filtration diagnostic & Clarcel Kieselguhr data». Documento interno SCC. 2016.

- [68] Solving Efeso, «Implementação de Controle In-line». Documento interno SCC, 2006.
- [69] Haffmans, «Instruction manual - Haffmans Vos Rota Turbidity Meter». 2010.
- [70] Anton Paar, «Alcolyzer Beer Analyzing System». Disponível em: <https://www.anton-paar.com/in-en/products/details/alcolyzer-beer-analyzing-system/>. [Acedido: 14-Nov-2018].
- [71] Anton Paar, «Instruction Manual - Alcolyzer». 2007.
- [72] Pentair, «Instruction Manual - Haffmans c-DGM Gehaltemeter». 2014.
- [73] Solving Efeso, «Rota Implementação do Controlo in-line - Passo 1». Documento interno SCC, 2006.
- [74] Engineering ToolBox, «Pipes and Fluid Flow Velocities». Disponível em: [https://www.engineeringtoolbox.com/pipe-velocity-d\\_1096.html](https://www.engineeringtoolbox.com/pipe-velocity-d_1096.html). [Acedido: 19-Jan-2019].
- [75] Engineering ToolBox, «Solubility of Gases in Water». Disponível em: [https://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d\\_1148.html](https://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d_1148.html). [Acedido: 19-Jan-2019].
- [76] R. Sandy, «Compilation of Henry's law constants». 2013.
- [77] S. Efeso, «Rota Implementação do Controlo in-line - Passo 3». Documento interno SCC, pp. 3–5, 2006.
- [78] Heineken, «FMECA Zwouterwald». Documento interno SCC, 2010.
- [79] Solving Efeso, «Rota Implementação do Controlo in-line - Passo 5». Documento interno SCC, 2006.





## Apêndice A – Equipa

O plano de ação (Figura O.1) compreende a compilação das tarefas elaboradas por diversos membros da equipa de modo a concretizar a otimização do consumo de kieselguhr:

### Plano de Ação

#	Passo	Ação	Quem	Status
1	1	Experiência no terreno de modo a conhecer o funcionamento e o procedimento dos filtros de placas	AS	Done
2	1	Acompanhar e explicar os procedimentos que envolvem os filtros de placas	TL	Done
3	1	Analisar as razões que levaram à paragem dos filtros em 2017	AS	Done
4	1	Estudar a proposta de ensaio aos filtros elaborado pela Clarcel	AS	Done
5	1	Propôr os diversos ensaios possíveis	AS	Done
6	1	Escolher o ensaio mais apropriado para o começo	MC + AS	Done
7	1	Definir os critérios a monitorizar	AS	Done
8	1	Determinar uma maneira que possibilite a compração de ciclos com variáveis diferentes	AS	Done
9	1	Envio dos dados de cada filtro no ano de 2017 para o líder de equipa	MC	Done
10	1	Tratamento dos dados de cada filtro do ano de 2017	AS	Done
11	1	Alteração dos fatores k no software Brewmax	MS	Done
12	1	Observar o comportamento dos filtros e reportar situações estranhas	TL	Done
13	1	Envio dos dados de cada filtro mensalmente para o lider de equipa	MS	Done
14	1	Tratamento dos dados mensais de cada filtro	AS	Done
15	1	Tratamento dos dados tendo em conta os ensaios realizados	AS	Done
16	1	Envio de FTR - Batch e FTR- Microbioly para o lider de equipa mensalmente	MS	Done
17	1	Tratamento dos dados de turvação e microbiologia consoante os ensaios	AS	Done
18	1	Determinação das razões de paragem dos filtros ao longo dos ensaios	AS	Done
19	1	Envio de custos de kieselguhr e do seu tratamento	MC	Done
20	1	Determinar a redução de custo gerada pelos ensaios e comparar o antes e o depois	AS	Done
21	1	Avançar para outro ensaio	AS	

*Figura O.1- Plano de ação para a otimização de kieselguhr*

O plano de ação (Figura O.2) compreende a compilação das tarefas elaboradas por diversos membros da equipa de modo a concretizar a otimização do processo de diluição:

### Plano de Acção

#	Passo	Acção	Quem	Status
1	0	Adquirir experiência sobre a área e procedimentos no carboblender	AS	done
2	0	Análise estatística dos dados referentes ao modo de funcionamento dos carboblenders (automático Vs Manual) em 2017 e Janeiro e Fevereiro de 2018	AS	done
3	0	Fazer desdobramento dos objetivos	MC + AS	done
4	0	Estudar a rota a implementar	AS	done
5	1	Definir indicadores a monitorizar	AS + MC	done
6	1	Coletar dados antigos de calibração	AS	
7	1	Falar com o responsável pelo laboratório para obter um documento para verificar o sistema de medição	AS	done
8	1	Fornecer o FTR batch de 2017 ao líder de equipa	MC	done
9	1	Análise estatística das falhas nos parâmetros de qualidade em todas as marcas de cerveja no ano de 2017	AS	done
10	1	Elaboração da Matriz QA para os carboblenders	AS + MC	done
11	1	Estudar a fundo o sistema - determinar os princípios de funcionamento	AS	done
12	1	Averiguar a montagem dos sensores	AS	done
13	1	Averiguar as condições de operação do sistema	AS	done
14	1	Estabelecer contacto com a Centec	AS	done
15	1	Propor um plano de restauração	AS	done
16	1	Criar registo de suporte de informação com dados da calibração	AS	done
17	1	Substituir registos de calibração dos carboblenders	AS	done
18	1	Inspecção do carbocheck do Filtro 2	TL	done
19	2	Definir a estratégia de amostragem	AS + MC	done
20	2	Definir os métodos comparativos e sistema de comparação	AS	done

Figura O.2- Plano de ação para otimização da diluição

**Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja**  
André Filipe Carmo e Silva

21	2	Planear próximas produção de Sagres Preta, Cergal e Sagres Branca para ajudar nas medições	MC	done
22	2	Garantir correto registo do modo de funcionamento dos carboblenders	TL	done
23	2	Retirar amostras de CO <sub>2</sub> , extrato e álcool	AS	done
24	2	Verificar funcionamento do carboblender 2 após produção de Sagres Radler	AS	done
25	2	Auxiliar na recolha de amostras	TL	done
26	2	Analisar os diferentes ZZ scores	AS	done
27	2	Propor um plano de manutenção	AS	done
28	2	Fazer uma análise 5 porquês	AS	done
29	2	Elaborar o diagrama da área	AS	done
30	2	Identificar os pontos críticos	AS+MC	done
31	2	Desenvolver ensaios para os tanques de guarda	AS	done
32	2	Desenvolver ensaios para a Nathan	AS	done
33	2	Desenvolver ensaios para os filtros	AS	done
34	2	Arranjar uma grade com garrafas vazias para recolher amostras	MC	done
35	2	Interpretar os resultados dos ensaios	AS+MC	done
36	2	Propor a alteração do método	AS	done
37	2	Quantificar as diluições a partir dos valores de extrato primitivo para Sagres Branca	AS	done
38	2	Propor o novo SOP para os carboblenders	AS	done
39	3	Arranjar uma maneira de comparar o valor final de TCF do carboblender com o laboratório	AS	done
40	3	Recolher todos os dados para o modelo	AS	done
41	3	Construir os gráficos para os 3 carboblenders	AS	done
42	4	Executar o sistema FMECA e RCM para os carboblenders	AS	done
43	6	Preparar uma apresentação para os operadores da área de Filtração	AS	done
44	6	Avaliar o melhoramento do modo de operação do carboblender e o FTR Batch	AS	done

*Figura A.2- Plano de ação para otimização da diluição*



## Apêndice B – Linha de Filtração I

Para realizar uma comparação válida é necessário observar o mesmo período de tempo porque as condições de produção de cerveja diferem ao longo do ano e por isso foi elaborado um estudo dos principais parâmetros de funcionamento do filtro 1 e kieselguhr consumido, no ano de 2017, apresentados mensalmente em baixo (Tabelas B.1 e B.2):

Tabela B.1- Parâmetros mensais do filtro 1, em 2017

Parâmetros monitorizados	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho
Horas de funcionamento	56	90	116	169	370	334	336
Volume Filtrado (hL)	12345	19283	24327	35608	77101	70331	72101
Kieselguhr Consumido (Kg)	2560	3735	4300	6655	15180	13830	14299
Kieselguhr Consumido (g/hL)	207	194	177	187	197	197	198
Kieselguhr Consumido (Aluvião) (Kg)	1940	2960	3215	4950	11770	10420	11354
Kieselguhr (Aluvião) (g/hL)	157	154	132	139	153	148	157
Aumento do deltaP (bar/h)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Caudal de entrada (hL/h)	220	214	210	21	208	211	215

Tabela B.2- Consumo dos diferentes tipos de kieselguhr mensalmente em 2017

Tipo de kieselguhr	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho
DIC (Kg)	300	375	525	825	1650	1650	1425
CBR (Kg)	1210	1780	2040	3135	7205	6530	6817
CBL (Kg)	1050	1580	1735	2695	6325	5650	6057

É também apresentado os mesmos parâmetros, mas nos seus valores individuais em cada ciclo de filtração do filtro 1 (em 2017), nas figuras B.1 a B.6:

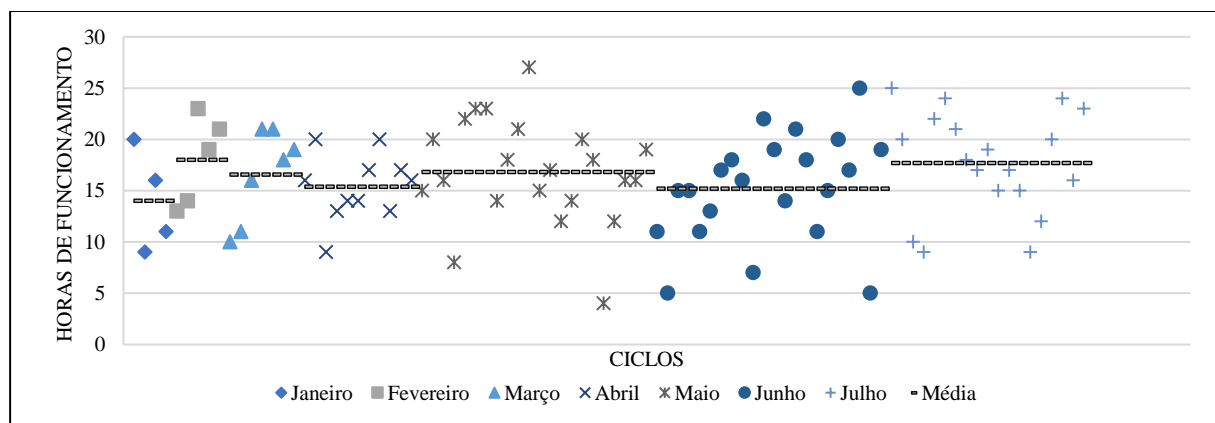


Figura B.1- Horas de funcionamento por ciclo no filtro 1, em 2017

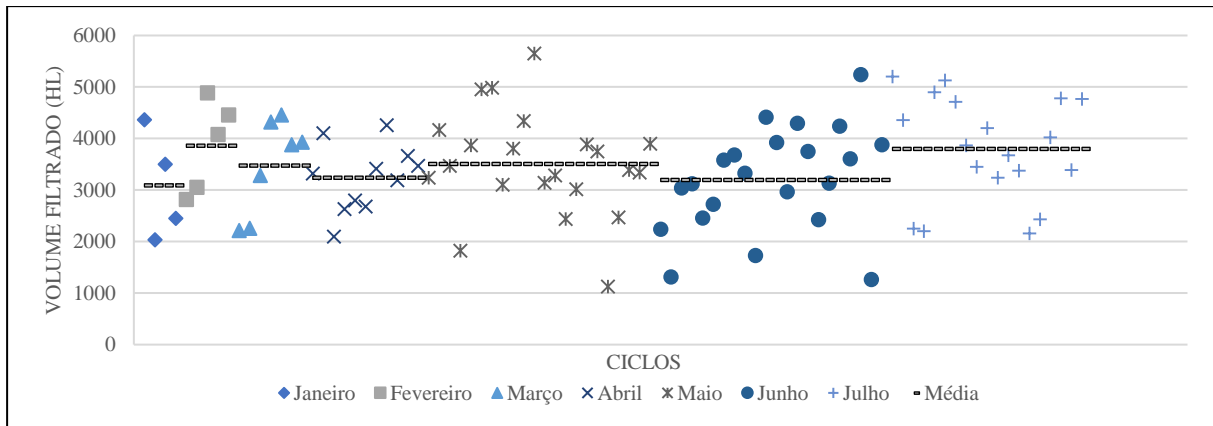


Figura B.2- Volume Filtrado por ciclo no filtro 1, em 2017

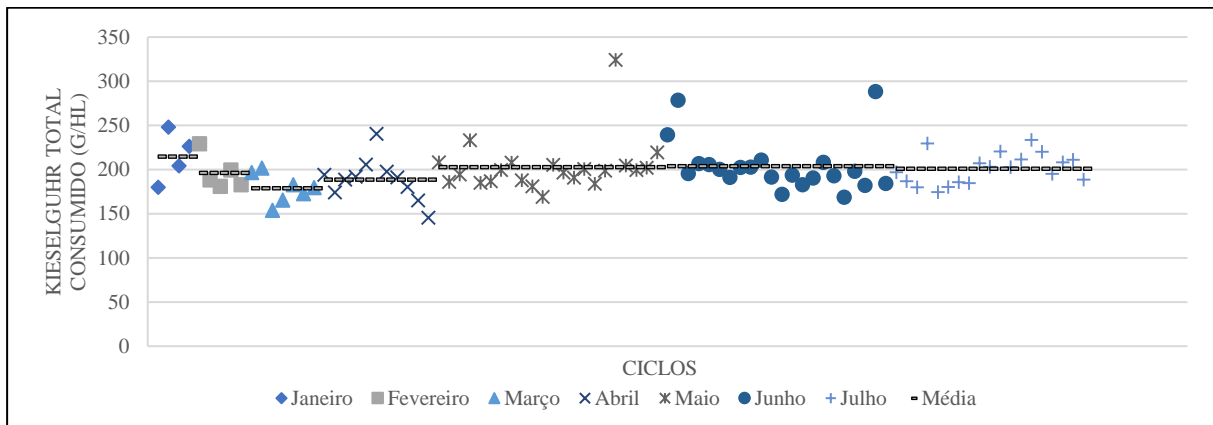


Figura B.3- Kieselguhr total consumido por ciclo no filtro 1, em 2017

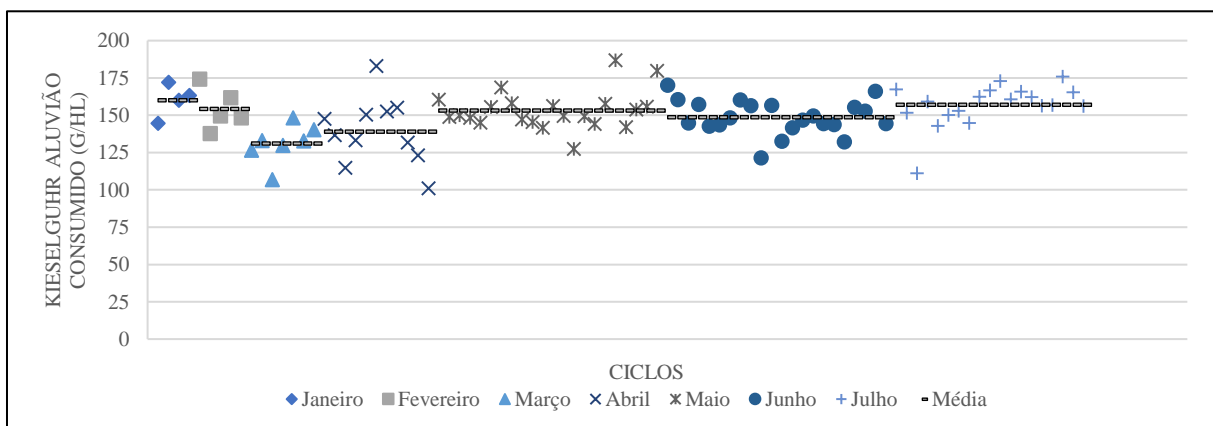


Figura B.4- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 1, em 2017

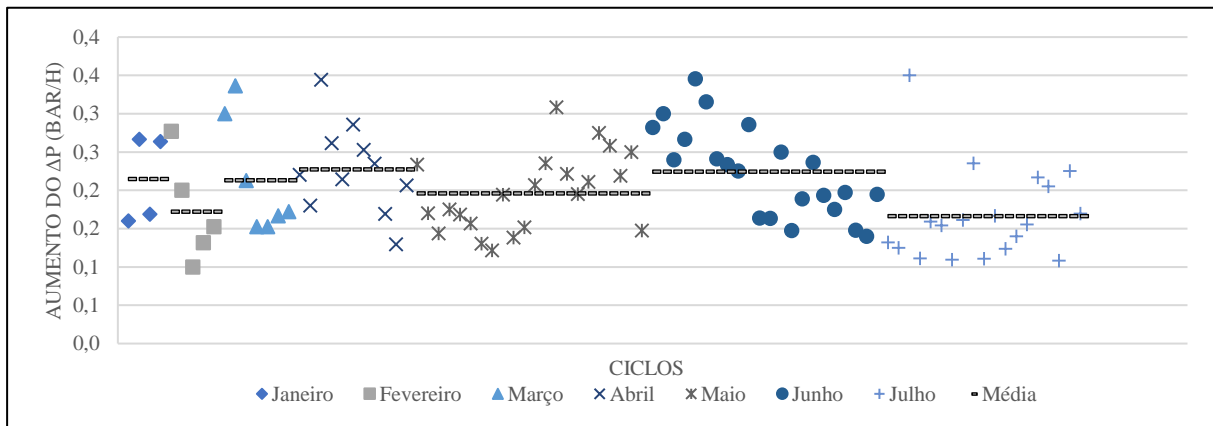


Figura B.5- Aumento do  $\Delta P$  de cada ciclo no filtro 1, em 2017

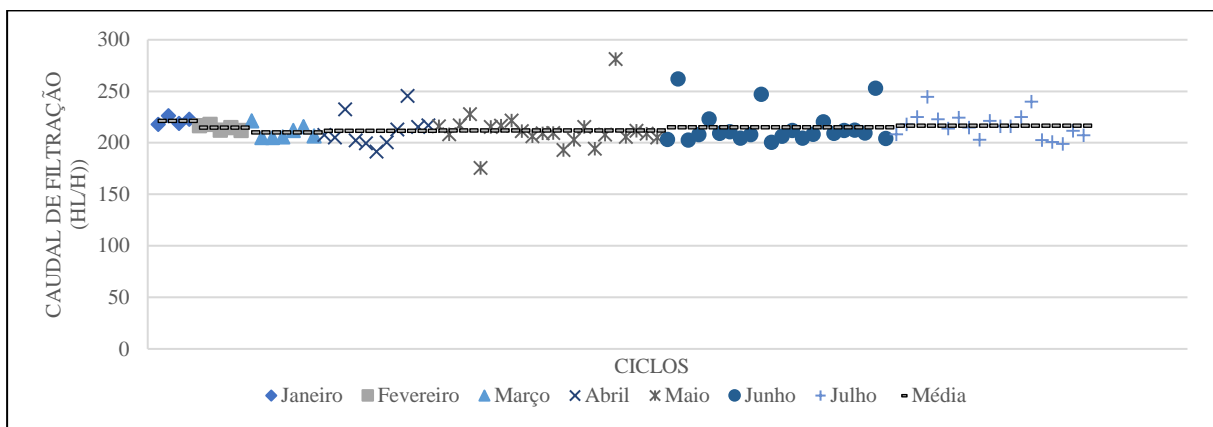


Figura B.6- Caudal de filtração em cada ciclo no filtro 1, em 2017

Ao longo dos estudos efetuados pela equipa, foi realizado o acompanhamento mensal de todos os parâmetros de funcionamento do filtro 1, do consumo de kieselguhr e do valor de k (Tabelas B.3 a B.5), sendo condensados os principais parâmetros na figura B.7.

Tabela B.3- Parâmetros mensais do filtro 1, em 2018

Parâmetros monitorizados	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho
Horas de funcionamento	179	173	127	167	282	231	344
Volume Filtrado (hL)	36680	37072	26408	35123	59627	49826	71949
Kieselguhr Consumido (Kg)	6935	6725	5830	6020	10740	9176	12983
Kieselguhr Consumido (g/hL)	189	181	221	171	180	184	180
Kieselguhr (Aluvião) (Kg)	5230	5330	4400	4620	7860	6521	9728
Kieselguhr (Aluvião) (g/hL)	143	144	167	132	132	131	135
Aumento do $\Delta P$ (bar/h)	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Caudal de entrada (hL/h)	205	214	208	210	211	216	209

Tabela B.4- Consumo mensal dos diferentes tipos de kieselguhr, em 2018

Tipo de kieselguhr	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho
DIC (Kg)	825	675	720	720	1440	1295	1575
CBR (Kg)	3275	3205	2700	2840	5010	4290	6215
CBL (Kg)	2835	2845	2410	2460	4290	3591	5273

Tabela B.5- Valor do fator k mensalmente e média mensal de duração do tanque de aluvião

Fase aluvião	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho
Fator k	13	13	13	11	11	11	11
Duração de tanque (h)	2,3	2,3	2,2	2,6	2,5	2,4	2,4

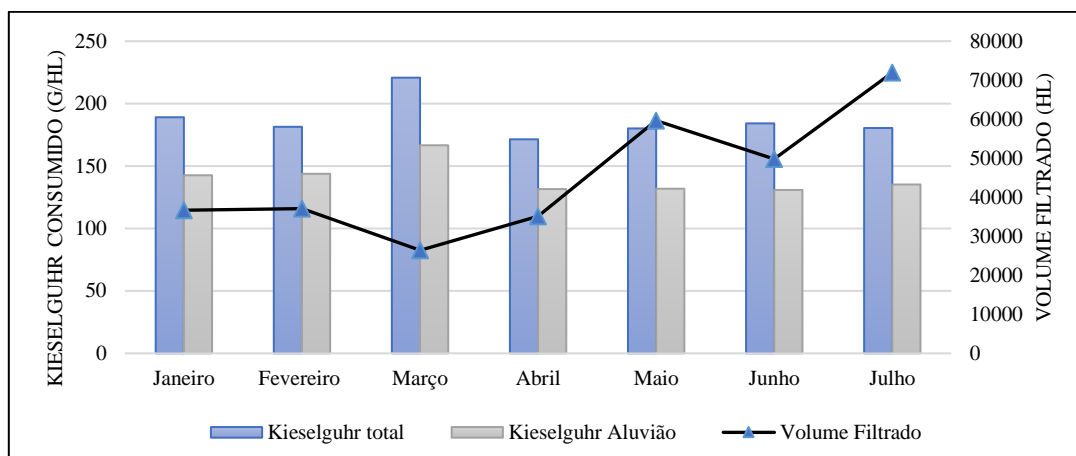


Figura B.7- Principais parâmetros mensais do filtro 1, em 2018

É também apresentado os mesmos parâmetros de funcionamento, mas nos seus valores individuais em cada ciclo de filtração do filtro 1 (em 2018), nas figuras B.8 a B.13:

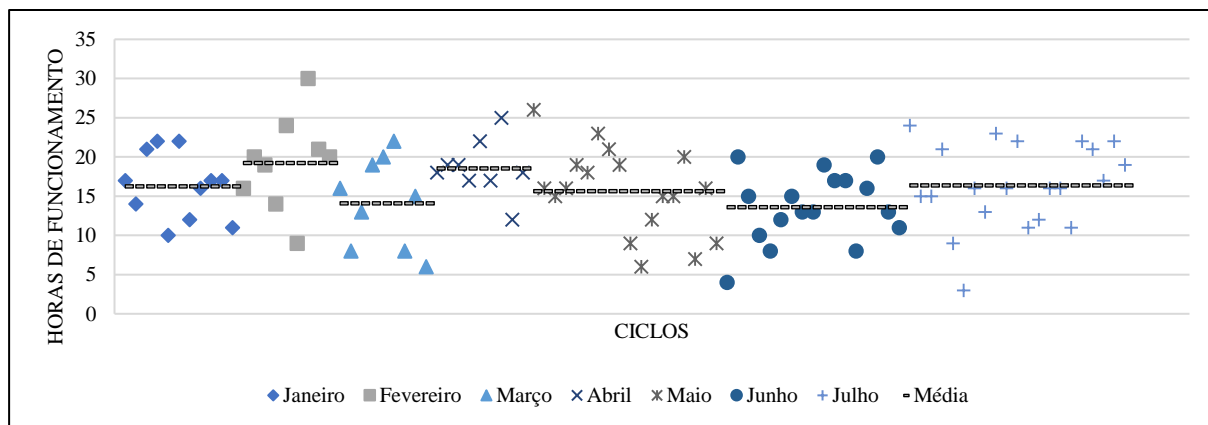


Figura B.8- Duração de cada ciclo do filtro 1, em 2018



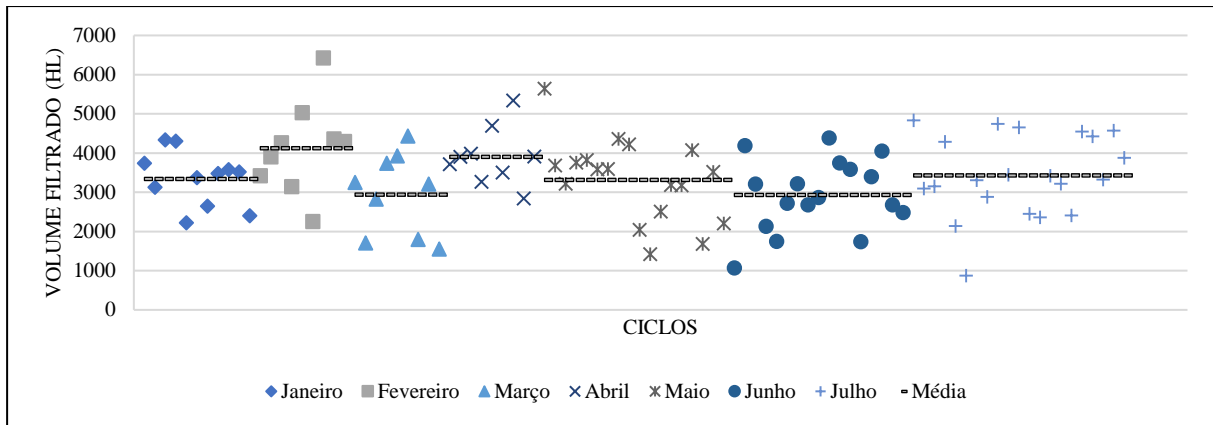


Figura B.9- Volume filtrado por ciclo no filtro 1, em 2018

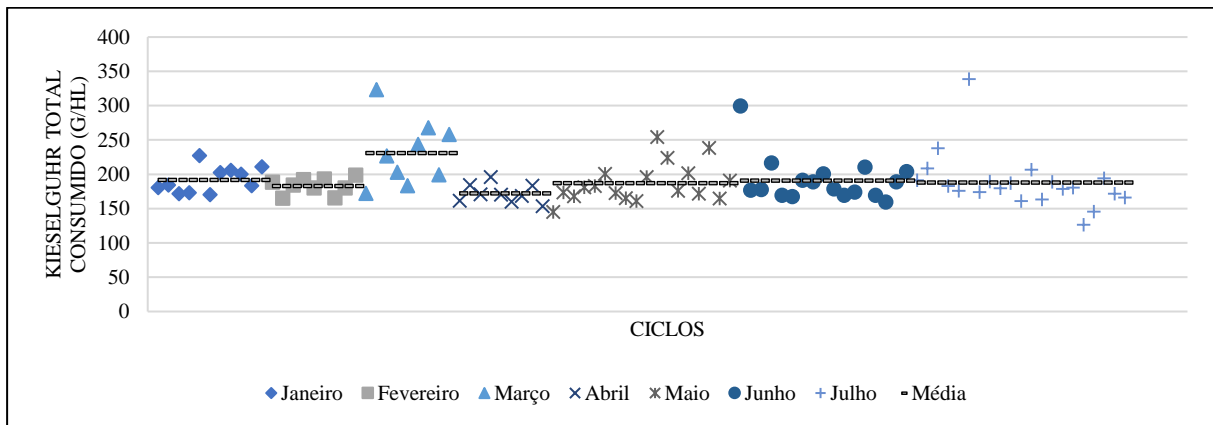


Figura B.10- Kieselguhr total consumido por ciclo no filtro 1, em 2018

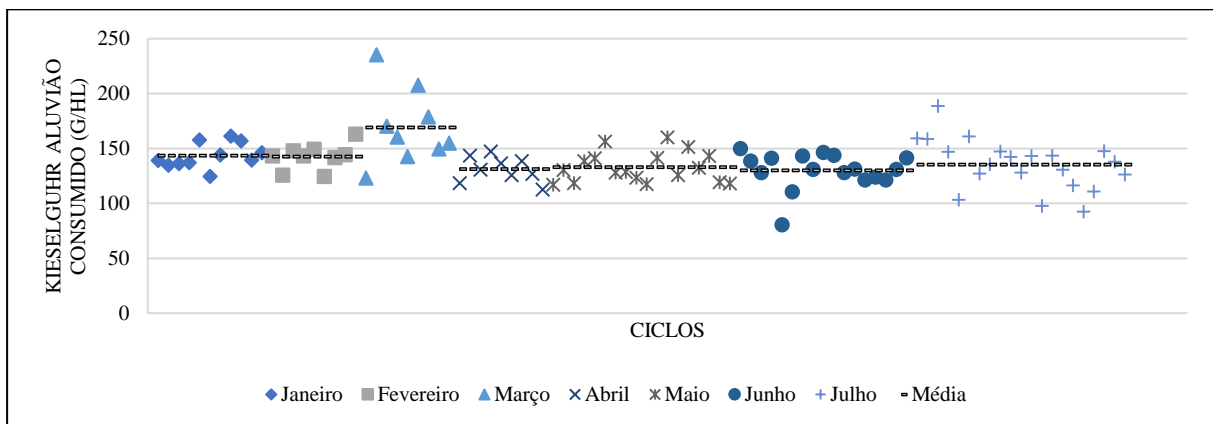


Figura B.11- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 1, em 2018

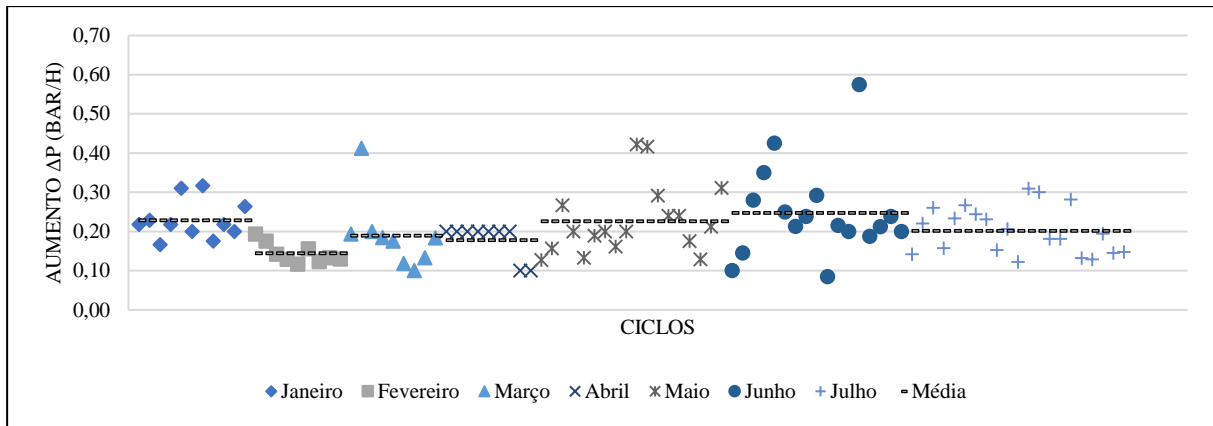


Figura B.12- Aumento da diferença de pressão por hora em cada ciclo no filtro 1, em 2018

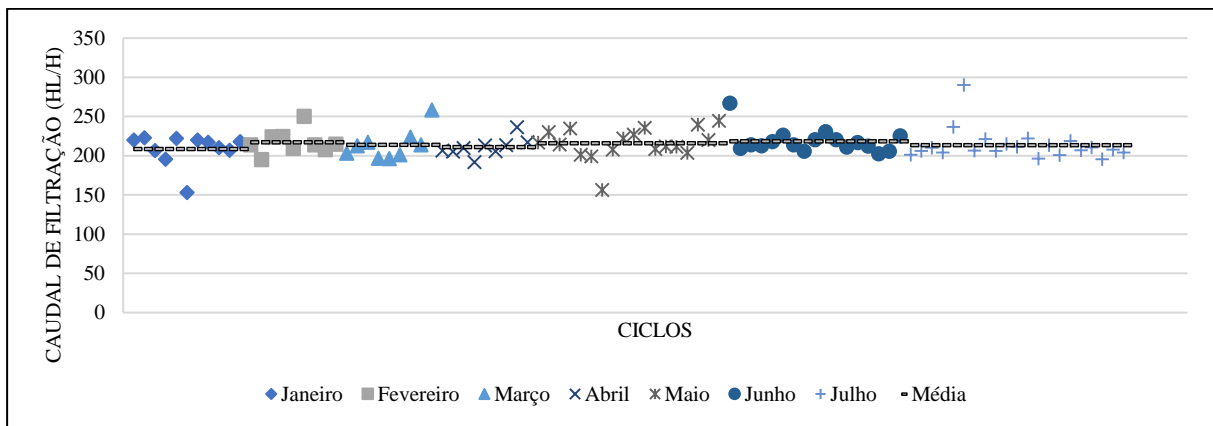


Figura B.13- Caudal de filtração por ciclo no filtro 1, em 2018

Os mesmos dados são organizados nas figuras B.15 a B.20, mas por alteração do fator  $k$ , promovida pela equipa. A figura B.14 apresenta o estudo para determinar a influencia do tempo passado em guarda no volume de cerveja filtrado – não conclusivo.

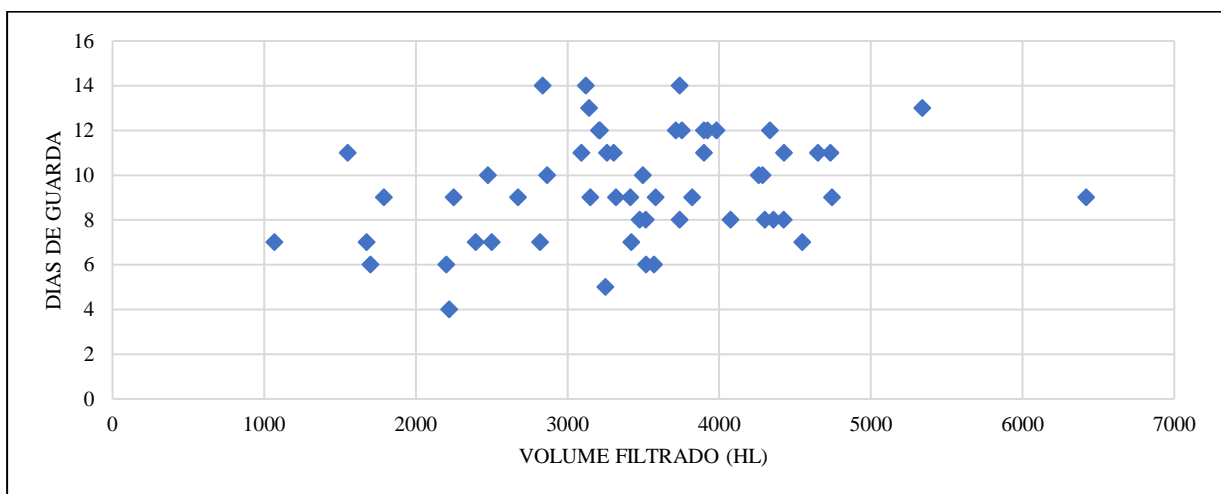


Figura B.14- Volume filtrado por dias de guarda no filtro 1, em 2018

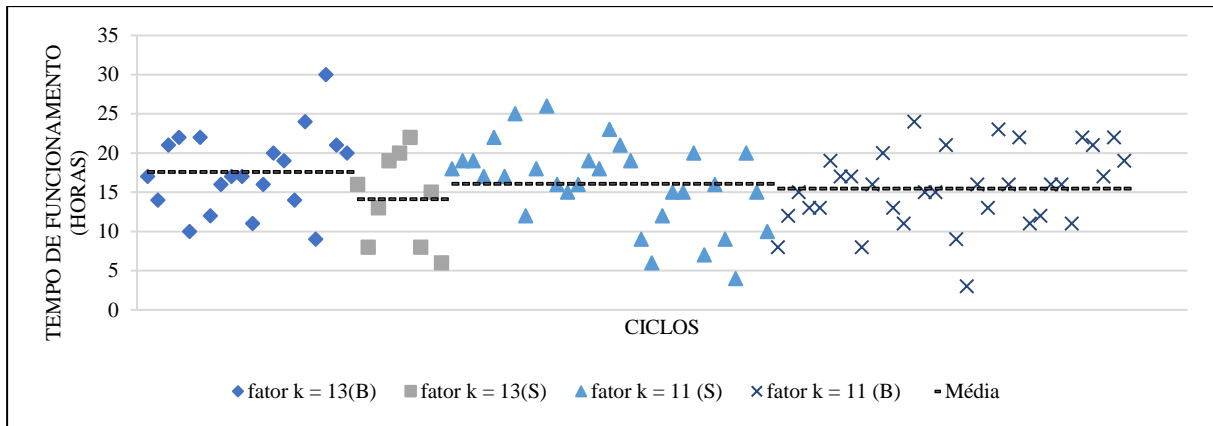


Figura B.15- Tempo de funcionamento em cada ciclo por ensaio do filtro 1, em 2018

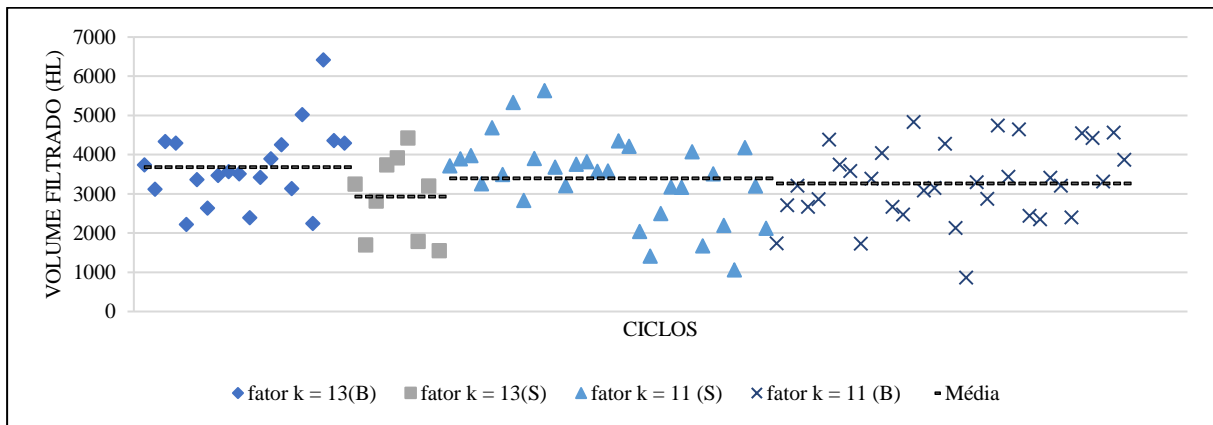


Figura B.16- Volume filtrado em cada ciclo por ensaio do filtro 1, em 2018

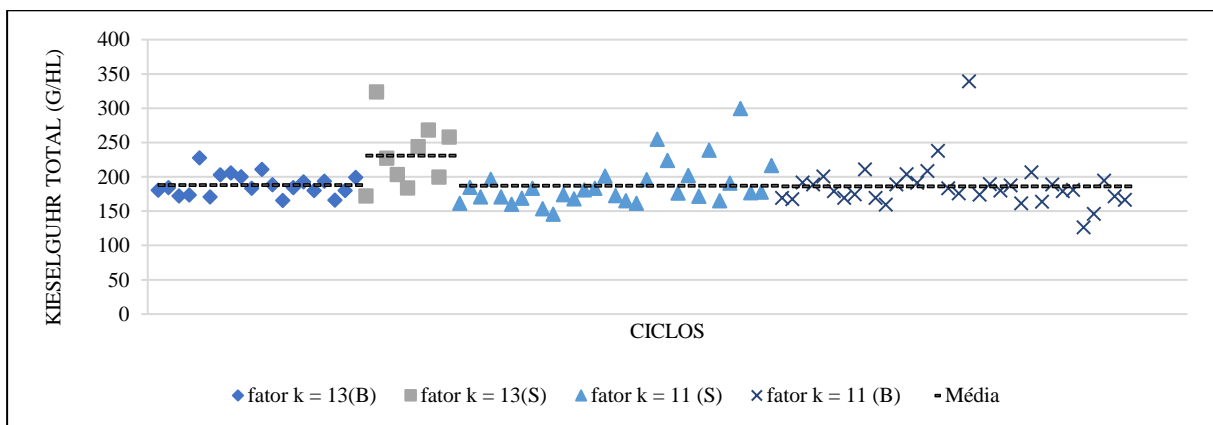


Figura B.17- Kieselguhr total consumido por ciclo em cada ensaio do filtro 1, em 2018

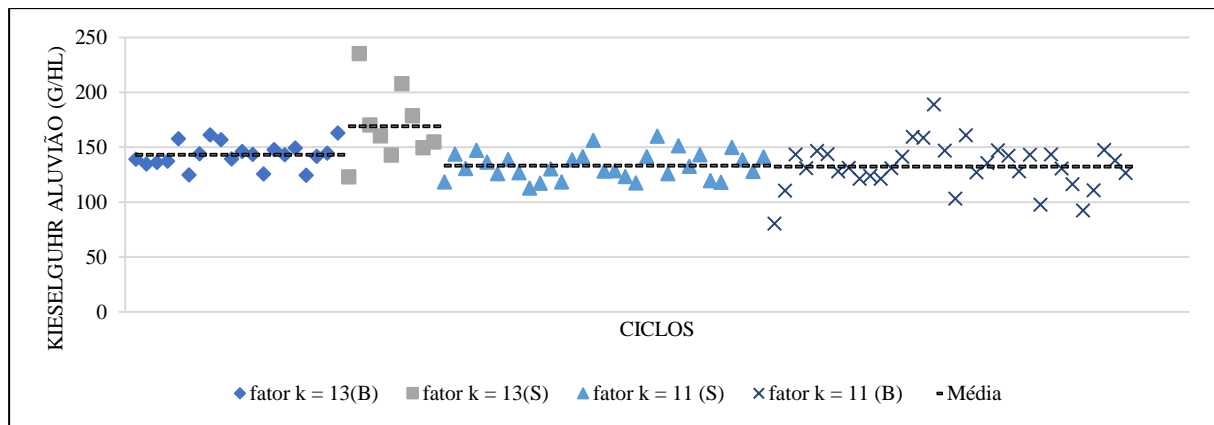


Figura B.18- Kieselerde consumido no aluvião por ciclo em cada ensaio no filtro 1, em 2018

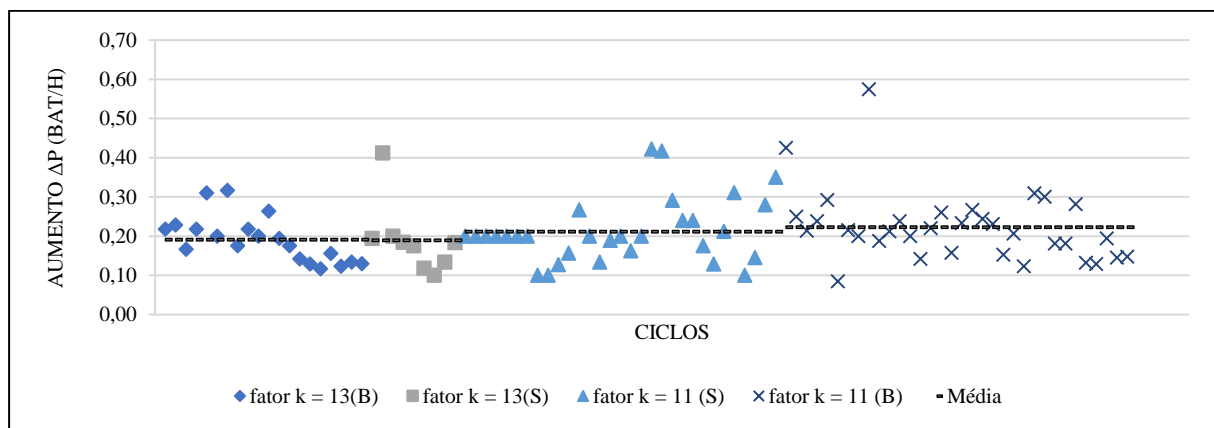


Figura B.19- Aumento do  $\Delta P$  por ciclo em cada ensaio no filtro 1, em 2018

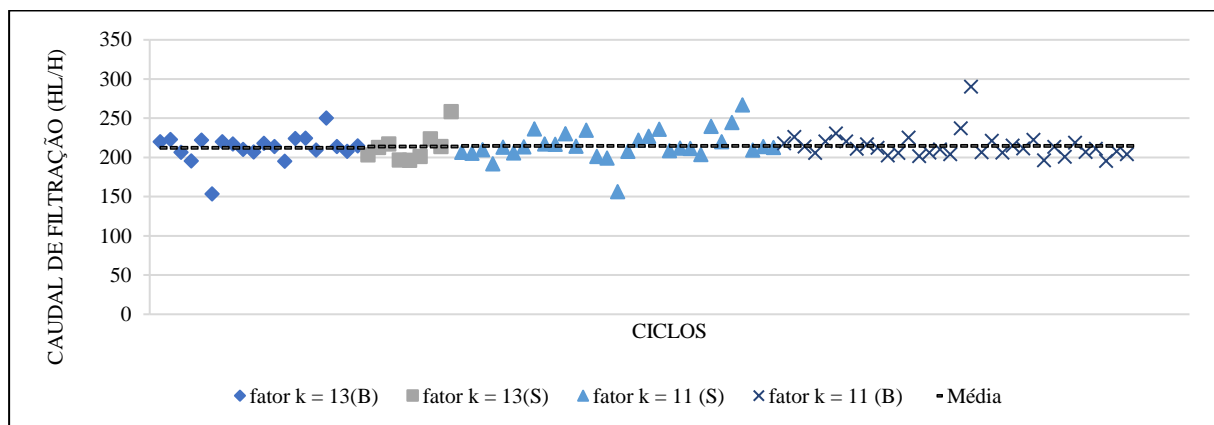


Figura B.20- Caudal de filtração em cada ciclo por ensaio no filtro 1, em 2018

Para determinar se a redução da quantidade de kieselguhr adicionada tem consequências na qualidade físico-química da cerveja, os valores da sua turvação foram analisados consoante as alterações feitas no filtro 1 (Tabela B.6) e também analisado o valor de turvação quando os tanques são cheios por dois filtros diferentes (Tabela B.7).

Tabela B.6- Média de turvação em cada ensaio do filtro 1 e número de TCF's de Cerveja X analisados, em 2018

Alterações Filtro 1	Média Turvação (EBC)	Nº de TCF's
fator k = 13(B)	0,41	60
fator k = 13(S)	0,43	26
fator k = 11 (S)	0,35	67
fator k = 11 (B)	0,37	75

Tabela B.7- Média de turvação e número de TCF's de Cerveja X cheios por combinações de filtros, em 2018

Combinação de Filtros	Média Turvação (EBC)	Nº TCF's
Filtro 1	0,39	228
Filtros 1+2	0,36	144
Filtros 1+3	0,35	178

Os mesmos valores de turvação são demonstrados individualmente em cada tanque cheio pelo filtro 1 e por combinações com este (figuras B.21 a B.23).

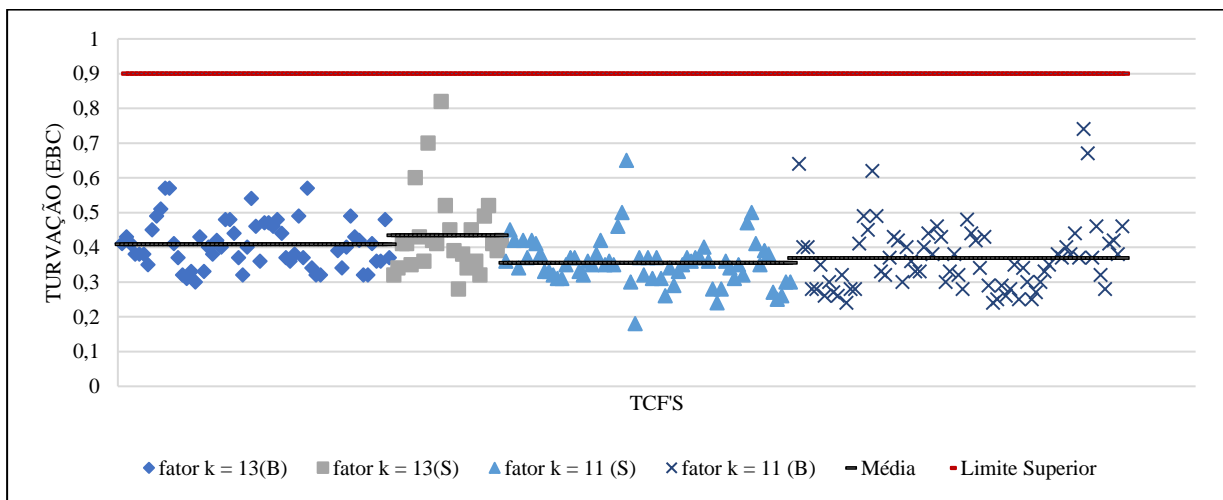


Figura B.21- Turvação por TCF de Cerveja X analisado em cada ensaio no filtro 1, em 2018

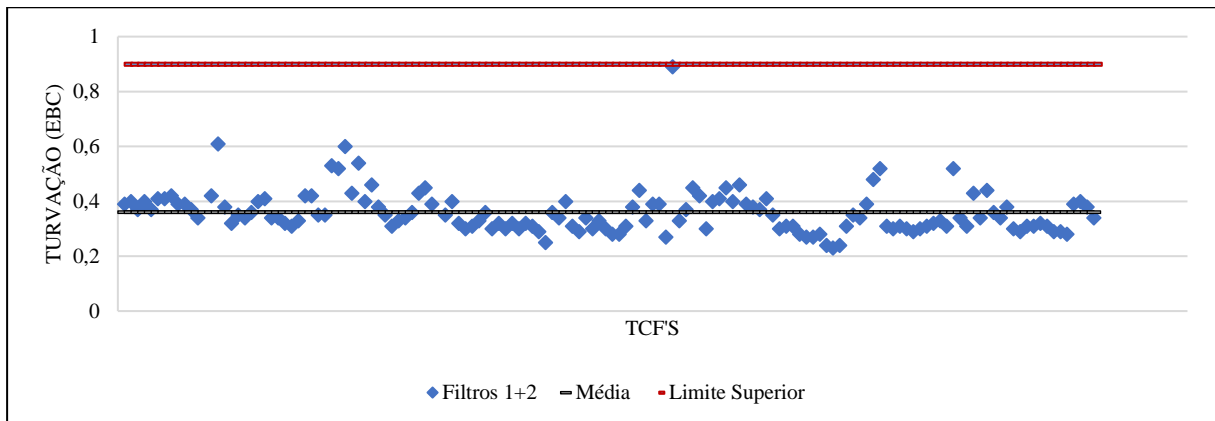


Figura B.22- Turvação por TCF de Cerveja X cheio por uma combinação entre Filtro 1 e Filtro 2, em 2018

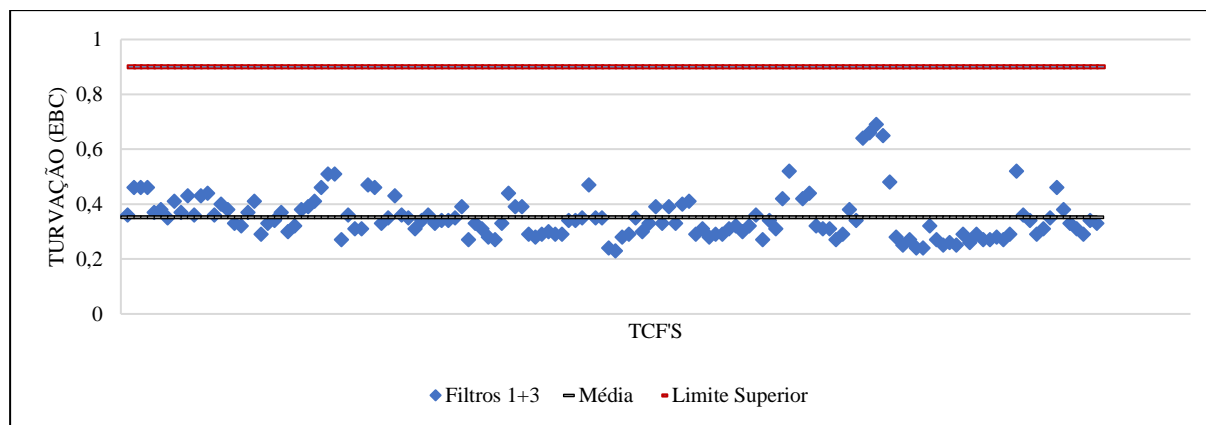


Figura B.23- Turvação por TCF de Cerveja X cheio por uma combinação entre filtro 1 e filtro 3, em 2018

Para determinar se a redução da quantidade de kieselguhr adicionada tem consequências na qualidade microbiológica da cerveja, os valores da sua contaminação foram analisados consoante as alterações feitas no filtro 1 (Tabela B.8) e também analisados os valores de contaminação microbiológica quando os tanques são cheios por dois filtros diferentes (Tabela B.9).

Tabela B.8- Análise Microbiológica no filtro 1 por ensaio, em 2018

<b>Microbiologia no filtro 1</b>	<b>fator k = 13(B)</b>	<b>fator k = 13(S)</b>	<b>fator k = 11 (S)</b>	<b>fator k = 11 (B)</b>
<i>Nº Análises Aeróbias</i>	8	4	4	7
<i>Falhas Aeróbias</i>	4	1	1	5
<i>Nº Análises Anaeróbias</i>	8	4	4	6
<i>Falhas Anaeróbias</i>	5	1	0	3
<i>Nº Análises Anaeróbios restritos</i>	8	4	4	6
<i>Falhas Anaeróbios restritos</i>	0	0	0	0

Tabela B.9- Microbiologia em tanques cheios por combinações, em 2018

<b>Microbiologia em diferentes combinações</b>	<b>Filtro 1</b>	<b>Filtros 1+2</b>	<b>Filtros 1+3</b>
<i>Nº Análises Aeróbias</i>	23	23	23
<i>Falhas Aeróbias</i>	11	7	9
<i>Nº Análises Anaeróbias</i>	22	20	23
<i>Falhas Anaeróbias</i>	9	6	4
<i>Nº Análises Anaeróbios restritos</i>	22	16	20
<i>Falhas Anaeróbios restritos</i>	0	0	0

## Apêndice C – Linha de Filtração II

Para realizar uma comparação válida é necessário observar o mesmo período de tempo porque as condições de produção de cerveja diferem ao longo do ano e por isso foi elaborado um estudo dos principais parâmetros de funcionamento do filtro 2 e kieselguhr consumido, no ano de 2017, apresentados mensalmente em baixo (Tabelas C.1 e C.2):

Tabela C.1- Parâmetros mensais do filtro 2, em 2017

Parâmetros monitorizados	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Horas de funcionamento	56	215	144	178
Volume Filtrado (hL)	12186	47418	31825	39711
Kieselguhr Consumido (Kg)	2415	9410	6858	8045
Kieselguhr Consumido (g/hL)	198	198	215	203
Kieselguhr Consumido (Aluvião)	1950	7240	4998	6340
Kieselguhr Consumido (Aluvião) (g/hL)	160	153	157	160
Aumento do $\Delta P$ (bar/h)	0,2	0,2	0,2	0,2
Caudal de entrada (hL/h)	218	221	221	223

Tabela C.2- Consumo dos diferentes tipos de kieselguhr mensalmente em 2017, no filtro 2

Tipos de kieselguhr	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
DIC (Kg)	225	1050	900	825
CBR (Kg)	1155	4460	3219	3830
CBL (Kg)	1035	3900	2739	3390

É também apresentado os mesmos parâmetros, mas nos seus valores individuais em cada ciclo de filtração do filtro 2 (em 2017), nas figuras C.1 a C.6:

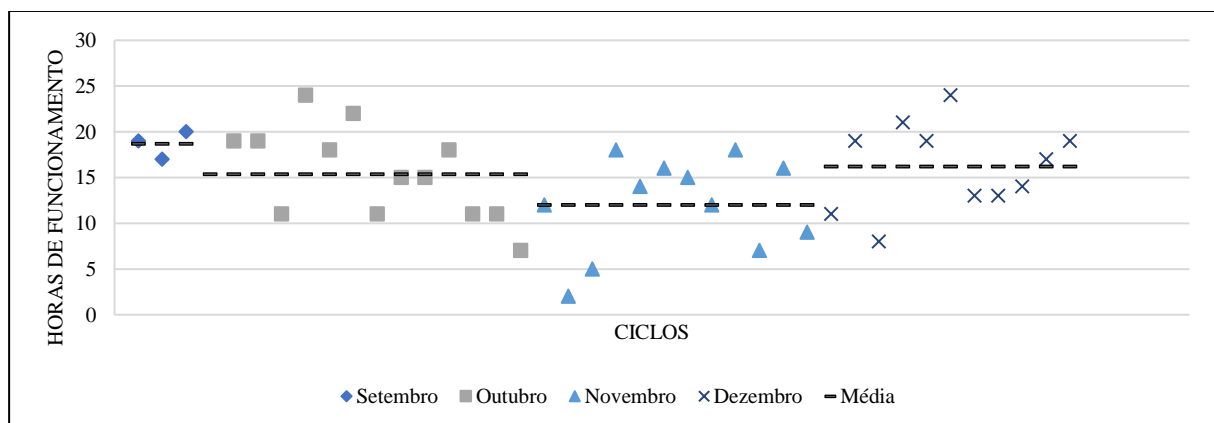


Figura C.1- Horas de funcionamento por ciclo no filtro 2, em 2017

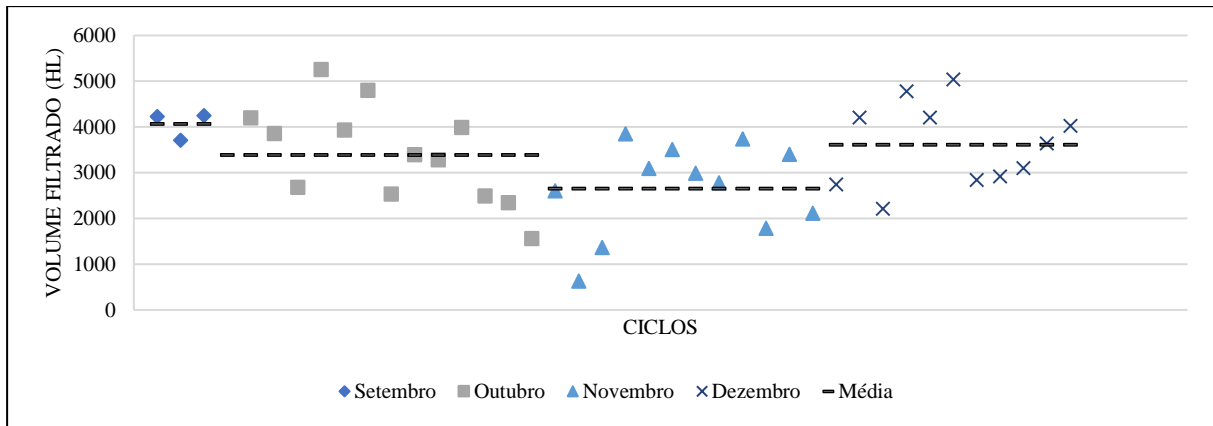


Figura C.2- Volume filtrado por ciclo no filtro 2, em 2017

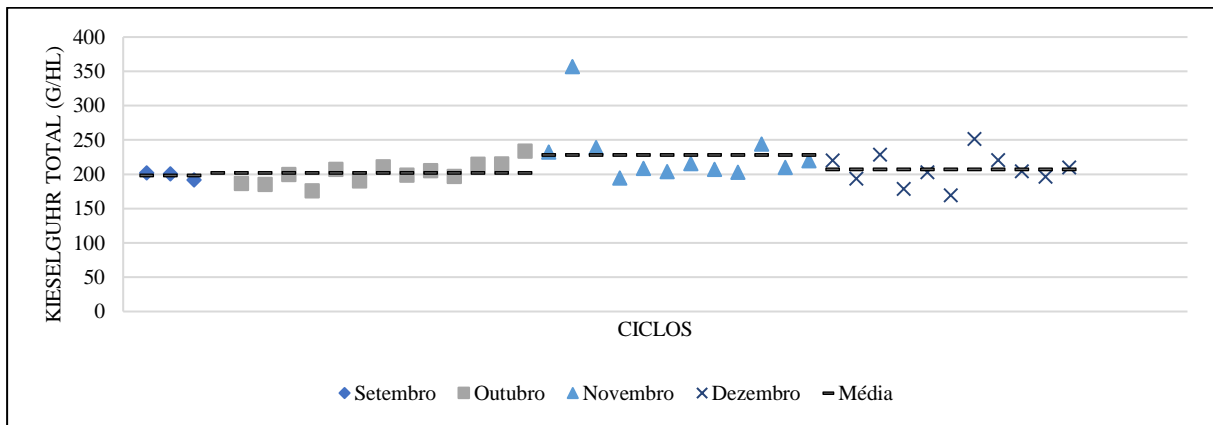


Figura C.3- Kieselguhr total consumido por ciclo no filtro 2, em 2017

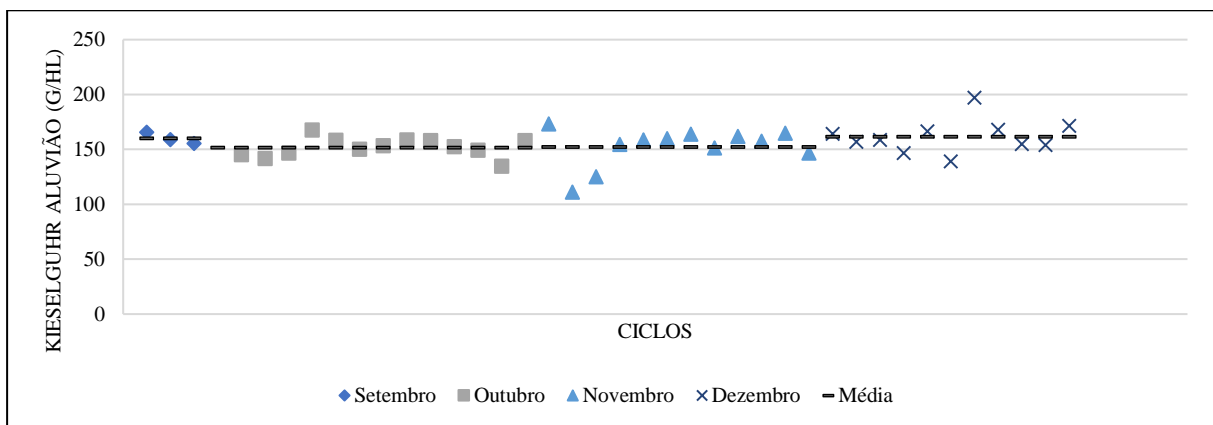


Figura C.4- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 2, em 2017



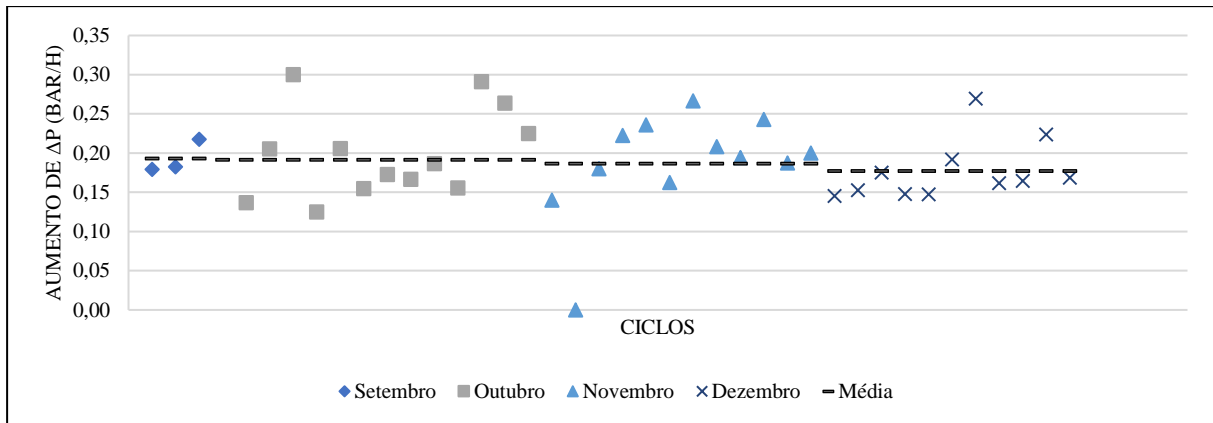


Figura C.5- Aumento de  $\Delta P$  por ciclo no filtro 2, em 2017

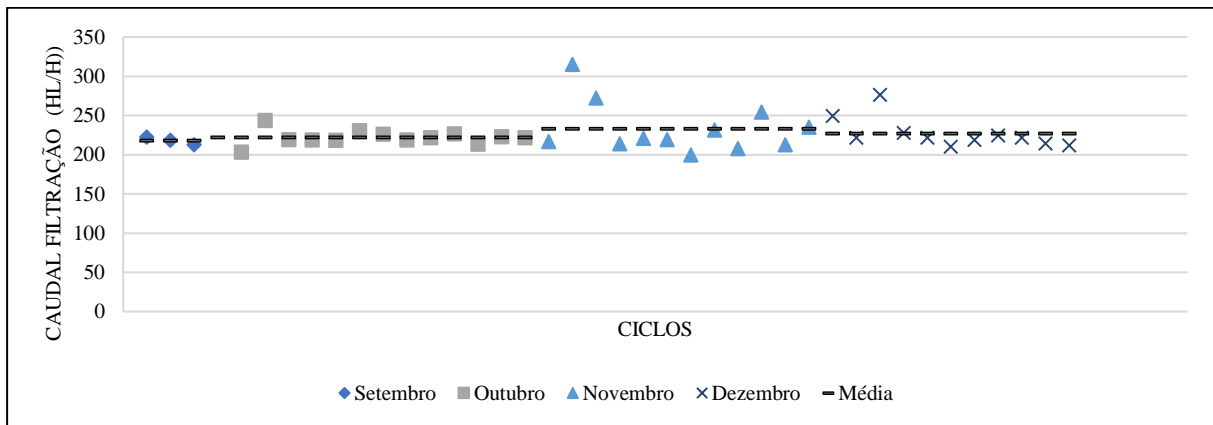


Figura C.6- Caudal de Filtração por ciclo no filtro 2, em 2017

Ao longo dos estudos efetuados pela equipa, foi realizado o acompanhamento mensal de todos os parâmetros de funcionamento do filtro 2, do consumo de kieselguhr e do valor de k (Tabelas C.3 a C.5), sendo condensados os principais parâmetros na figura C.7.

Tabela C.3- Parâmetros monitorizados mensalmente no filtro 2, em 2018

Parâmetros monitorizados	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho
Horas de funcionamento	223	172	173	253	302	283	258
Volume Filtrado (hL)	48740	39220	37436	53913	64626	60673	55548
Kieselguhr Consumido (Kg)	9240	7130	8530	9480	11910	11500	10045
Kieselguhr Consumido (g/hL)	190	182	228	176	184	190	181
Kieselguhr Consumido (Aluvião)	7380	5735	6780	7540	9030	8675	7720
Kieselguhr Consumido (Aluvião) (g/hL)	151	146	181	140	140	143	139
Aumento do $\Delta P$ (bar/h)	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Caudal de entrada (hL/h)	219	228	216	213	214	214	215

Tabela C.4- Consumo de diferentes tipos de kieselguhr mensalmente em 2018

Tipos de kieselguhr	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho
DIC (Kg)	900	675	880	960	1440	1385	1125
CBR (Kg)	4410	3408	3980	4480	5620	5437	4765
CBL (Kg)	3930	3048	3670	4020	4850	4678	4155

Tabela C.5- Valor do fator k e duração média do tanque de aluvião no filtro 2, em 2018

Fase aluvião	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho
Fator k	15	15	15 / 13	13 / 12	12	12	12
Duração de tanque (h)	2,1	2,0	2,0	2,5	2,4	2,3	2,3

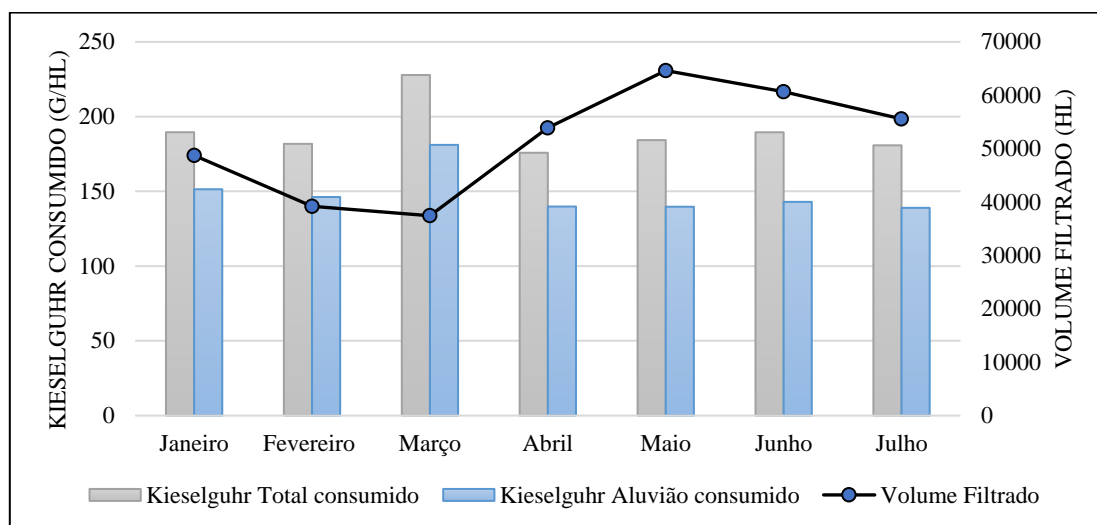


Figura C.7- Volume filtrado e kieselguhr consumido no filtro 2, em 2018

É também apresentado os mesmos parâmetros de funcionamento, mas nos seus valores individuais em cada ciclo de filtração do filtro 2 (em 2018), nas figuras C.8 a C.13:

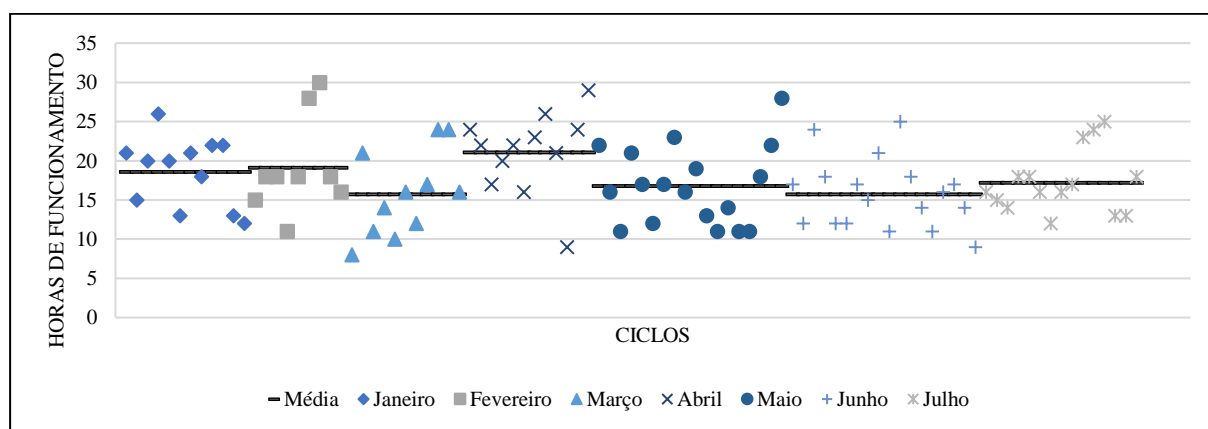


Figura C.8- Horas de funcionamento por ciclo no filtro 2, em 2018

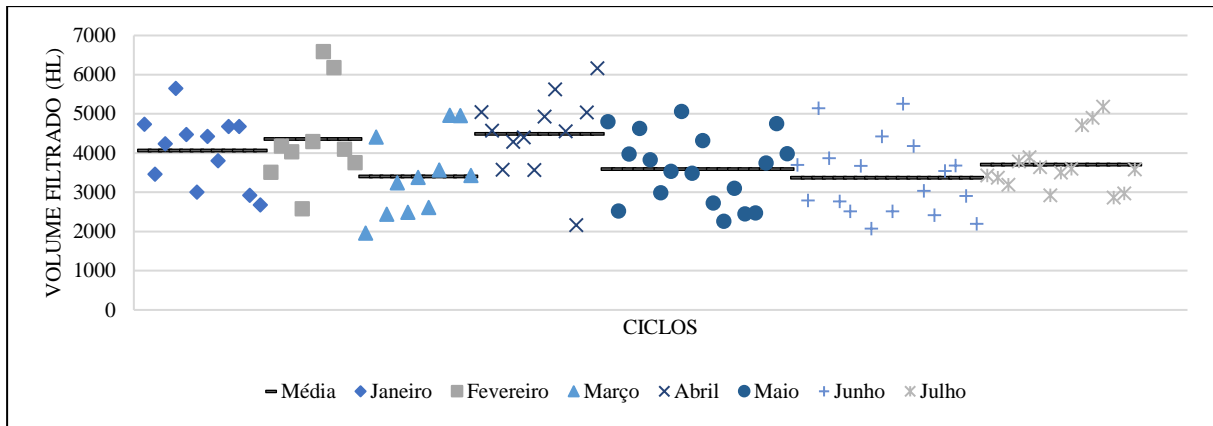


Figura C.9- Volume filtrado por ciclo no filtro 2, em 2018

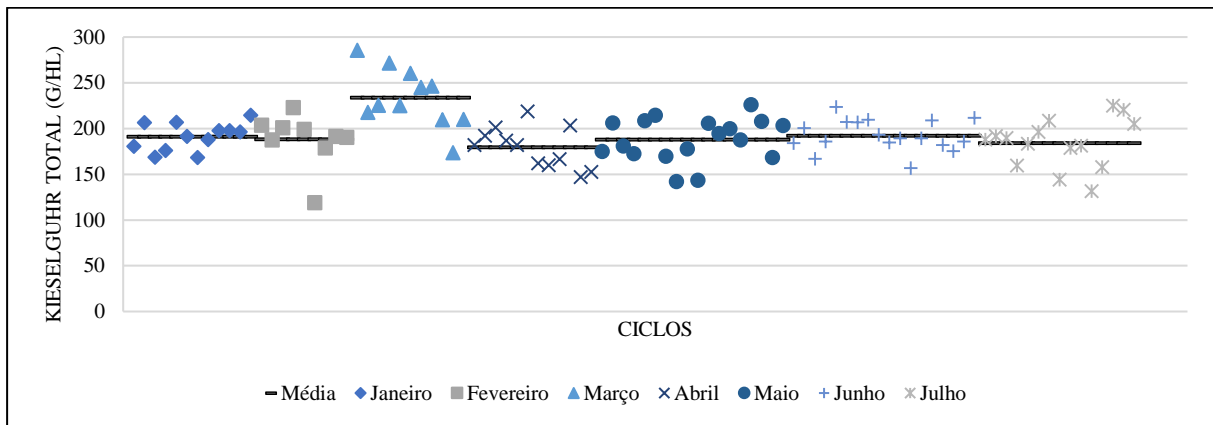


Figura C.10- Kieselerde total consumido por ciclo no filtro 2, em 2018

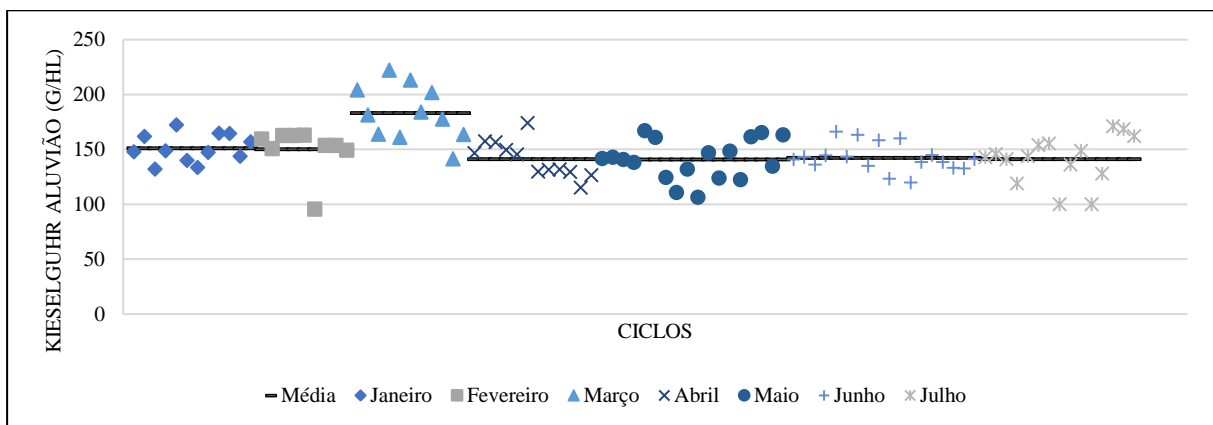


Figura C.11- Kieselerde consumido no aluvião por ciclo no filtro 2, em 2018

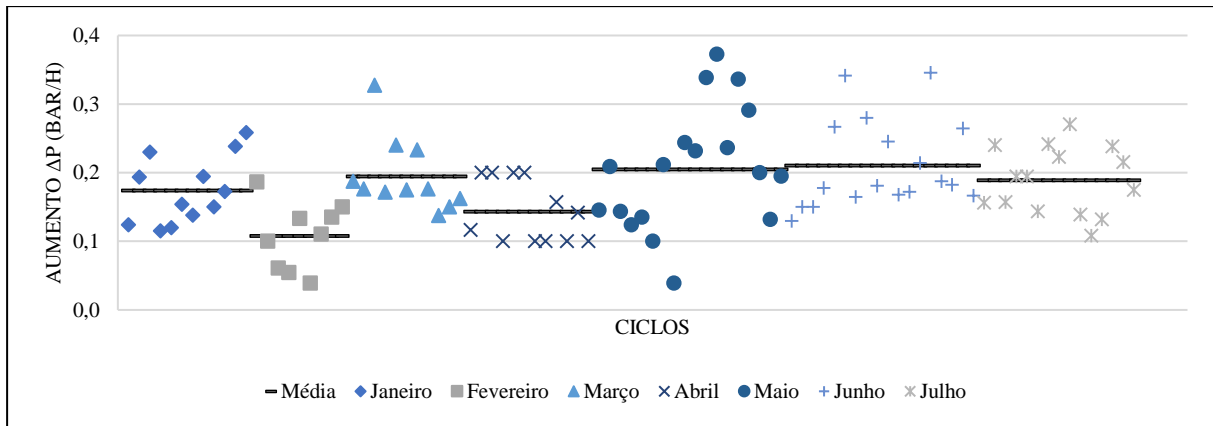


Figura C.12- Aumento do  $\Delta P$  por ciclo no filtro 2, em 2018

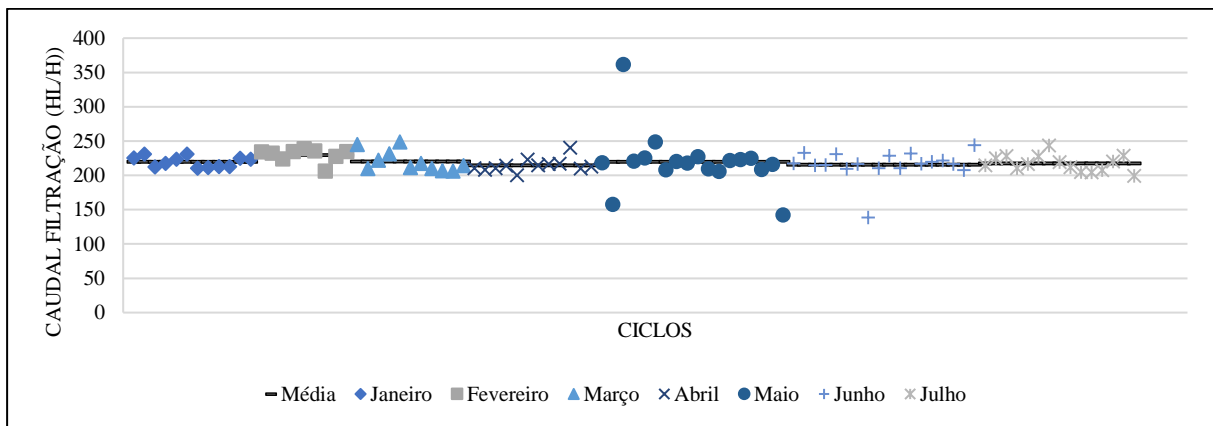


Figura C.13- Caudal de Filtração por ciclo no filtro 2, em 2018

Os mesmos dados são organizados nas figuras C.15 a C.20, mas por alteração do fator k, promovida pela equipa. A figura C.14 apresenta o estudo para determinar a influencia do tempo passado em guarda no volume de cerveja filtrado – não conclusivo.

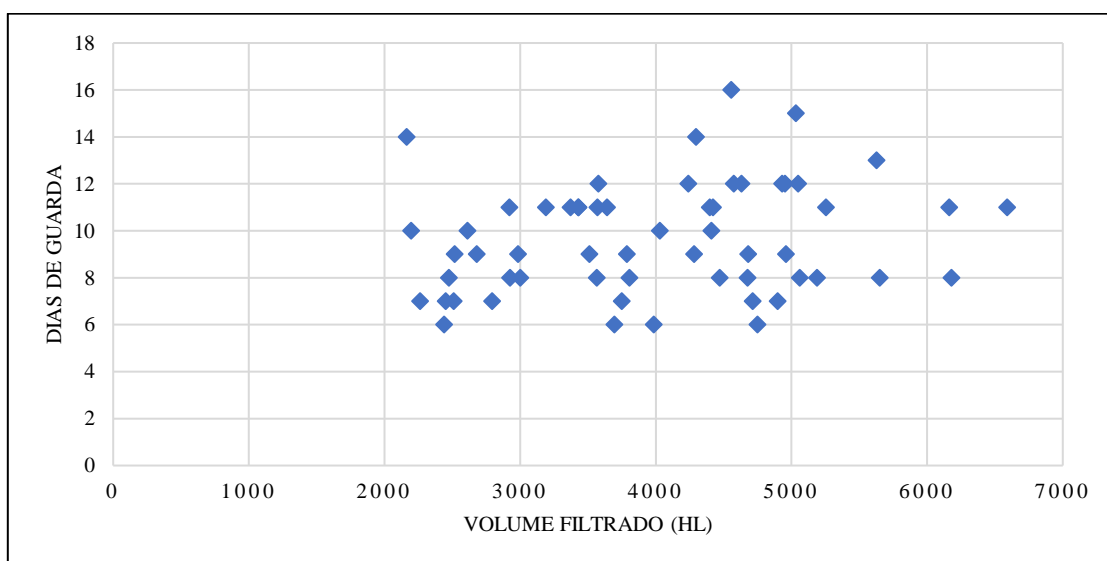


Figura C.14- Dias de guarda por volume filtrado no filtro 2, em 2018

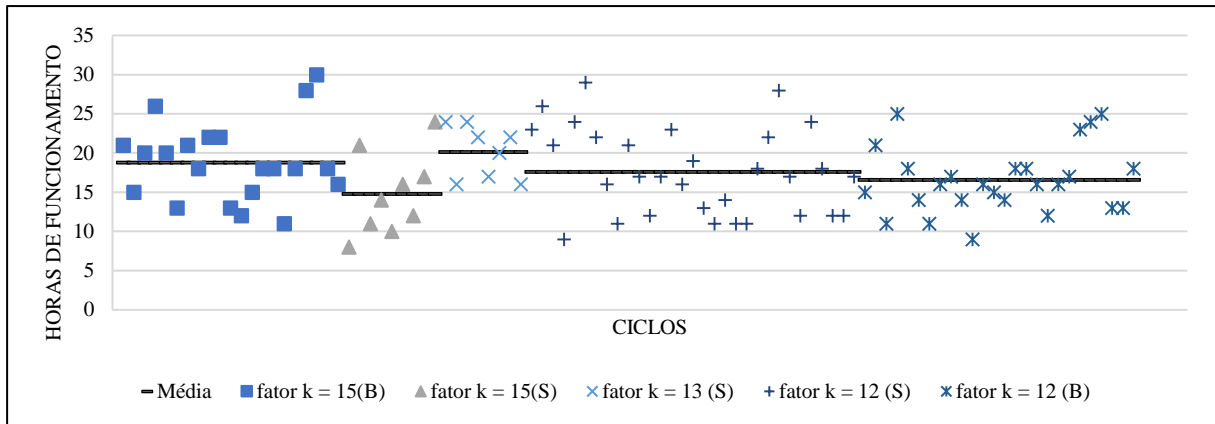


Figura C.15- Horas de funcionamento de cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018

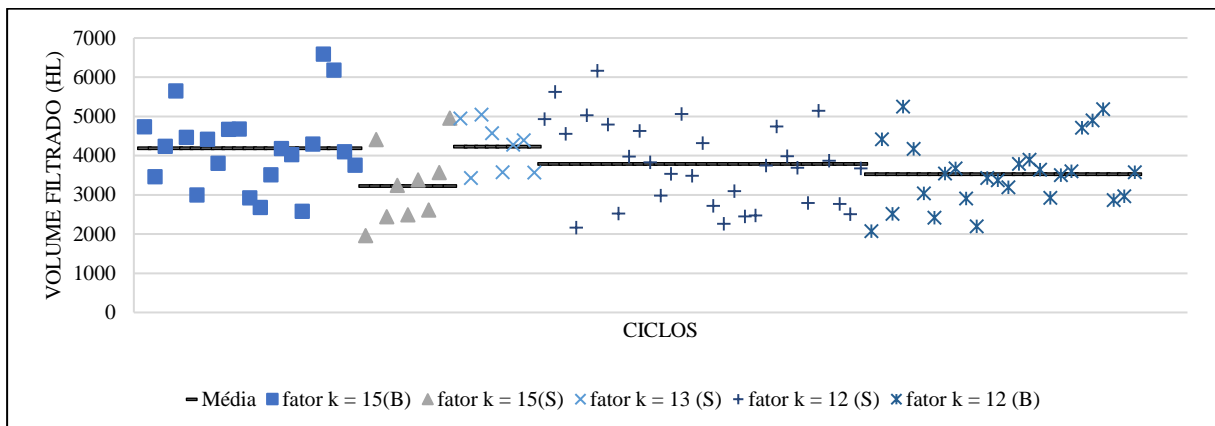


Figura C.16- Volume filtrado de cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018

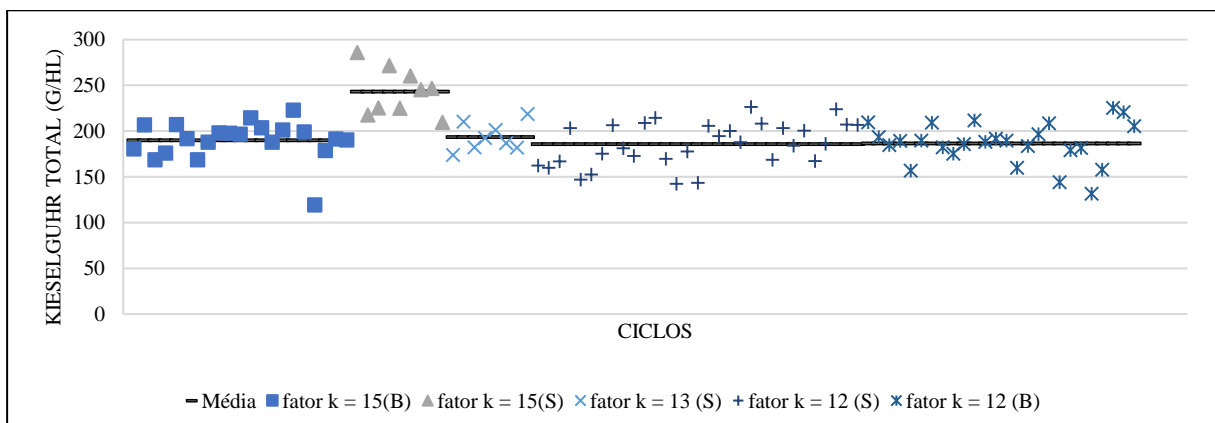


Figura C.17- Kieselguhr total consumido em cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018

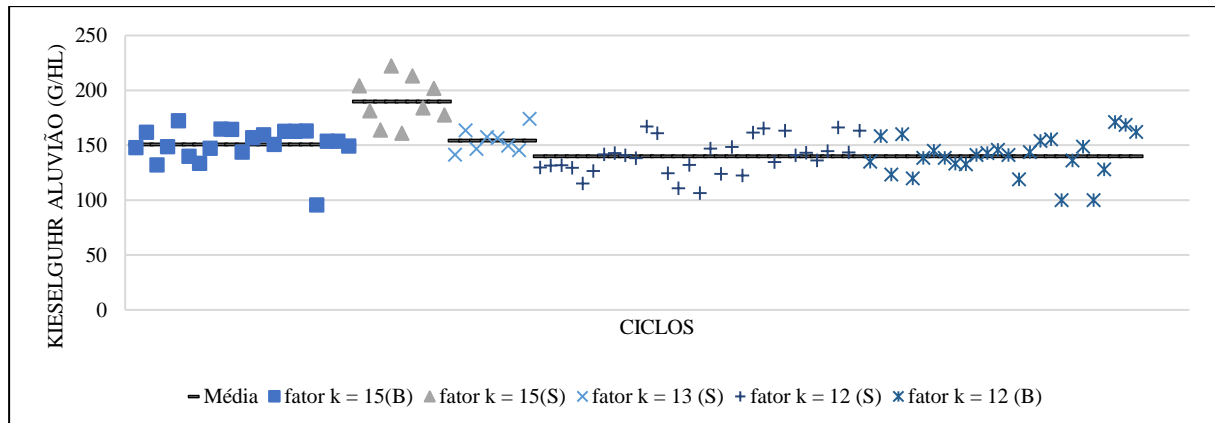


Figura C.18- Kieseluhr consumido no aluvião em cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018

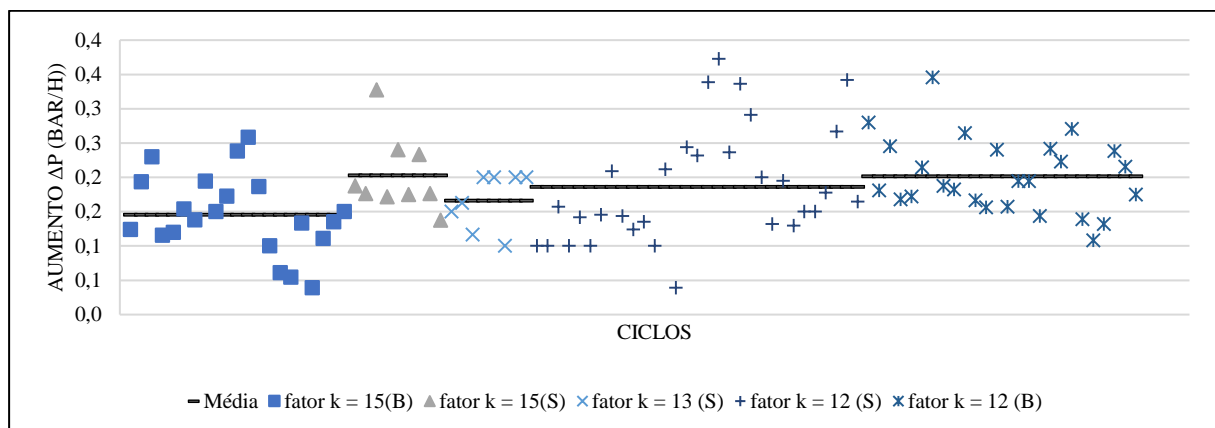


Figura C.19- Aumento do  $\Delta P$  em cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018

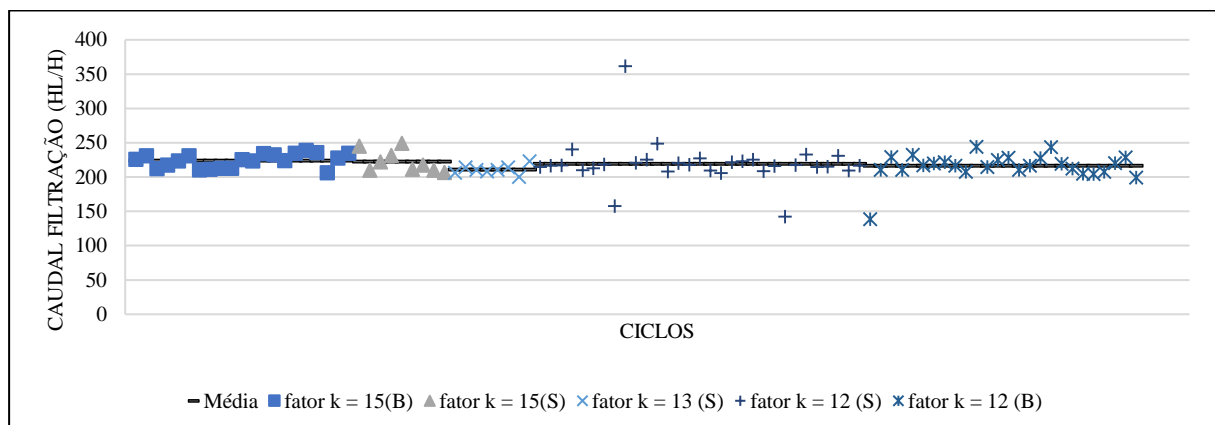


Figura C.20- Caudal de filtração em cada ciclo por ensaio no filtro 2, em 2018

Para determinar se a redução da quantidade de kieselguhr adicionada tem consequências na qualidade físico-química da cerveja, os valores da sua turvação foram analisados consoante as alterações feitas no filtro 2 (Tabela C.6) e também analisado o valor de turvação quando os tanques são cheios por dois filtros diferentes (Tabela C.7).

Tabela C.6- Média de turvação em cada ensaio do filtro 2 e número de TCF's de Cerveja X analisados em 2018

<i>Alterações Filtro 2</i>	<i>Média Turvação (EBC)</i>	<i>Nº de TCF's</i>
<i>fator k = 15(B)</i>	0,41	78
<i>fator k = 15(S)</i>	0,41	32
<i>fator k = 13 (S)</i>	0,40	17
<i>fator k = 12 (S)</i>	0,35	77
<i>fator k = 12 (B)</i>	0,36	55

Tabela C.7- Média de turvação e número de TCF's de Cerveja X cheios por combinações de filtros, em 2018

<i>Combinação de Filtros</i>	<i>Média Turvação (EBC)</i>	<i>Nº de TCF's</i>
<i>Filtro 2</i>	0,39	259
<i>Filtros 2+1</i>	0,36	144
<i>Filtros 2+3</i>	0,37	233

Os mesmos valores de turvação são demonstrados individualmente em cada tanque cheio pelo filtro 2 e por combinações com este (figuras C.21 e C.22).

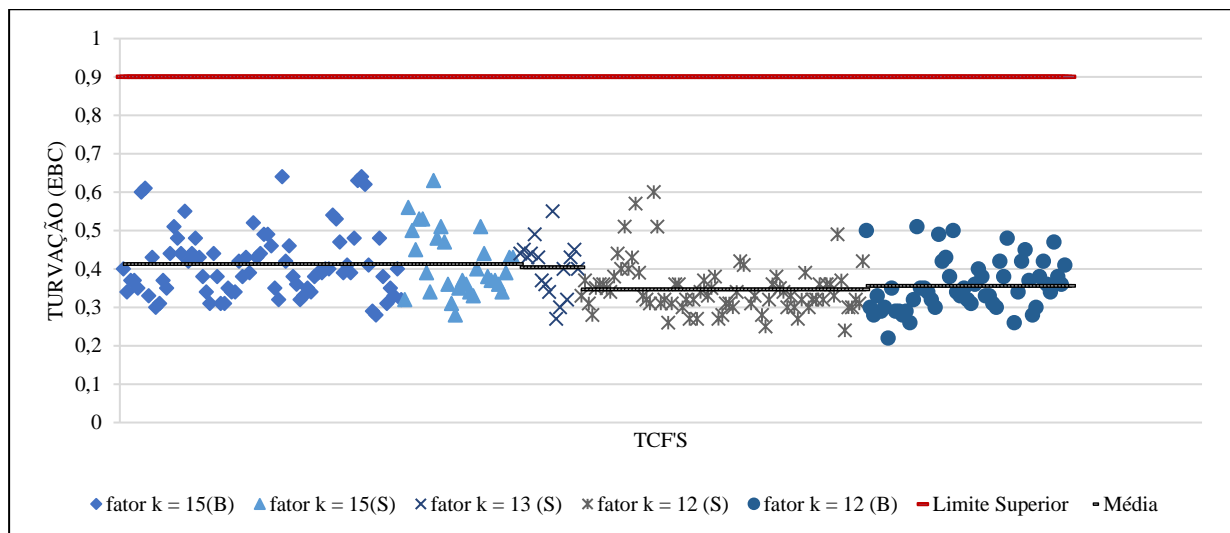


Figura C.21- Turvação em cada TCF cheio pelo filtro 2 de Cerveja X por ensaio, em 2018

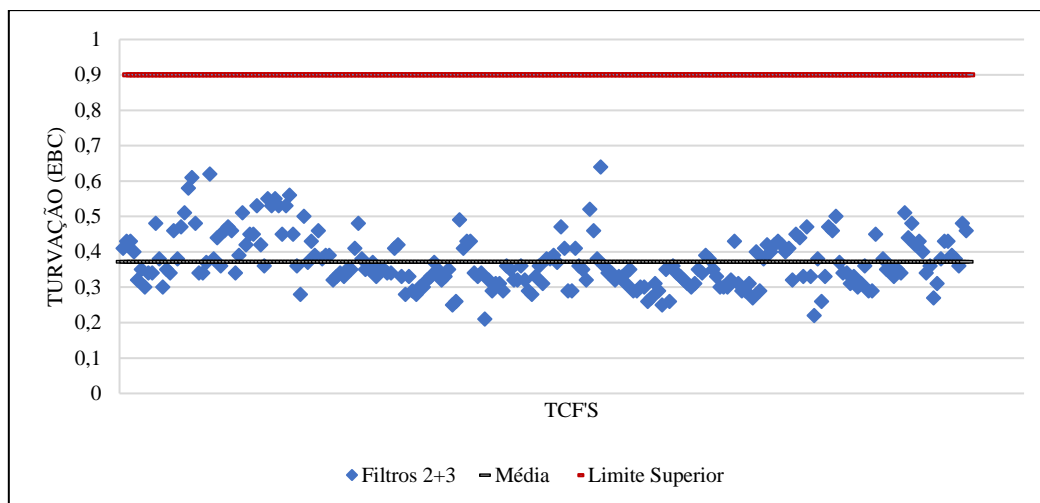


Figura C.22- Turvação de cada TCF analisado cheio por uma combinação do filtro 2 e 3 de Cerveja X, em 2018

Para determinar se a redução da quantidade de kieselguhr adicionada tem consequências na qualidade microbiológica da cerveja, os valores da sua contaminação foram analisados consoante as alterações feitas no filtro 2 (Tabela C.8) e também analisados os valores de contaminação microbiológica quando os tanques são cheios por dois filtros diferentes (Tabela C.9).

Tabela C.8- Análise Microbiológica no filtro 2 por ensaio, em 2018

Microbiologia no filtro 2	fator k = 15(B)	fator k = 15(S)	fator k = 13 (S)	fator k = 12 (S)	fator k = 12 (B)
Nº Análises Aeróbias	22	9	6	12	11
Falhas Aeróbias	8	2	4	6	4
Nº Análises Anaeróbias	22	8	6	12	10
Falhas Anaeróbias	6	0	1	1	0
Nº Análises Anaer. restritos	21	8	6	11	8
Falhas Anaeróbios restritos	0	0	0	0	0

Tabela C.9- Microbiologia de tanques cheios por combinações, em 2018

Microbiologia de diferentes combinações	Total Filtro 2	Filtros 2+1	Filtros 2+3
Nº Análises Aeróbias	60	23	21
Falhas Aeróbias	24	7	3
Nº Análises Anaeróbias	58	20	21
Falhas Anaeróbias	11	6	0
Nº Análises Anaeróbios restritos	54	16	19
Falhas Anaeróbios restritos	0	0	1



## Apêndice D – Linha de filtração III

Para realizar uma comparação válida é necessário observar o mesmo período de tempo porque as condições de produção de cerveja diferem ao longo do ano e por isso foi elaborado um estudo dos principais parâmetros de funcionamento do filtro 3 e kieselguhr consumido, no ano de 2017, apresentados mensalmente em baixo (Tabelas D.1 e D.2):

Tabela D.1- Parâmetros monitorizados mensalmente no filtro 3, em 2017

Parâmetros monitorizados	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho
Horas de funcionamento	235	175	246	283	381	356	388
Volume Filtrado (hL)	50781	37785	52339	61030	82725	78545	85104
Kieselguhr Consumido (Kg)	9545	6687	9772	11794	15927	15100	16834
Kieselguhr Consumido (g/hL)	188	177	187	193	193	192	198
Kieselguhr Consumido (Aluvião)	7375	5137	7292	9159	12672	11535	13579
Kieselguhr Consumido (Aluvião) (g/hL)	145	136	139	150	153	147	160
Aumento $\Delta P$ (bar/h)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
Caudal de entrada (hL/h)	216	215	213	217	216	220	220

Tabela D.2- Consumo dos diferentes tipos de kieselguhr no filtro 3, em 2017

Tipos de kieselguhr	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho
DIC (Kg)	1050	750	1200	1275	1575	1725	1575
CBR (Kg)	3848	3145	4612	5319	7591	7112	8067
CBL (Kg)	3927	2792	3960	5200	6761	6263	7192

É também apresentado os mesmos parâmetros, mas nos seus valores individuais em cada ciclo de filtração do filtro 3 (em 2017), nas figuras D.1 a D.6:

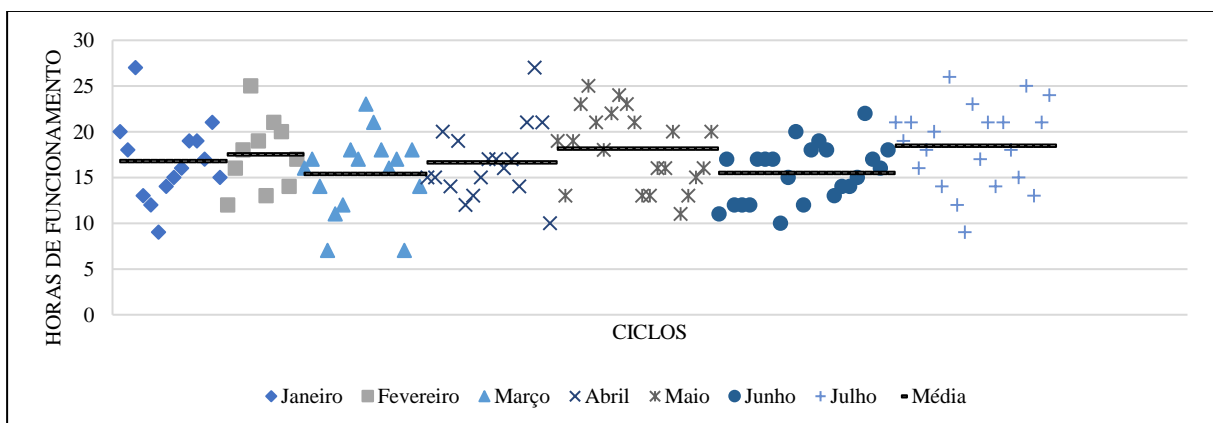


Figura D.1- Horas de funcionamento por ciclo no filtro3, em 2017

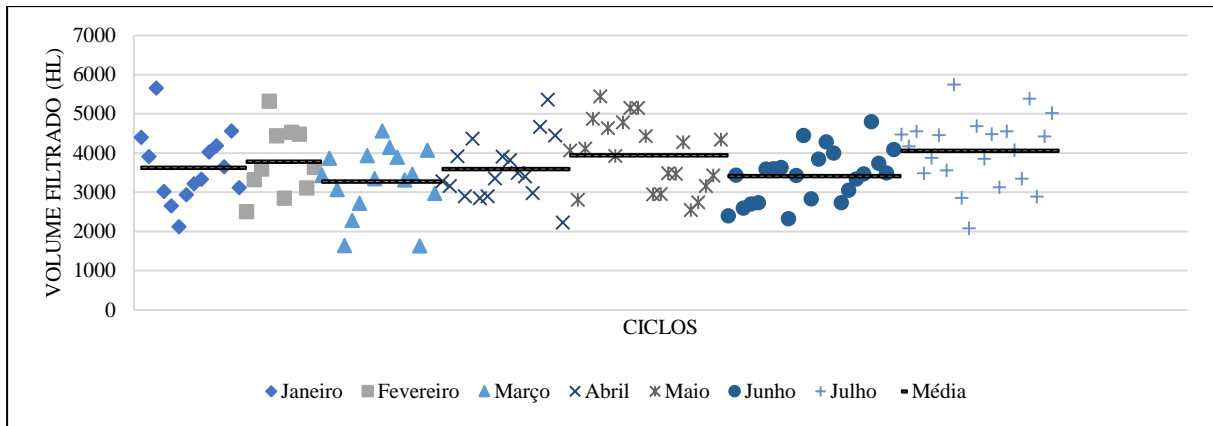


Figura D.2- Volume filtrado por ciclo no filtro 3, em 2017

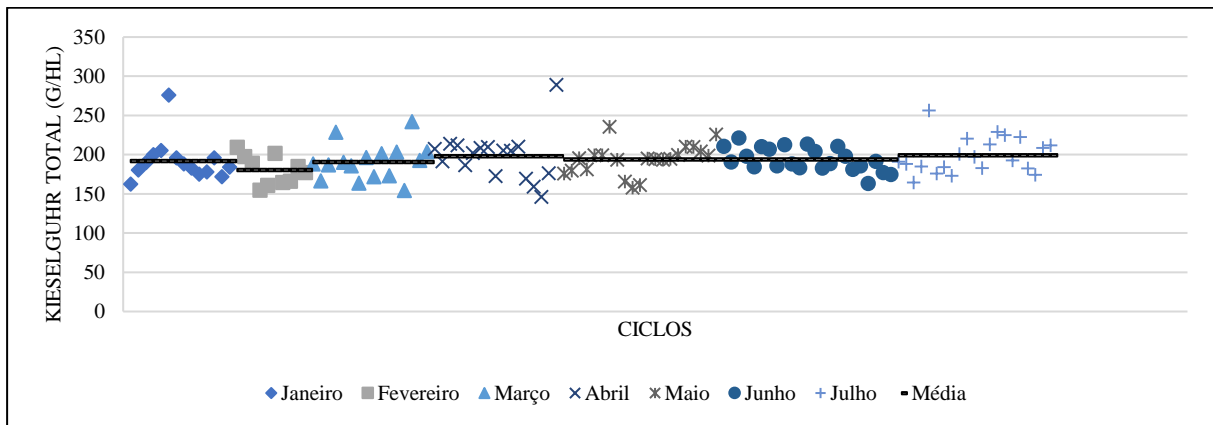


Figura D.3- Kieseluhr total consumido por ciclo no filtro 3, em 2017

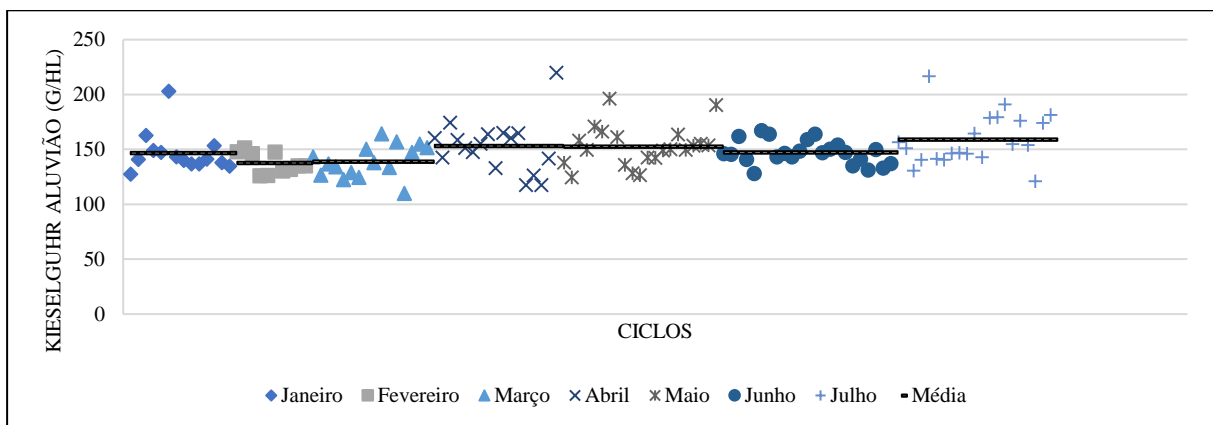


Figura D.4- Kieseluhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 3, em 2017

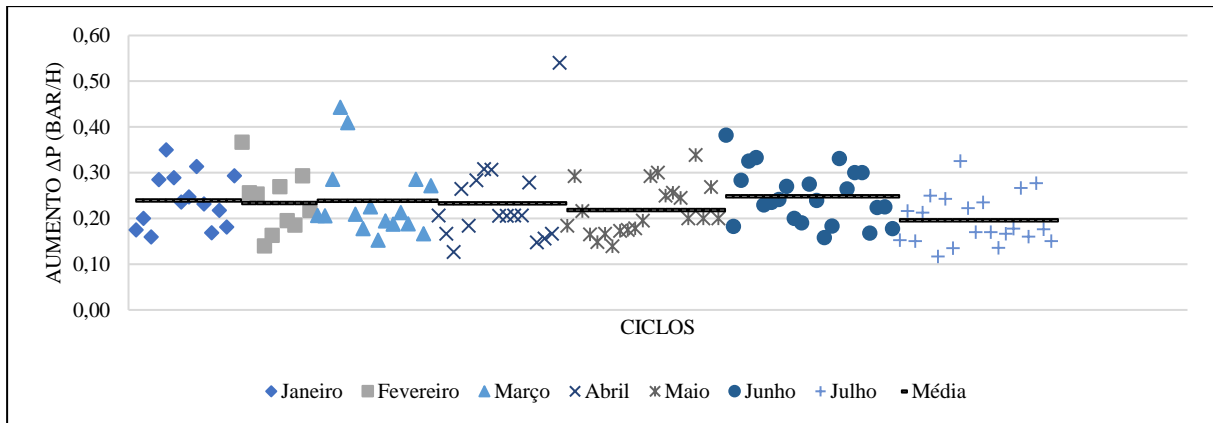


Figura D.5- Aumento do  $\Delta P$  por ciclo no filtro 3, em 2017

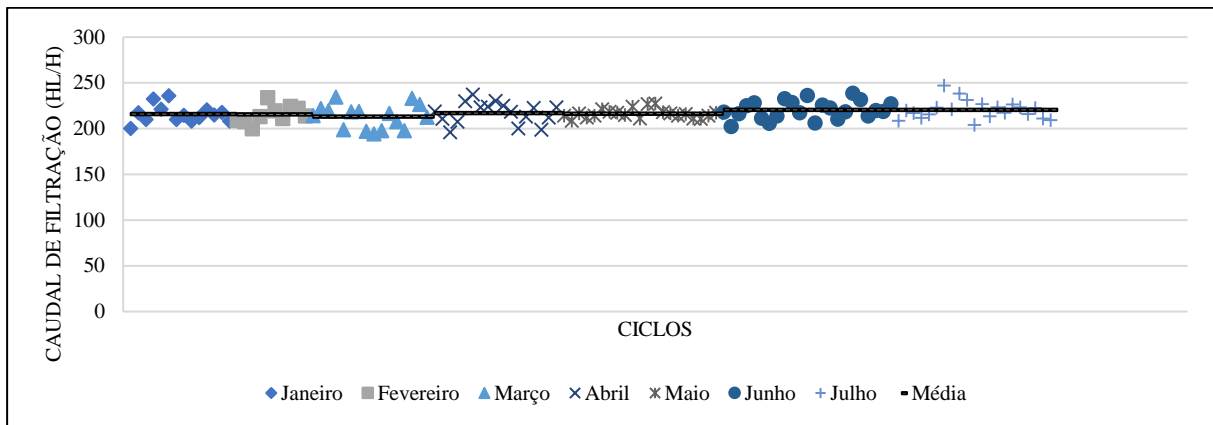


Figura D.6- Caudal de filtração por ciclo no filtro 3, em 2017

Ao longo dos estudos efetuados pela equipa, foi realizado o acompanhamento mensal de todos os parâmetros de funcionamento do filtro 3, do consumo de kieselguhr e do valor de  $k$  (Tabelas D.3 a D.5), sendo condensados os principais parâmetros na figura D.7.

Tabela D.3- Parâmetros monitorizados mensalmente no filtro 3, em 2018

Parâmetros monitorizados	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho
Horas de funcionamento	260	181	206	272	322	332	316
Volume Filtrado (hL)	56815	41255	44036	59206	69507	74383	68347
Kieselguhr Consumido (Kg)	10620	7330	9580	10680	12500	14408	11793
Kieselguhr Consumido (g/hL)	187	178	218	180	180	194	173
Kieselguhr Consumido (Aluvião)	8140	5780	7680	8465	9780	10963	9158
Kieselguhr Consumido (Aluvião) (g/hL)	143	140	174	143	141	147	134
Aumento $\Delta P$ (bar/h)	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
Caudal de entrada (hL/h)	220	231	214	218	217	224	217

Tabela D.4- Consumo dos diferentes tipos de kieselguhr no filtro 3, em 2018

Tipos de kieselguhr	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho
DIC (Kg)	1200	750	960	1120	1360	1685	1275
CBR (Kg)	5030	3490	4480	5080	5980	6822	5631
CBL (Kg)	4390	3090	4140	4480	5160	5902	4887

Tabela D.5- Fator k e consequente duração de um tanque de aluvião mensalmente no filtro 3, em 2018

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho
fator k	15	15	15	15 / 13	13	13 / 15	15 / 12
Duração de Tanque	2,2	2,1	2,1	2,3	2,5	2,1	2,5

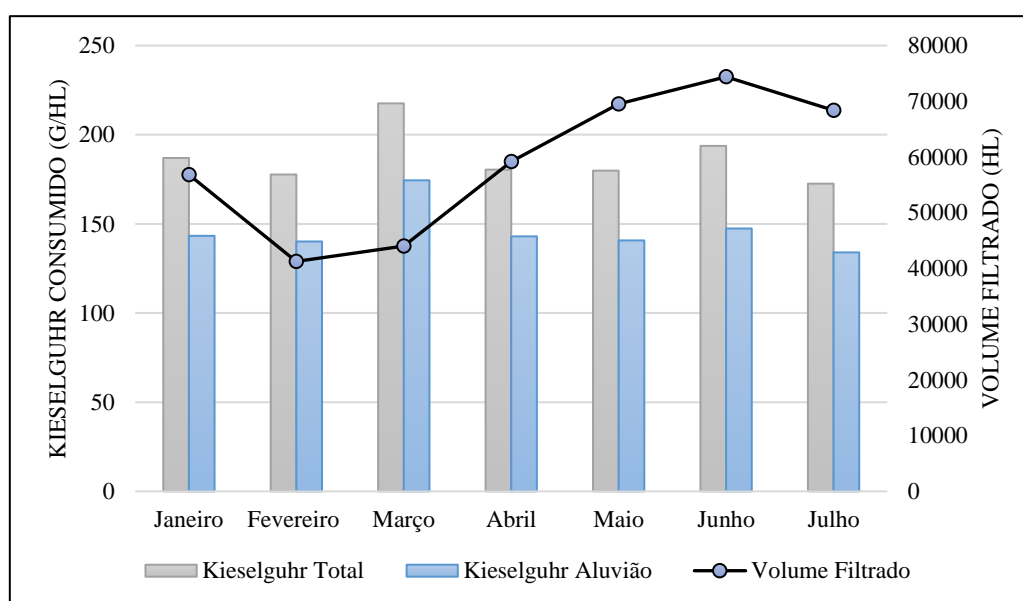


Figura D.7- Volume Filtrado e kieselguhr consumido mensalmente no filtro 3, em 2018

É também apresentado os mesmos parâmetros de funcionamento, mas nos seus valores individuais em cada ciclo de filtração do filtro 3 (em 2018), nas figuras D.8 a D.13:

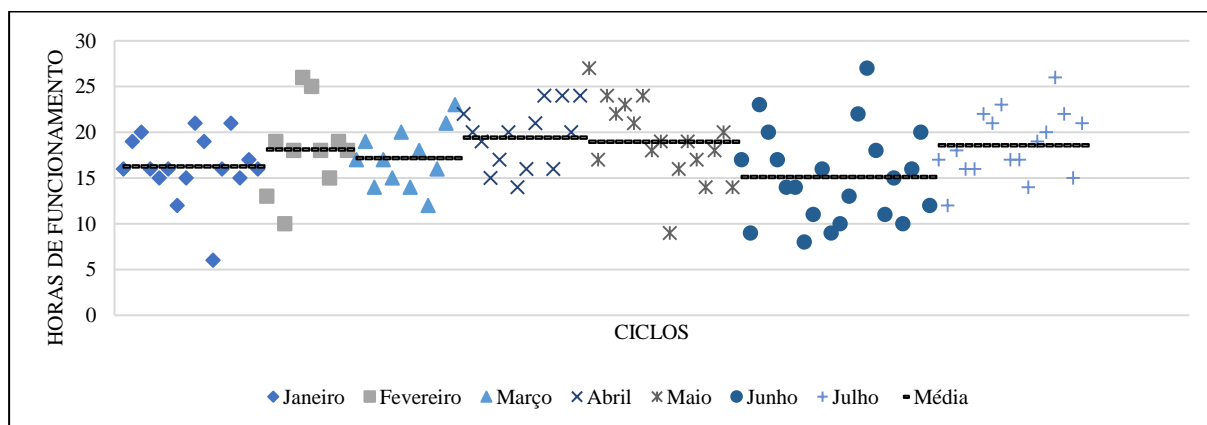


Figura D.8- Horas de funcionamento por ciclo no filtro 3, em 2018

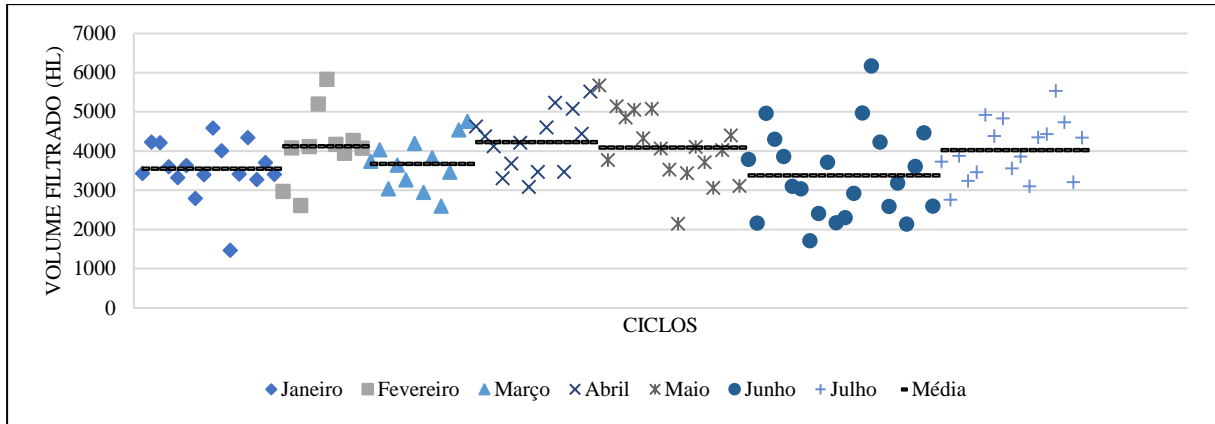


Figura D.9- Volume filtrado por ciclo no filtro 3, em 2018

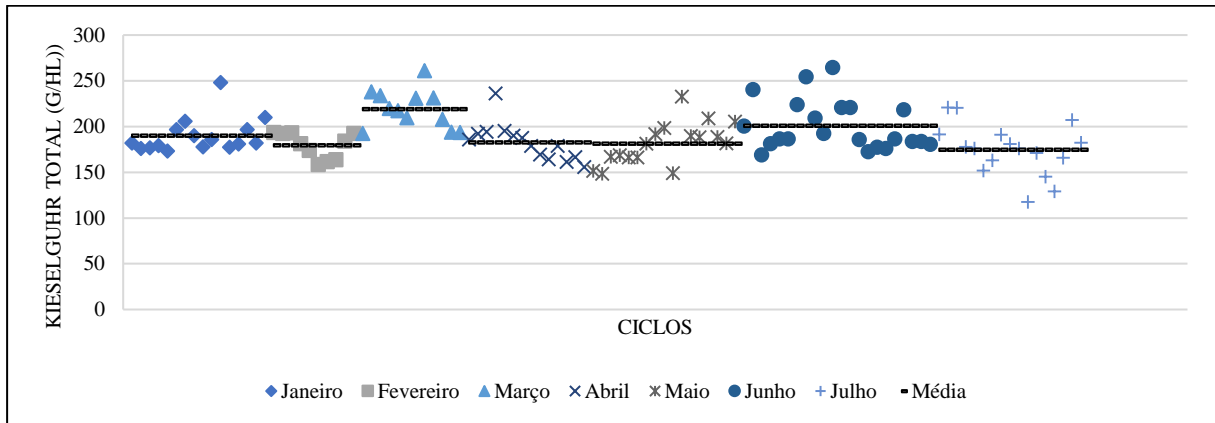


Figura D.10- Kieseluhr total consumido por ciclo no filtro 3, em 2018

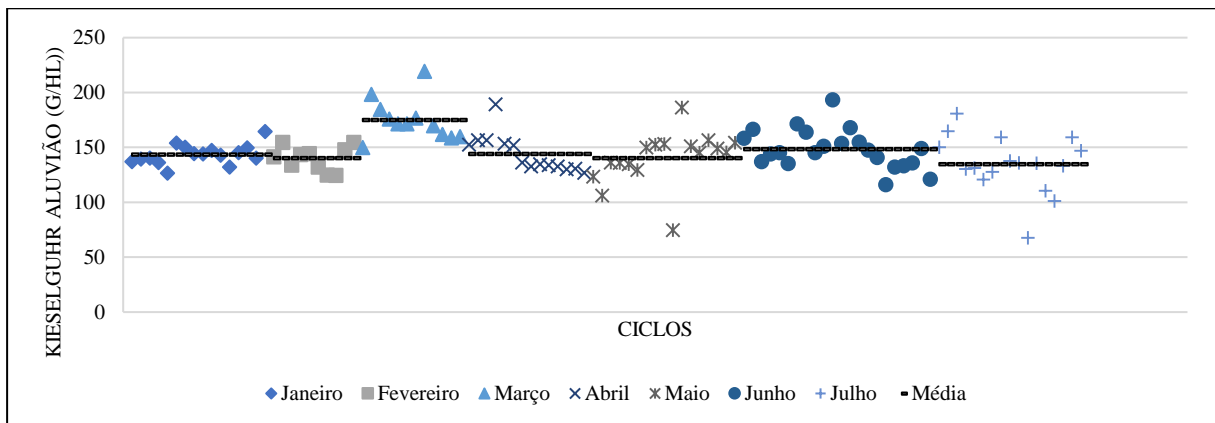


Figura D.11- Kieseluhr consumido no aluvião por ciclo no filtro 3, em 2018

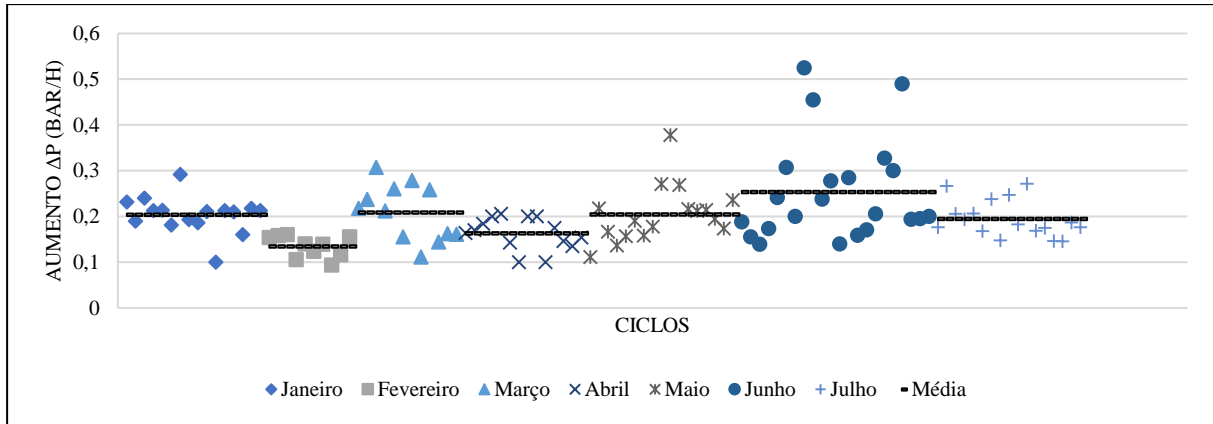


Figura D.12- Aumento do  $\Delta P$  por ciclo no filtro 3, em 2018

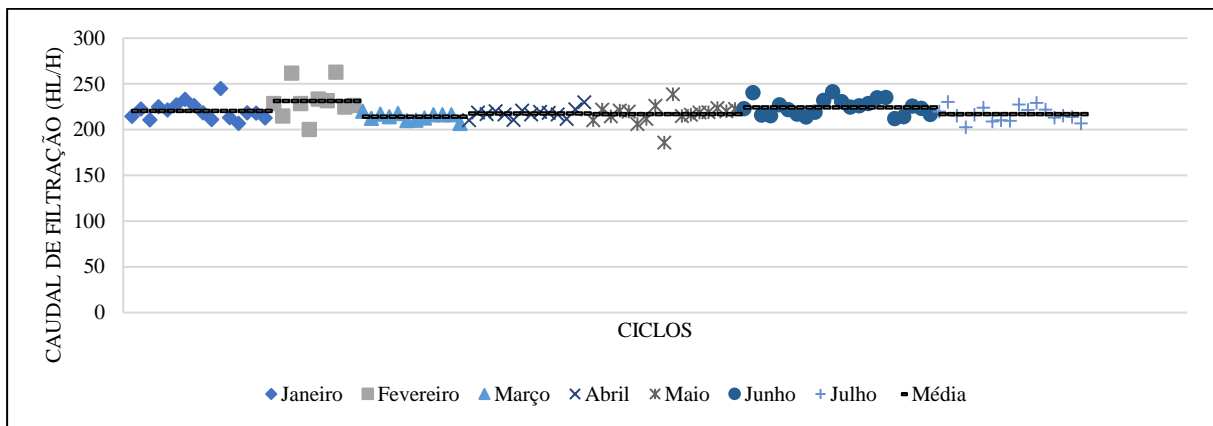


Figura D.13- Caudal de Filtração por ciclo no filtro 3, em 2018

Os mesmos dados são organizados nas figuras D.15 a D.20, mas por alteração do fator  $k$ , promovida pela equipa. A figura D.14 apresenta o estudo para determinar a influencia do tempo passado em guarda no volume de cerveja filtrado – não conclusivo.

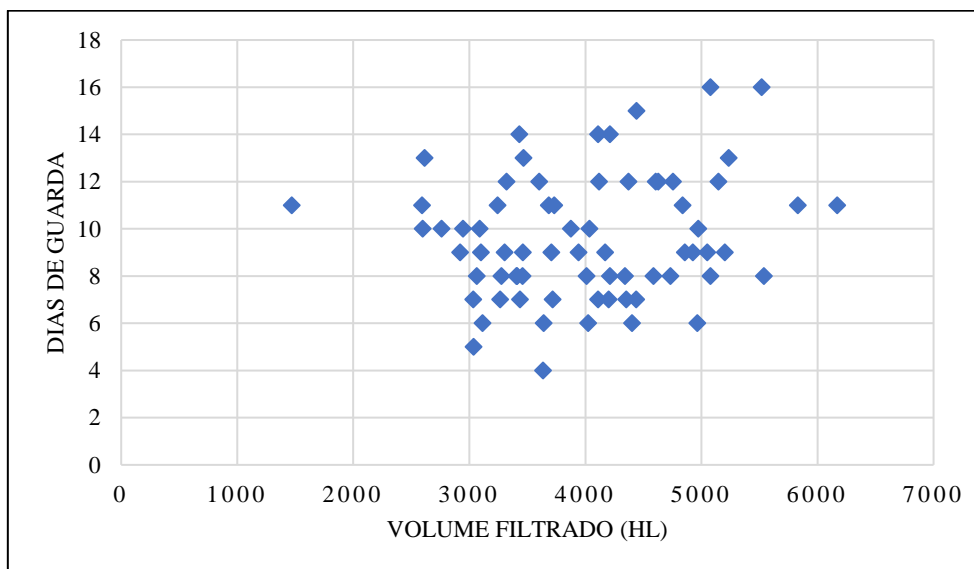


Figura D.14'- Dias de guarda por volume filtrado no filtro 3, em 2018

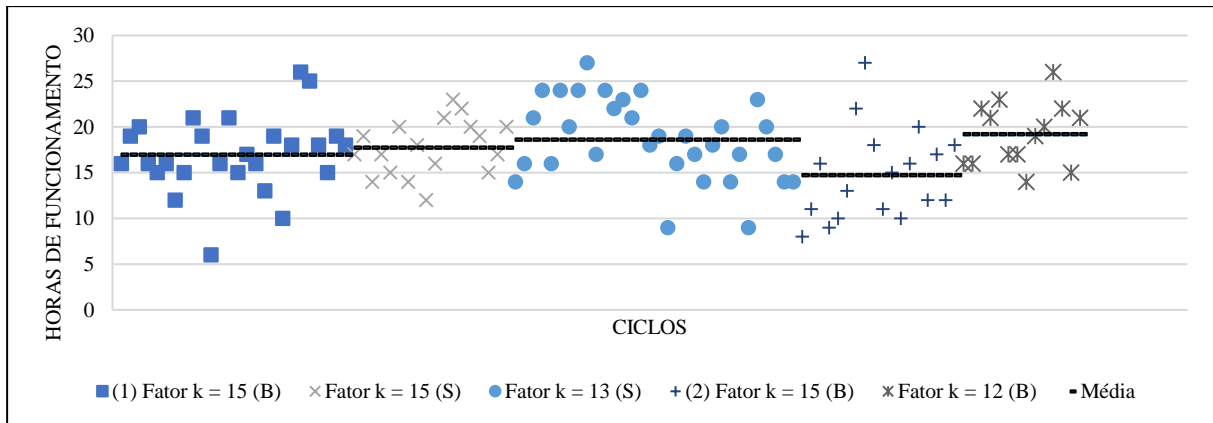


Figura D.15- Horas de funcionamento por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018

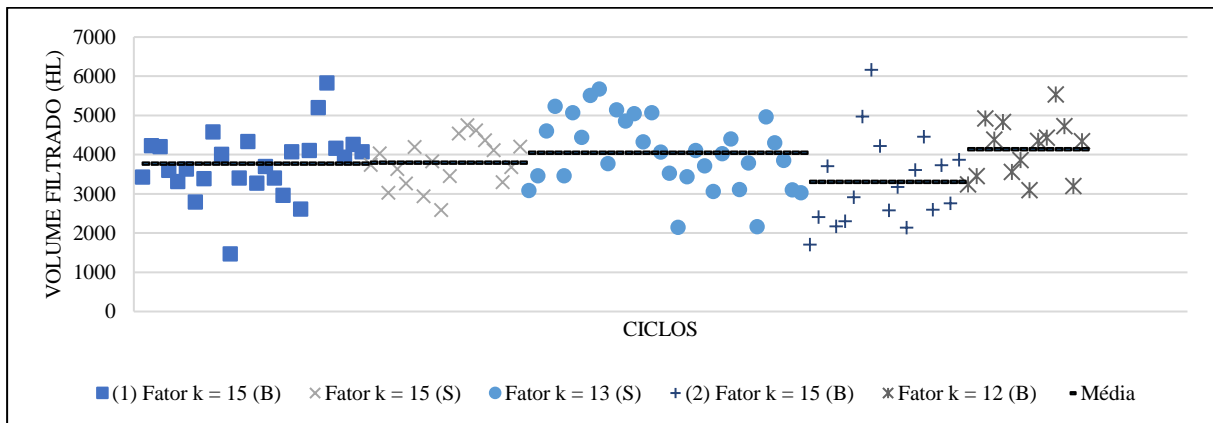


Figura D.16- Volume filtrado por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018

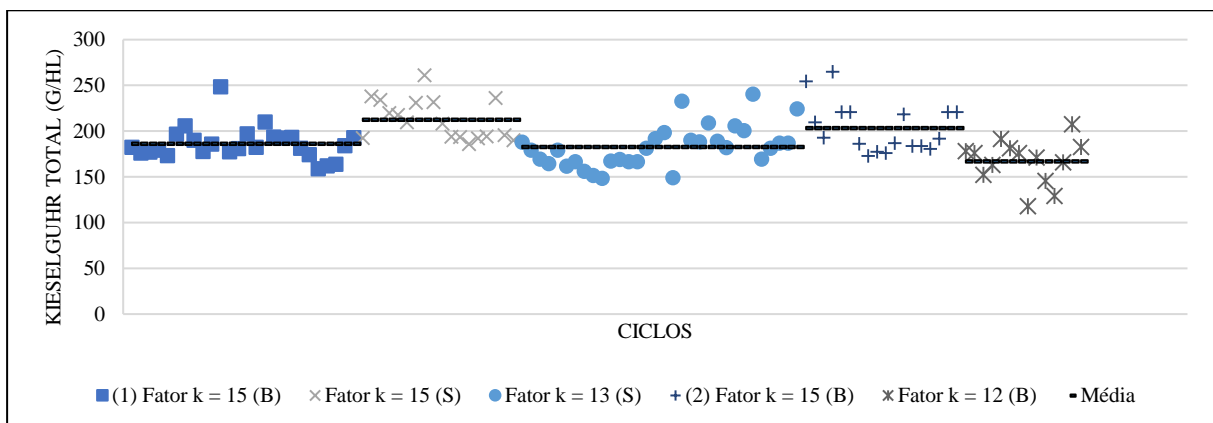


Figura D.17- Kieselguhr total consumido por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018

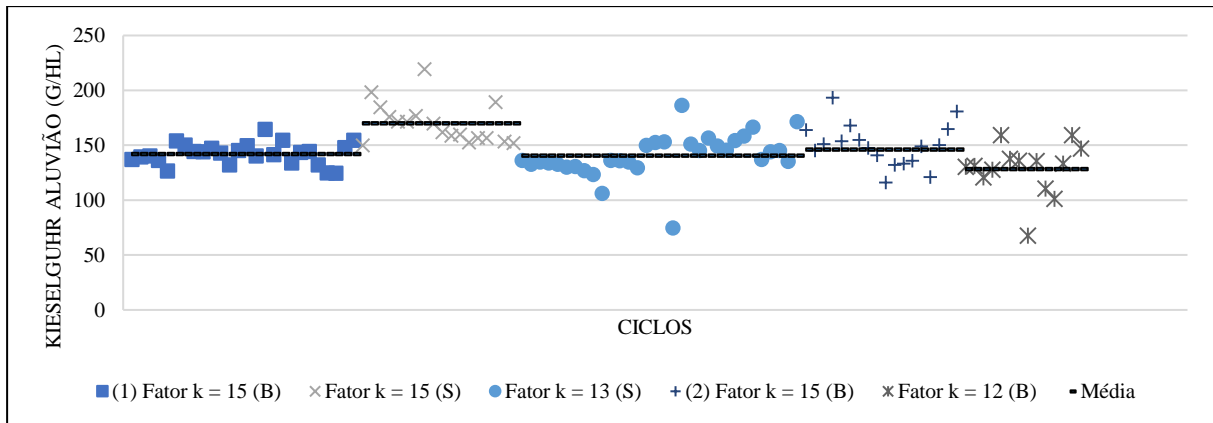


Figura D.18- Kieselguhr consumido no aluvião por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018

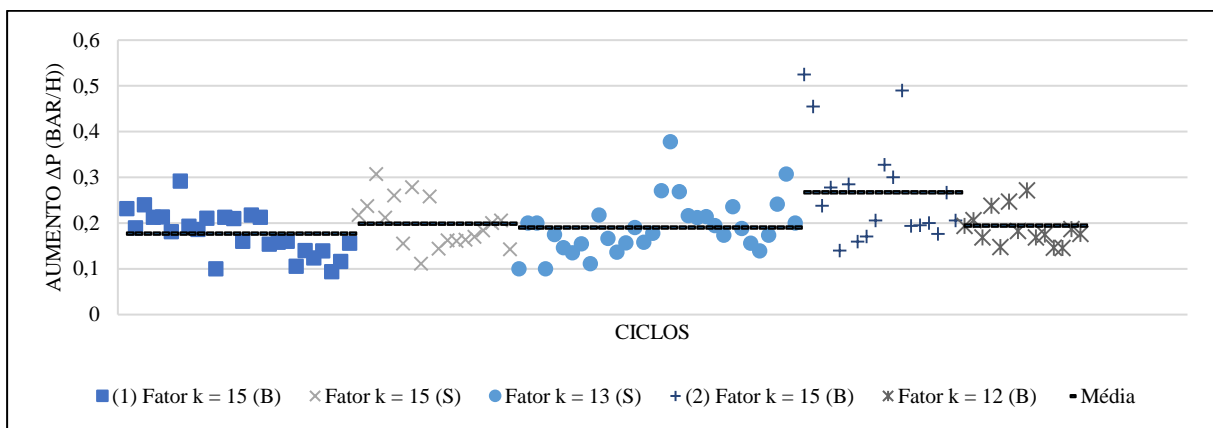


Figura D.19- Aumento do  $\Delta P$  por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018

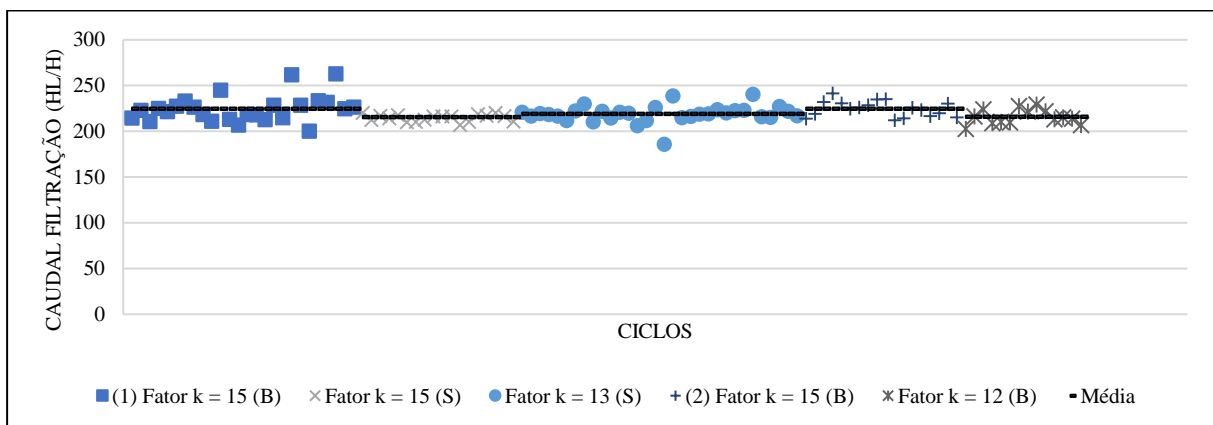


Figura D.20- Caudal de filtração por ciclo em cada ensaio no filtro 3, em 2018



Para determinar se a redução da quantidade de kieselguhr adicionada tem consequências na qualidade físico-química da cerveja, os valores da sua turvação foram analisados consoante as alterações feitas no filtro 3 (Tabela D.6) e também analisado o valor de turvação quando os tanques são cheios por dois filtros diferentes (Tabela D.7).

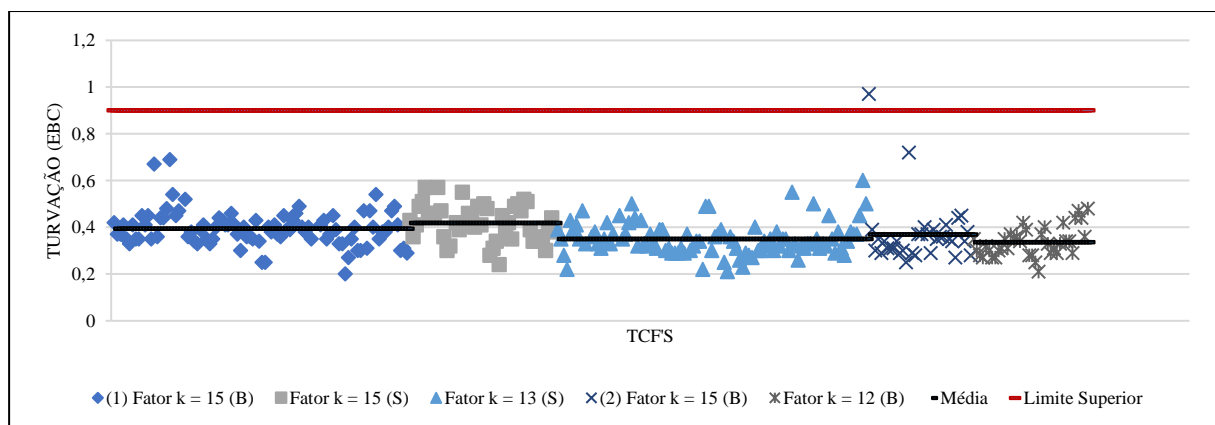
*Tabela D.6- Média de turvação em cada ensaio e número de TCF's cheios de Cerveja X pelo filtro 3, em 2018*

<i>Alterações Filtro 3</i>	<i>Média Turvação (EBC)</i>	<i>Nº de TCF's</i>
<i>(1) Fator k = 15 (B)</i>	0,39	93
<i>Fator k = 15 (S)</i>	0,42	47
<i>Fator k = 13 (S)</i>	0,35	99
<i>(2) Fator k = 15 (B)</i>	0,37	34
<i>Fator k = 12 (B)</i>	0,34	38

*Tabela D.7- Média de turvação e número de TCF's cheios com Cerveja X por diferentes combinações de filtros*

<i>Combinação de Filtros</i>	<i>Média Turvação (EBC)</i>	<i>Nº de TCF's</i>
<i>Filtro 3</i>	0,37	311
<i>Filtro 3+1</i>	0,35	178
<i>Filtro 3+2</i>	0,37	233

Os mesmos valores de turvação são demonstrados individualmente em cada tanque cheio pelo filtro 3 na figura D.21.



*Figura D.21- Turvação de cada TCF cheio com Cerveja X pelo filtro 3, em 2018*

## Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja

André Filipe Carmo e Silva

---

Para determinar se a redução da quantidade de kieselguhr adicionada tem consequências na qualidade microbiológica da cerveja, os valores da sua contaminação foram analisados consoante as alterações feitas no filtro 3 (Tabela D.8) e também analisados os valores de contaminação microbiológica quando os tanques são cheios por dois filtros diferentes (Tabela D.9).

Tabela D.8- Análise Microbiológica do filtro 3, em 2018

<i>Microbiologia do filtro 3</i>	<i>(1) k = 15 (B)</i>	<i>k = 15 (S)</i>	<i>k = 13 (S)</i>	<i>(2) k = 15 (B)</i>	<i>k = 12 (B)</i>
<i>Nº Análises Aeróbias</i>	26	17	23	5	6
<i>Falhas Aeróbias</i>	11	6	2	1	4
<i>Nº Análises Anaeróbias</i>	26	17	23	5	6
<i>Falhas Anaeróbias</i>	6	2	2	0	1
<i>Nº Análises Anae. restritos</i>	23	17	19	5	5
<i>Falhas Anaeróbias restritos</i>	0	0	0	0	0

Tabela D.9- Análise de Microbiologia de combinação de filtros, em 2018

<i>Microbiologia de combinações</i>	<i>Total Filtro 2</i>	<i>Filtros 3+1</i>	<i>Filtros 3+2</i>
<i>Nº Análises Aeróbias</i>	77	23	21
<i>Falhas Aeróbias</i>	24	9	3
<i>Nº Análises Anaeróbias</i>	77	23	21
<i>Falhas Anaeróbias</i>	11	4	0
<i>Nº Análises Anae. restritos</i>	69	20	19
<i>Falhas Anaeróbias restritos</i>	0	0	1

## Apêndice E – Rota Implementação do controlo *in-line*

A tabela E.1 apresenta os dados em relação à prestação dos carboblenders a partir da análise das falhas no FTR – batch de 2017. Isto foi utilizado para a validação do sistema *in-line* no passo I da rota.

Tabela E.1- Falhas dos diferentes tipos de cerveja, em 2017

<b>Marca de cerveja</b>	<b>Principais marcas</b>	<b>Cerveja X</b>	<b>Cerveja Y</b>	<b>Cerveja Z</b>
<i>Nº medições p/ Batch</i>	2770	2358	245	167
<i>Nº batches c/falhas</i>	96	45	26	25
<i>Nº falhas</i>	103	46	27	30
<i>Nº medições (OG)</i>	2760	2350	244	166
<i>Nº falhas (OG)</i>	45	21	19	5
<i>Nº medições (O2)</i>	1875	1593	191	91
<i>Nº falhas (O2)</i>	7	6	1	0
<i>Nº medições (CO2)</i>	1877	1596	190	91
<i>Nº falhas (CO2)</i>	3	2	0	1
<i>Nº medições (turvação)</i>	2594	2350	244	0
<i>Nº falhas (turvação)</i>	0	0	0	0
<i>Nº medições (cor)</i>	2761	2351	244	166
<i>Nº falhas (cor)</i>	48	17	7	24

## Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja

André Filipe Carmo e Silva

A Matriz QA (Tabela E.2) aplicada aos carboblenders apresenta uma avaliação dos riscos e problemas relacionados com o seu funcionamento e influência nas suas medições in-line.

Tabela E.2- Causas e teorias da Matriz QA

Thesis about elements of QA Matrix					Check details		
Defect	Phase	Cause	Category	W	Thesis	Check method to be used	Conclusion
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja em Guarda	Método de amostragem definido	Method	2	É retirada uma amostra para análise no laboratório que determina o extrato primitivo e é assumido para todo o tanque que depois é usado no carboblender	Retirar várias amostras da mesma guarda, talvez ao longo do esvaziamento, para perceber em que medida pode variar os valores de extrato primitivo	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja em Guarda	Limpeza ineficaz	Man	2	A limpeza é efetuada depois do esvaziamento da guarda. Se não for bem feita, pode haver mistura de cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja em Guarda	Erro humano	Man	2	Amostras mal etiquetadas pelos operadores que retiram as amostras ou pelos técnicos de laboratório	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja em Guarda	Concentração de açúcar irregular da cerveja	Material	2	Podem existir deposição dos açúcares da cerveja ao longo do tempo de guarda	Retirar amostras do tanque de guarda durante o período de maturação e verificar as alterações no valor de extrato primitivo	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos coletores - Lanternas	Limpeza ineficaz	Man	2	Depois de ser enviada cerveja de uma guarda, os canais têm de ser purgados para limpeza. Se não for assim, pode haver mistura de cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja no tanque tampão (Nathan)	Método de funcionamento	Method	5	O tanque tampão serve para facilitar manobras com a cerveja e fornecer um choque de pressão. Aqui há mistura de cerveja de guardas diferentes, embora exista a regra de só adicionar outra guarda quando o nível se encontrar nos 20%	Estudar o efeito que tem, no carboblender, quando acaba uma guarda e começa outra com um extrato primitivo significativamente diferente	Possível impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja no tanque tampão (Nathan)	Não cumprimento do método	Man	8	Não respeitar ao regra proposta para minimizar a mistura de cerveja (20 % do nível da Nathan)	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Possível impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja no tanque tampão (Nathan)	Limpeza ineficaz	Man	2	A limpeza é efetuada uma vez por semana. Se não for bem feita pode haver mistura de cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos permutadores	Limpeza ineficaz	Man	2	Se não forem bem limpos, pode haver mistura de cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos filtros	Limpeza ineficaz	Man	2	Se a limpeza não for bem efetuada, pode haver mistura de cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos filtros	Mistura de cerveja no filtro	Method	2	Os filtros só param quando ficam colmatados, portanto, podem receber guardas diferentes e existirá uma 1ª fase com mistura de cerveja	Perceber se, numa 1ª fase, a diluição é afetada e depois normaliza com o passar do tempo no ciclo	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos filtros	kieselguhr	Machine	2	Podem haver um problema e passar kieselguhr para a próxima fase, causando problemas nos sensores do carboblender	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos Carboblenders	Valor de extrato primitivo introduzido para diluição	Method	5	A diluição da cerveja está dependente da introdução do extrato primitivo de guarda que não é exato	Observação direta	Possível impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos Carboblenders	Tamanho do tanque	Method	2	Tanques mais pequenos não permitem a calibração ou acerto da diluição	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Possível impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos Carboblenders	Desconhecimento dos operadores	Man	8	Desconhecimento de como a máquina trabalha e quais os limites de variação aceitáveis de diluição por parte do operador	Observação direta	Possível impacto

*Tabela E.2- Causas e teorias da Matriz QA*

1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos Carboblenders	Desconfiança para com o sistema	Man	8	Os operadores não têm confiança no funcionamento dos carboblenders, confiando mais em valores teóricos	Observação direta	Possível impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos Carboblenders	Sensores descalibrados	Machine	5	Descalibração prematura dos sensores ou calibração desnecessária e mal executada	Observação direta	Possível impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos Carboblenders	Instalação errada	Machine	5	Instalação errada dos sensores	Observação direta	Possível impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos Carboblenders	Falha nos parâmetros de funcionamento	Machine	5	Falha na temperatura ou pressão necessária para o bom funcionamento dos sensores	Observação direta	Possível impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos Carboblenders	Cerveja inconstante	Material	2	As cervejas fermentadas têm sempre valores de extrato, álcool, etc., diferentes o que pode causar flutuações nas medições	Observação direta	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja nos filtros de cartuchos	Mistura de cerveja	Method	2	A troca de cartuchos é feita periodicamente portanto pode existir mistura de cerveja	Ver se o extrato do Carboblender é igual ao do TCF	Sem impacto
1 - Desvio por extracto Alto	Cerveja em TCF	Limpeza ineficaz	Man	2	A mistura de cerveja em TCF pode resultar em extratos com erros e a limpeza dos mesmos tem de ser bem efetuada	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja em Guarda	Método de amostragem definido	Method	2	É retirada uma amostra para análise no laboratório que determina o extrato primitivo e é assumido para todo o tanque que depois é usado no carboblender	Retirar várias amostras da mesma guarda, talvez ao longo do esvaziamento, para perceber em que medida pode variar os valores de extrato primitivo	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja em Guarda	Limpeza ineficaz	Man	2	A limpeza é efetuada depois do esvaziamento da guarda. Se não for bem feita, pode haver mistura de cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja em Guarda	Erro humano	Man	2	Amostras mal etiquetadas pelos operadores que retiram as amostras ou pelos técnicos de laboratório	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja em Guarda	Concentração de açúcar irregular da cerveja	Material	2	Podem existir deposição dos açúcares da cerveja ao longo do tempo de guarda	Retirar amostras do tanque de guarda durante o período de maturação e verificar as alterações no valor de extrato primitivo	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja no tanque tampão (Nathan)	Método de funcionamento	Method	5	O tanque tampão serve para facilitar manobras com a cerveja e fornecer um choque de pressão. Aqui há mistura de cerveja de guardas diferentes, embora exista a regra de só adicionar outra guarda quando o nível se encontrar nos 20%	Estudar o efeito que tem, no carboblender, quando acaba uma guarda e começa outra com um extrato primitivo significativamente diferente	Possível impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja no tanque tampão (Nathan)	Não cumprimento do método	Man	8	Não respeitar ao regra proposta para minimizar a mistura de cerveja (20 % do nível da Nathan)	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Possível impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja no tanque tampão (Nathan)	Limpeza ineficaz	Man	2	A limpeza é efetuada uma vez por semana. Se não for bem feita pode haver mistura de cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos permutadores	Limpeza ineficaz	Man	2	Se não forem bem limpos, pode haver mistura de cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos filtros	Limpeza ineficaz	Man	2	Se a limpeza não for bem efetuada, pode haver mistura de cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto

**Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja**  
 André Filipe Carmo e Silva

*Tabela E.2- Causas e teorias da Matriz QA*

2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos filtros	Mistura de cerveja no filtro	Method	2	Os filtros só param quando ficam colmatados, portanto, podem receber guardas diferentes e existirá uma 1ª fase com mistura de cerveja	Perceber se, numa 1ª fase, a diluição é afetada e depois normaliza com o passar do tempo no ciclo	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos filtros	kieselguhr	Machine	2	Pode haver um problema e passar kieselguhr para a próxima fase, causando problemas nos sensores do carboblender	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Valor de extrato primitivo introduzido para diluição	Method	5	A diluição da cerveja está dependente da introdução do extrato primitivo de guarda que não é exato	Observação direta	Possível impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Tamanho do tanque	Method	2	Tanques mais pequenos não permitem a calibração ou acerto da diluição	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Possível impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Desconhecimento dos operadores	Man	8	Desconhecimento de como a máquina trabalha e quais os limites de variação aceitáveis de diluição por parte do operador	Observação direta	Possível impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Desconfiança para com o sistema	Man	8	Os operadores não têm confiança no funcionamento dos carboblenders, confiando mais em valores teóricos	Observação direta	Possível impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Sensores descalibrados	Machine	5	Descalibração prematura dos sensores ou calibração desnecessária e mal executada	Observação direta	Possível impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Instalação errada	Machine	5	Instalação errada dos sensores	Observação direta	Possível impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Falha nos parâmetros de funcionamento	Machine	5	Falha na temperatura ou pressão necessária para o bom funcionamento dos sensores	Observação direta	Possível impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Cerveja inconstante	Material	2	As cervejas fermentadas têm sempre valores de extrato, álcool, etc., diferentes o que pode causar flutuações nas medições	Observação direta	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja nos filtros de cartuchos	Mistura de cerveja	Method	2	A troca de cartuchos é feita periodicamente portanto pode existir mistura de cerveja	Ver se o extrato do Carboblender é igual ao do TCF	Sem impacto
2 - Desvio por extracto Baixo	Cerveja em TCF	Limpeza ineficaz	Man	2	A mistura de cerveja em TCF pode resultar em extratos com erros e a limpeza dos mesmos tem de ser bem efetuada	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
3 - Desvio CO2 Alto	Cerveja nos Carboblenders	Controlo dependente do operador	Man	8	A adição de CO2 é controlada no carboblender e necessita de ser ajustada manualmente pelo operador, porque daí em diante existe outras variáveis que influenciam o teor de CO2 da cerveja	Observação direta	Possível impacto
3 - Desvio CO2 Alto	Cerveja nos Carboblenders	Falha nos parâmetros de funcionamento	Machine	5	Se a pressão no sistema não for a necessária, o CO2 não se dissolve totalmente	Observação direta	Possível impacto
3 - Desvio CO2 Alto	Cerveja nos Carboblenders	Descalibração do sensor	Machine	5	Descalibração do sensor de CO2	Observação direta	Possível impacto
3 - Desvio CO2 Alto	Cerveja nos Carboblenders	Método de controlo	Method	2	É necessário alterar a receita estabelecida de acordo com o CO2 medido no TCF	Observação direta	Sem impacto

*Tabela E.2- Causas e teorias da Matriz QA*

3 - Desvio CO2 Alto	Cerveja em TCF ▼	Pressureização de TCF com CO2	Method	2	O CO2 que está no TCF pode entrar na cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
3 - Desvio CO2 Alto	Cerveja em TCF	Controlo manual no tanque	Man	5	É necessário controlar o CO2 no TCF à medida que vai enchendo	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Possível impacto
3 - Desvio CO2 Alto	Cerveja em TCF	Aparelho Haffman	Machine	2	O aparelho utilizado para medir o CO2 no tanque pode estar descalibrado ou mal purgado / sujo	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
4 - Desvio CO2 Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Controlo dependente do operador	Man	8	A adição de CO2 é controlada no carboblender e necessita de ser ajustada manualmente pelo operador, porque daí em diante existe outras variáveis que influenciam o teor de CO2 da cerveja	Observação direta	Possível impacto
4 - Desvio CO2 Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Falha nos parâmetros de funcionamento	Machine	5	Se a pressão no sistema não for a necessária, o CO2 não se dissolve totalmente	Observação direta	Possível impacto
4 - Desvio CO2 Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Descalibração do sensor	Machine	5	Descalibração do sensor de CO2	Observação direta	Possível impacto
4 - Desvio CO2 Baixo	Cerveja nos Carboblenders	Método de controlo	Method	2	É necessário alterar a receita estabelecida de acordo com o CO2 medido no TCF	Observação direta	Sem impacto
6 - Desvio CO2 Baixo	Cerveja nos filtros de cartuchos	Perde de pressão	Material	2	Perda de pressão nos tubos e no filtro, que causa a libertação de CO2	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
6 - Desvio CO2 Baixo	Cerveja em TCF	Pressureização de TCF com CO2	Man	2	Se a camada de CO2 não for bem feita, não haverá pressão suficiente para reter o CO2 na cerveja	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
4 - Desvio CO2 Baixo	Cerveja em TCF	Controlo manual no tanque	Man	5	É necessário controlar o CO2 no TCF à medida que vai enchendo	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Possível impacto
4 - Desvio CO2 Baixo	Cerveja em TCF	Aparelho Haffman	Machine	2	O aparelho utilizado para medir o CO2 no tanque pode estar descalibrado ou mal purgado / sujo	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto
6 - Desvio CO2 Baixo	Cerveja em TCF	Perde de pressão	Material	2	No caminho para o TCF pode haver quebras de pressão e libertação de CO2	Falar com os operários da área para perceber se esta situação é possível	Sem impacto

## Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja

André Filipe Carmo e Silva

A Tabela E.3 apresenta uma compilação de informações sobre o Caroblender 1, recolhidas após inspeção do mesmo e de pesquisa em diversas fontes. Trata de assuntos como montagem, calibrações, aspeto geral e condições de operação.

Tabela E.3- Observações sobre as anomalias do Caroblender 1

Sistema	Aspeto Geral	Sensor extrato	Sensor densidade	Sensor CO2	Sensor O2	Caudalímetro	
Caroblender 1	Pequena vibração Sujidade no exterior	Combitec		Carbotec TR-PT	Oxytrans TR	Calibração anual (fonte: Doc. Heneken)	
	No painel de controlo, na secção de escolha do tipo de controlo (manual ou automático) existe uma conta auxiliar que calcula a % de diluição correta introduzido o valor de extrato primitivo que parece errado. (Verificado entretanto - Ratio blending e não Plato blending)	Montagem vertical de acordo com a posição 1 - posição ideal (Fonte: manual) Aparentemente funcionando bem e sem danos no exterior do sensor, fios, etc..	Montagem vertical com líquido de baixo para cima - posição ideal (Fonte: manual) Aparentemente funcionando bem e sem danos no exterior, fios, etc...	Montagem horizontal e demasiado perto de curvas na tubagem - posição não ideal			
	CILT - Prevista manutenção limpeza e verificação da Bomba; Válvulas/Painel; Tubagens/Estrutura; Quadro de controlo - Sem registos	CILT - calibração prevista - mensalmente Sem registos	CILT - manutenção prevista - trimestral CILT - calibração prevista - mensalmente Sem registos				
		Manutenção - Não necessita / Factory calibration a cada 5/10 anos (fonte: Centec) Calibração se existir uma diferença de 0,2 °P no ponto de medição (fonte: Centec) Exatidão em condições ideais: +/- 0,02 °P (fonte: Centec)	Manutenção - A cada 6 meses / anualmente (fonte: Centec) Manutenção - Verificação visual mensal (fonte: Manual)	Manutenção - Troca das lentes anualmente (fonte: manual) Manutenção - Verificação visual mensal (fonte: manual)			
		Influenciado pelas seguintes variáveis do processo (fonte: Centec): Temperatura Pressão Composição de extrato Conteúdo CO2					



A Tabela E.4 apresenta uma compilação de informações sobre o Carboblender 2, recolhidas após inspeção do mesmo e de pesquisa em diversas fontes. Trata de assuntos como montagem, calibrações, aspeto geral e condições de operação.

*Tabela E.4- Observações de anomalias no Carboblender 2*

Sistema	Aspeto Geral	Sensor extrato	Sensor densidade	Sensor CO2	Sensor O2	Caudalímetro	
<i>Carboblender 2</i>	Pequena vibração Sujidade e ferrugem na tubagem exterior	Sonatec TR	Rhotec TR	Versão antiga do Carbotec TR-PT - <b>Sem informações</b>	Metler Toledo - <b>Sem informações</b>		
	No painel de controlo, o esquema de montagem do sistema não corresponde à realidade (Teoria - software do sistema atualizado entretanto com um esquema padrão)	Montagem horizontal com a (cabeça do sensor no interior da tubagem também na horizontal- <b>não verificado</b> ) - Indicação para ser instalado longe de zonas turbulentas para prevenir instabilidade das medições - está logo a seguir ao ponto de amostragem - <b>posição não ideal</b> Aparentemente funcionando bem e sem danos no exterior do sensor, fios, etc.. Condição de velocidade do líquido (inferior a 10 m/s) e pressão do sistema maior que a pressão parcial de CO2 <b>verificada</b> (Fonte: manual)	Montagem horizontal de acordo com a posição 2 - posição ideal (Fonte: manual) Aparentemente funcionando bem e sem danos no exterior do sensor, fios, etc.. Condição de pressão dentro do sistema bypass maior que pressão parcial CO2 ( <b>Não verificado</b> )	Peça protetora da válvula no topo do sensor em falta			Calibração anual (fonte: Doc. Heineken)
	A árvore de componentes presente no CILT não representa a ordem real como está instalado no sistema	CILT - calibração prevista - mensalmente <b>Sem registos</b>	CILT - calibração prevista - mensalmente <b>Sem registos</b>	CILT - manutenção prevista - trimestral CILT - calibração prevista - mensalmente <b>Sem registos</b>			
	CILT - Prevista manutenção limpeza e verificação da Bomba; Válvulas/Painel; Tubagens/Estrutura; Quadro de controlo - Semanalmente <b>Sem registos</b>	Manutenção - Não necessita / Factory calibration a cada 5 ;10 anos (fonte: Centec) Calibração se existir uma diferença de 0,2 °P no ponto de medição (fonte: Centec) Exatidão em condições ideais: +/- 0,02 °P (fonte: Centec) Confirmar medições com água desmineralizada (desvio muito elevado) (fonte: manual)	Manutenção - Não necessita / Factory calibration a cada 5 ;10 anos (fonte: Centec) Confirmar medições com água desmineralizada (desvio muito elevado) (fonte: manual)				
		Influenciado pelas seguintes variáveis do processo (fonte: Centec): Temperatura Pressão Composição de extrato Conteúdo CO2					

## Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja

André Filipe Carmo e Silva

A Tabela E.4 apresenta uma compilação de informações sobre o Carboblender 3, recolhidas após inspeção do mesmo e de pesquisa em diversas fontes. Trata de assuntos como montagem, calibrações, aspeto geral e condições de operação.

Tabela E.5- Observações de anomalias no Carboblender 3

Sistema	Aspeto Geral	Sensor extrato	Sensor densidade	Sensor CO2	Sensor O2	Caudalímetro	
Carboblender 3	Pequena vibração Sujidade e ferrugem na tubagem exterior	Sonatec TR	Rhotec TR	Versão antiga do Carbotec TR-PT - <b>Sem informações</b>	Digox - <b>Sem informações</b>	Calibração anual (fonte: Doc. Heneken)	
	No painel de controlo, o esquema de montagem do sistema não corresponde à realidade ( <b>Teoria - software do sistema atualizado entretanto com um esquema padrão</b> )	Montagem horizontal com a (cabeça do sensor no interior da tubagem também na horizontal- <b>não verificado</b> ) - Indicação para ser instalado longe de zonas tumultuosas para prevenir instabilidade das medições - está logo a seguir ao ponto de amostragem - <b>posição não ideal</b> Aparentemente funcionando bem e sem danos no exterior do sensor, fios, etc.. Condição de velocidade do líquido (inferior a 10 m/s) e pressão do sistema maior que a pressão parcial de CO2 <b>verificada</b> (Fonte: manual)	Montagem horizontal de acordo com a posição 2 - posição ideal (Fonte: manual) Aparentemente funcionando bem e sem danos no exterior do sensor, fios, etc.. Condição de pressão dentro do sistema bypass maior que pressão parcial CO2 ( <b>Não verificado</b> )				
	A árvore de componentes presente no CILT não representa a ordem real como está instalado no sistema	CILT - calibração prevista - mensalmente <b>Sem registos</b>	CILT - calibração prevista - mensalmente <b>Sem registos</b>	CILT - manutenção prevista - trimestral CILT - calibração prevista - mensalmente <b>Sem registos</b>			
	CILT - Prevista manutenção limpeza e verificação da Bomba; Válvulas/Painel; Tubagens/Estrutura; Quadro de controlo - Semanalmente <b>Sem registos</b>	Manutenção - Não necessita / Factory calibration a cada 5 ;10 anos (fonte: Centec) Calibração se existir uma diferença de 0,2 °P no ponto de medição (fonte: Centec) Exatidão em condições ideais: +/- 0,02 °P (fonte: Centec)	Manutenção - Não necessita / Factory calibration a cada 5 ;10 anos (fonte: Centec) Confirmar medições com água desmineralizada (desvio muito elevado) (fonte: manual)				
		Influenciado pelas seguintes variáveis do processo (fonte: Centec): Temperatura Pressão Composição de extrato Conteúdo CO2					

As Figuras E.1 e E.2 apresentam o ZZ score de

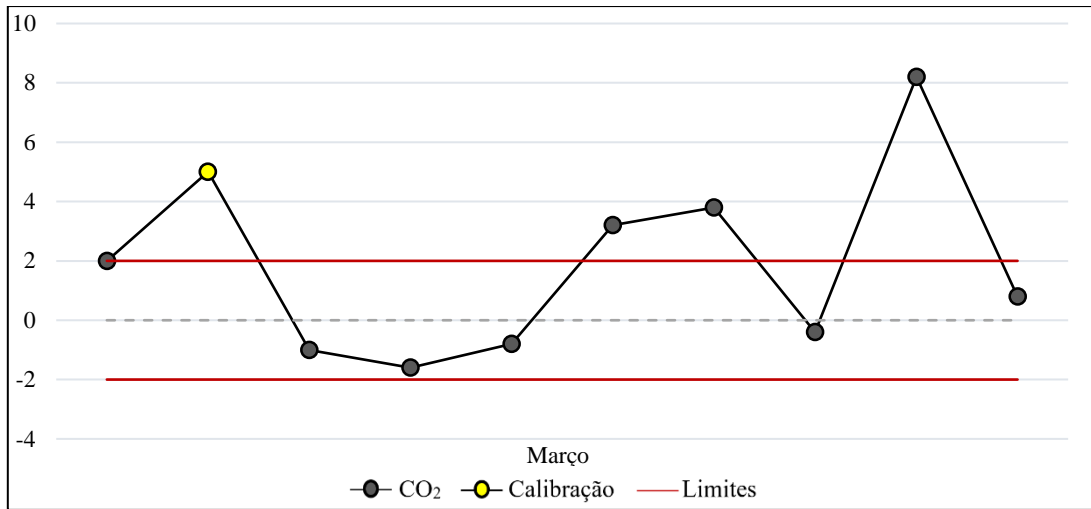


Figura E.1- ZZ score de CO2 no CarboBlender 1, na marca Cerveja Y

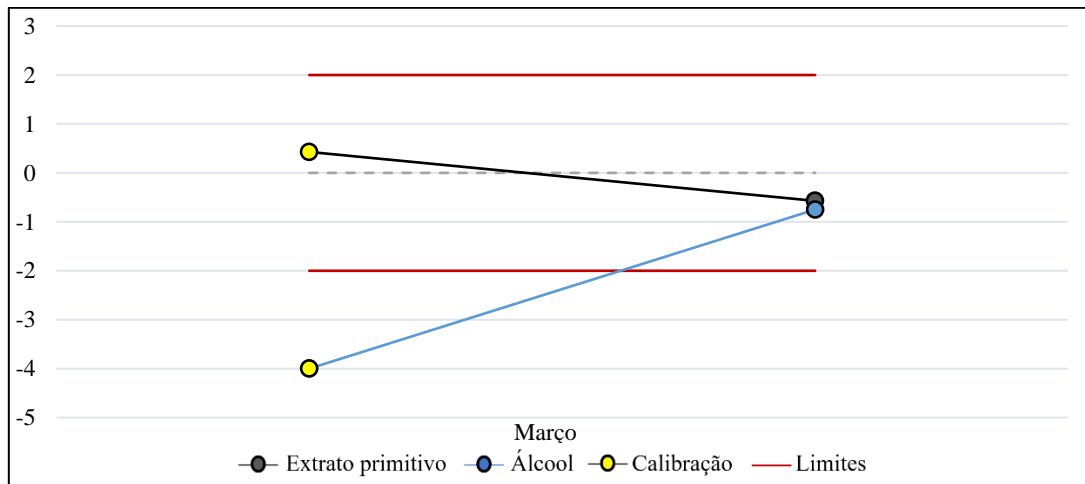


Figura E.2- ZZ score de extrato primitivo e álcool no CarboBlender 1, na marca Cerveja Y

Tabela E.6- Registo de calibração do carboBlender 1

Registo de calibração do CarboBlender 1						
Data	Hora	Extrato	Álcool	CO2	Operador	Marca
14/03/2018	10:29	x	x	-0,15	André Silva	Cerveja Y
14/03/2018	12:19	C	C	x	André Silva	Cerveja Y
21/03/2018	14:05	x	x	0,1	André Silva	Cerveja X
27/03/2018	10:05	x	x	-0,1	André Silva	Cerveja X
27/03/2018	15:05	x	x	0,1	André Silva	Cerveja X
27/03/2018	17:00	C	C	x	André Silva	Cerveja X
18/04/2018	15:30	x	x	-0,4	André Silva	Cerveja X
18/04/2018	17:05	x	x	0,1	André Silva	Cerveja X
14/06/2018	16:00	x	x	-0,27	André Silva	Cerveja X
14/06/2018	17:40	C	C	x	André Silva	Cerveja X
12/07/2018	10:30	C	C	x	Operador	Cerveja X

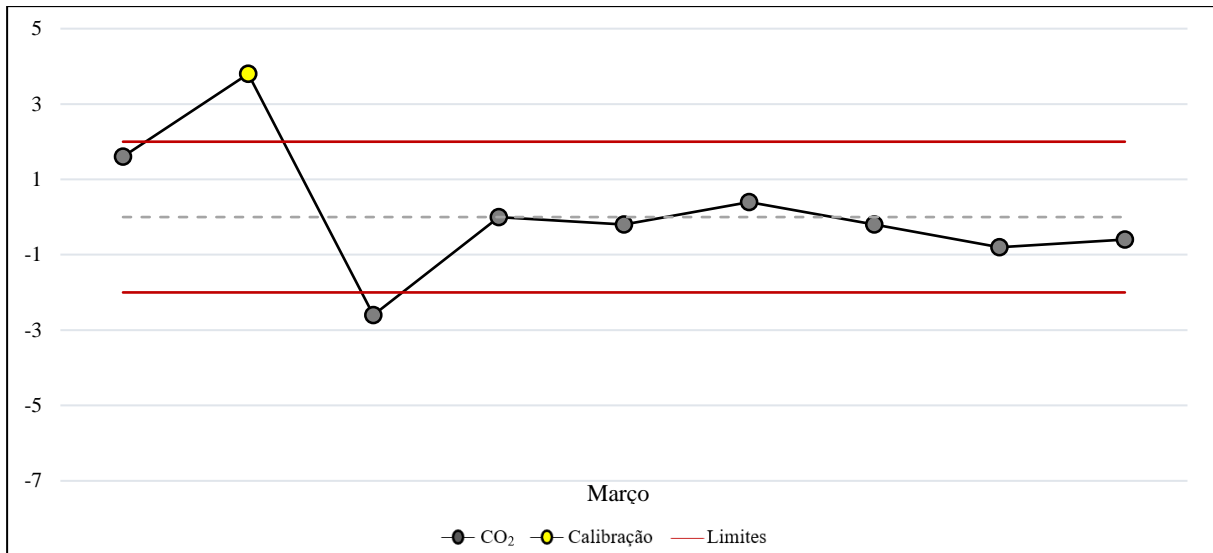


Figura E.3- ZZ score de CO<sub>2</sub> no Caroblender 2, na marca Cerveja Y

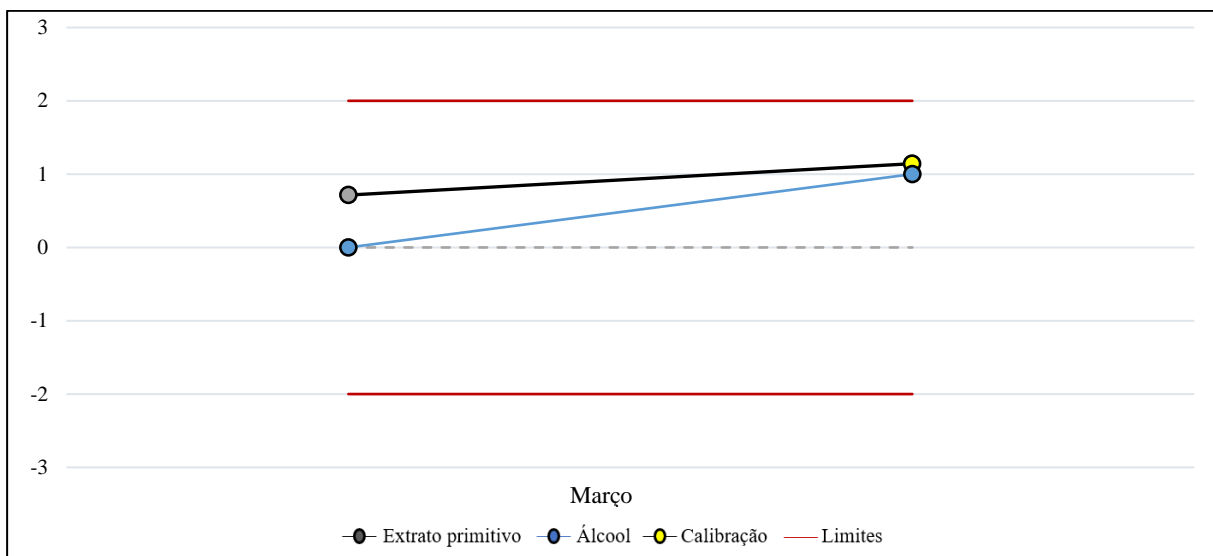


Figura E.4- ZZ score de extrato primitivo e álcool no Caroblender 2, na marca Cerveja Y

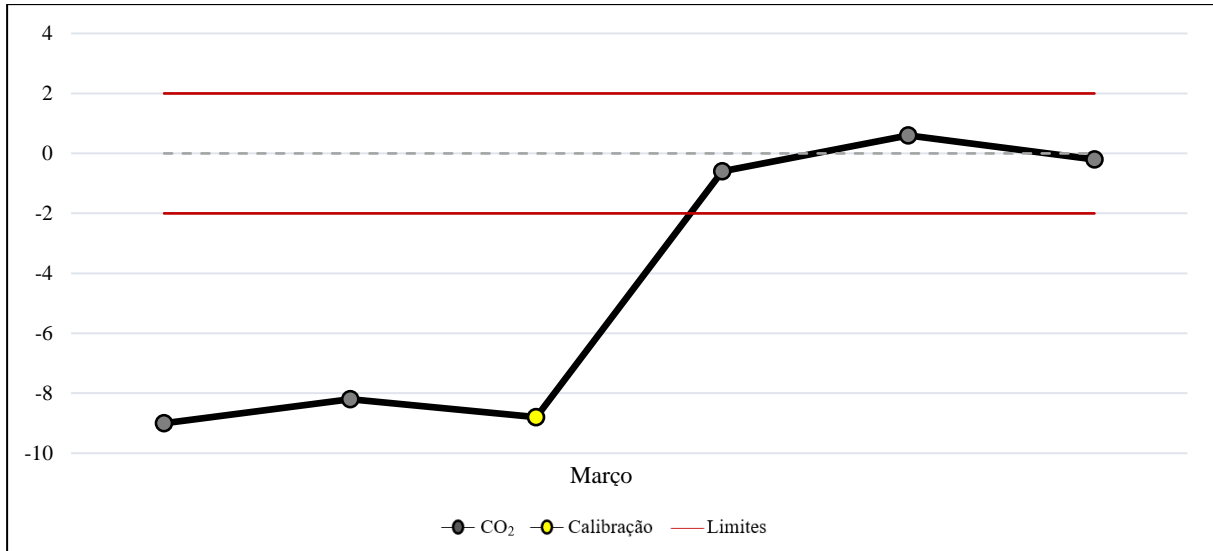


Figura E.5- ZZ score de CO2 no Caroblender 2, na marca Cerveja Z

Tabela E.7- Registo de calibração do Caroblender 2

Registo de calibração do Caroblender 2						
Data	Hora	Extrato	Álcool	CO2	Operador	Marca
08/03/2018	18:00	-0,15	x	-0,1	André Silva	Cerveja X
12/03/2018	10:50	x	x	0,05	André Silva	Cerveja X
15/03/2018	14:02	-0,1	x	-0,15	André Silva	Cerveja Y
27/03/2018	12:02	x	x	0,4	André Silva	Cerveja Z
10/05/2018	14:11	x	x	-0,12	André Silva	Cerveja X

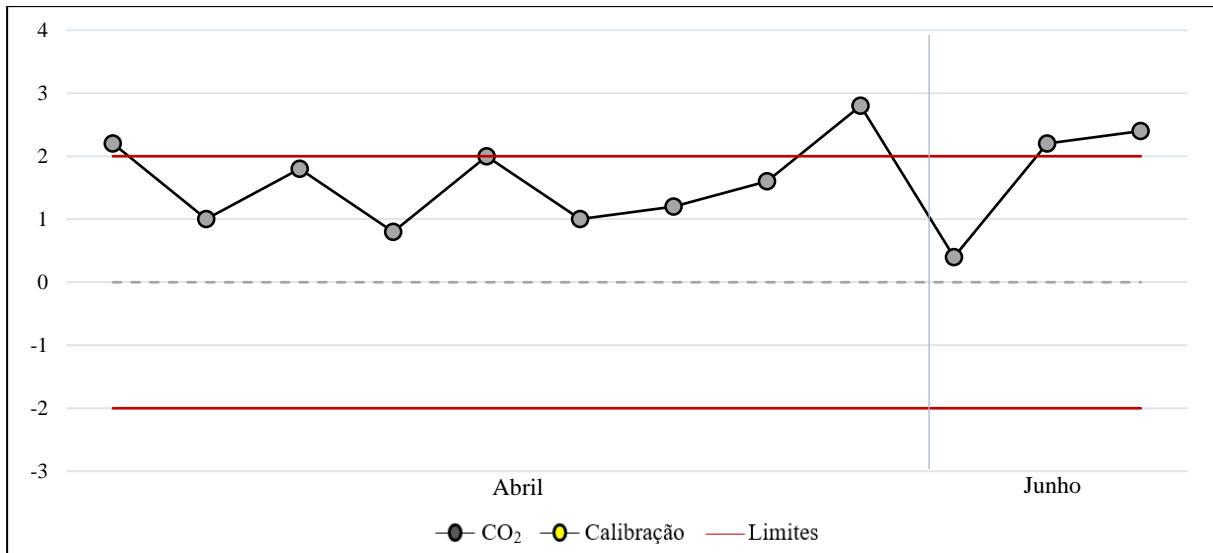


Figura E.6- ZZ score de CO<sub>2</sub> no Carboblender 3, na marca Cerveja Y

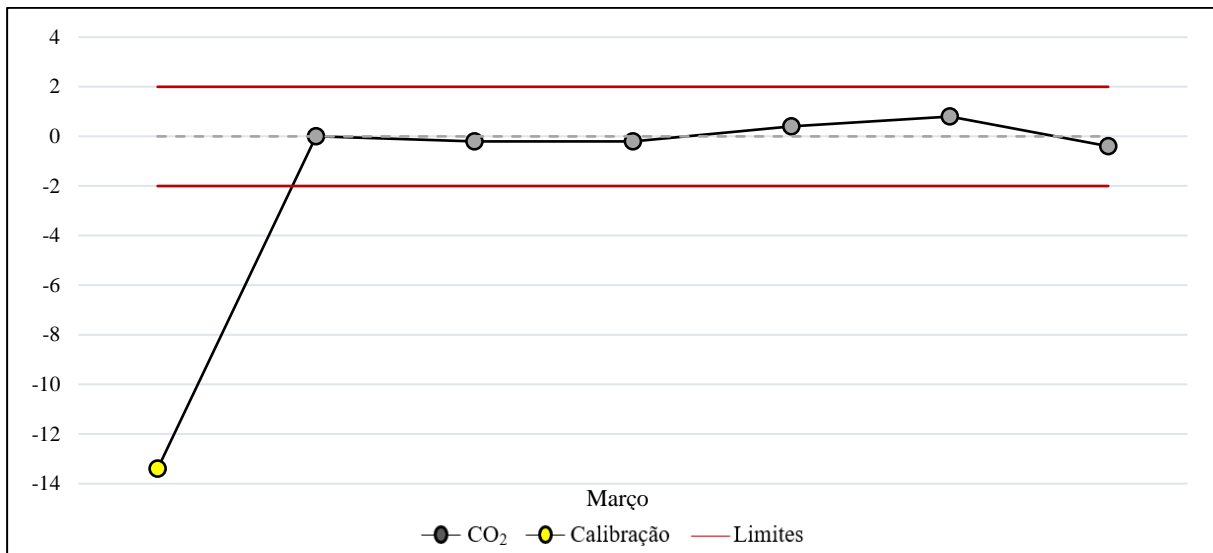


Figura E.7- ZZ score de CO<sub>2</sub> no Carboblender 3, na marca Cerveja Z

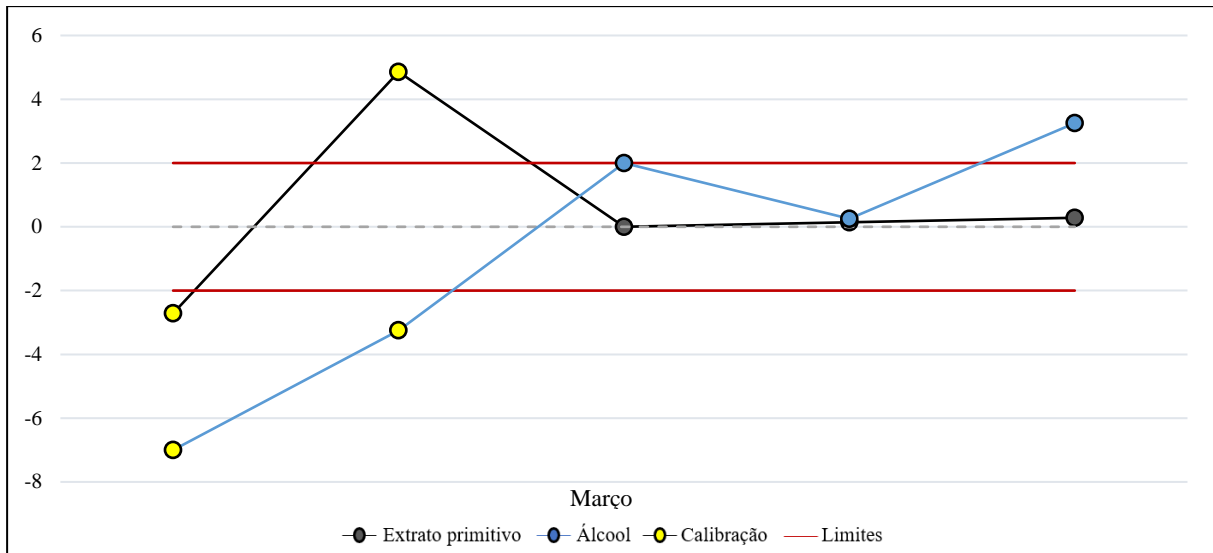


Figura E.8- ZZ score de extrato primitivo e álcool no Caroblender 3, na marca Cerveja Z

Tabela E.8- Registo de calibração do carboblender 3

Registo de calibração do Caroblender 3						
Data	Hora	Extrato	Álcool	CO2	Operador	Marca
08/03/2018	10:22	0,19	0,28	0,85	Adiel Santos	Cerveja Z
08/03/2018	11:20	-0,34	0,13	x	André Silva	Cerveja Z
12/03/2018	14:05	-0,05	x	-0,1	André Silva	Cerveja X
19/03/2018	12:33	0,05	x	0,1	André Silva	Cerveja X
09/05/2018	17:23	x	x	-0,2	André Silva	Cerveja X
15/05/2018	10:13	x	x	-0,13	André Silva	Cerveja X
15/05/2018	11:40	-0,13	x	x	André Silva	Cerveja X
19/06/2018	08:44	x	x	-0,12	André Silva	Cerveja X
27/06/2018		0,1	x	0,12	Operador	Cerveja X

# Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja

André Filipe Carmo e Silva

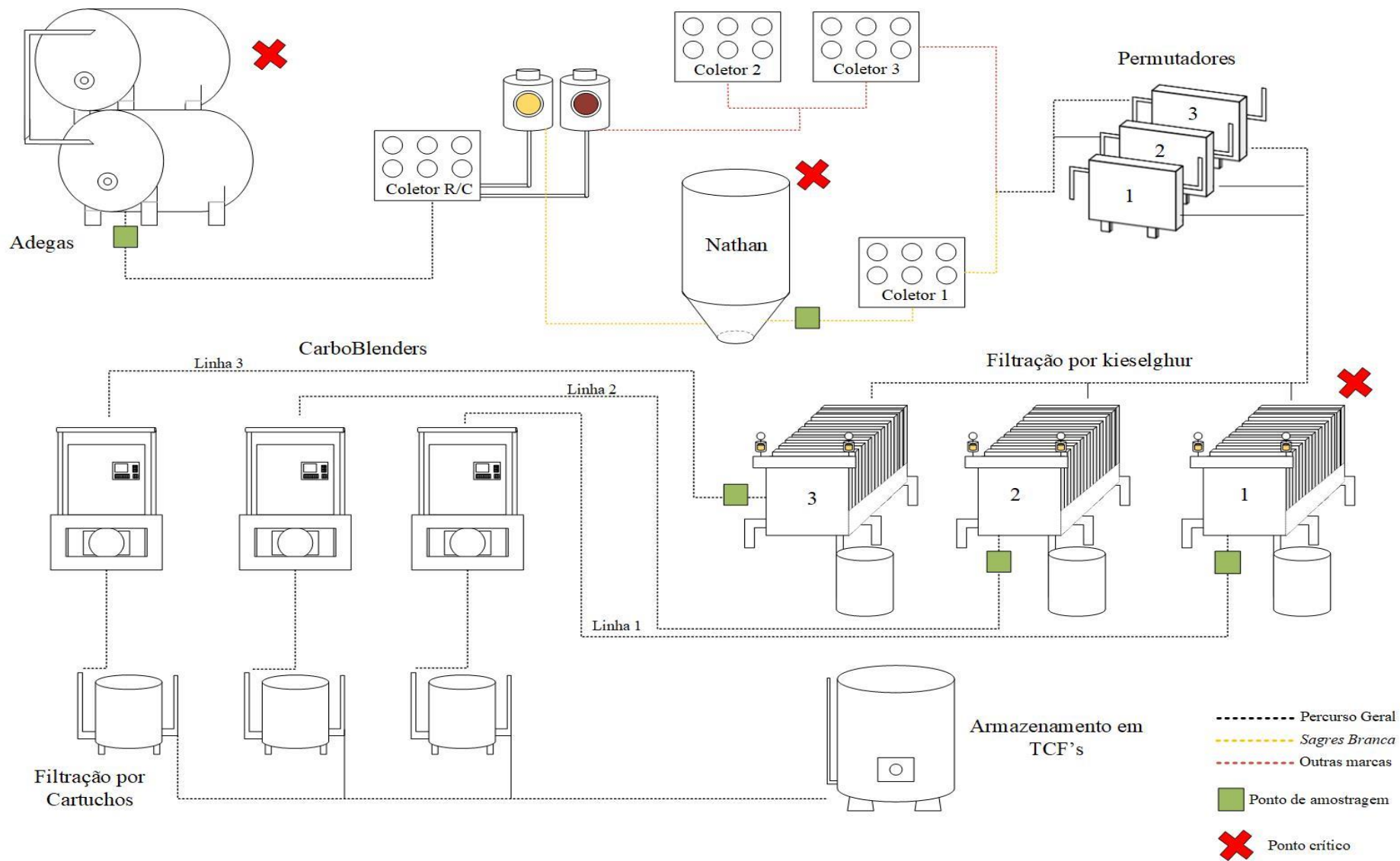


Figura E.9- Diagrama da área de Filtração



## Folha de Análise de Problema

Avaria   
  Pequena Paragem   
  Tempo Mudança Formato   
  Reclamação   
 Defeito   
 Quebra de Material   
 Energia   
 Acidente / Incidente / Quase Acidente   

<b>Operador:</b> (envolvido ou que detectou) André Silva	<b>Data / Hora:</b> -----	<b>Perda:</b> (min avaria, nº defeitos, Ac/Inc/QA) Qualidade da cerveja	<b>Descrição do Problema / Falha Funcional:</b> (Que função a máquina não executa, que parâmetro está fora de controlo, o que aconteceu) Diluição calculada com base nas indicações de caudal água/cerveja dos carboblenders é muito diferente do valor teórico esperado
<b>Área / Linha:</b> Filtração	<b>Máquina:</b> Carboblenders	<b>Grupo / Componente:</b> Sensores velocidade sonora/densidade	<b>Sinais anormais antes da ocorrência:</b> (vibração, ruído, fuga, odor, temperatura, etc) Nenhum sinal - funcionamento regular

**Descrição da falha e da reparação efectuada:** (detalhe do que aconteceu e do que foi feito para retomar o funcionamento; que ações imediatas foram tomadas)

Em inúmeras ocasiões, os carboblenders em modo automático e com os sensores devidamente calibrados, apresentam uma taxa de diluição substancialmente diferente da que era perspectivada teoricamente. Este facto impulsiona uma respostas dos operadores, calibrando o equipamento para que a diluição seja igual à apresentada no "mapa de diluições" ou mudando o modo de operação para manual, o que pode vir a comprometer os parâmetros de qualidade da cerveja a ser diluída. Já que a máquina foi estudada e não foi encontrado nenhum problema, talvez este resida no método que é usado para o controlo do bom funcionamento dos carboblenders - comparação da diluição determinada teoricamente

**Modo Falha:** (Qual a causa técnica ou situação que provocou perda de função, defeito, ...)

Carboblenders a operar em manual - devido ao método

**Análise realizada por:** André Silva      **Data da análise:** -----

43 % vs 46 %

Alteração para modo manual

Partida	Lot. Guard.	Al.	Con. (ppm)	Con. (ppm)	Temp. (°C)	Temp. (°C)	Temp. (°C)
104-113	Q188A003171	6.85	15.38	12.21	22.8	A	44.25
104-114	Q188A003171	6.85	15.38	12.21	22.8	A	44.25
104-115	Q188A003172	6.85	15.44	11.42	21.7	A	44.85
104-116	Q188A003173	6.85	15.44	11.42	21.7	A	44.85
104-117	Q188A003141	6.85	15.42	11.31	21.7	A	44.45

Figura E.10- Análise 5 Porquês (parte 1)

Folha de Análise 5 Porquês													
Descrição do problema (Modo de falha)	Causas Potenciais										Plano de Ação		
	1º Porquê	Verificado	2º Porquê	Verificado	3º Porquê	Verificado	4º Porquê	Verificado	5º Porquê	Verificado	4M	Ações corretivas	Quem
A diluição apresentada nos sistemas carboblenders é significativamente diferente da diluição esperada, calculada teoricamente e presente no mapa de diluições. Este facto influencia os operadores a fazer alteração indevidas nos sensores do carboblender (calibrações não necessárias) ou na alteração do modo de controlo - para modo manual.	O carboblender está, de facto, a funcionar mal	S	Porque, quando comparado com a diluição teórica, existe uma grande diferença	S	Porque os sensores não estão a funcionar corretamente	S	Porque existe algum problema com os mesmos ou não estão calibrados	S	Porque os planos de manutenção não são cumpridos	S	Máquina	Analizado os sensores - sem problema Determinados novos planos de calibração e manutenção	André Silva
	O operador responsável pensa que o carboblender está a funcionar mal	S	Porque deteta um desvio entre o valor real de diluição e o teórico - dando prioridade ao teórico	S	Porque não existe espírito crítico em relação a este valor	S	Porque os operadores não têm um conhecimento aprofundado sobre o carboblender	S	Porque não têm formação	S	Mão obra	Formação sobre o funcionamento do carboblender	André Silva
	O operador responsável pensa que o carboblender está a funcionar mal	S	Porque deteta um desvio entre o valor real de diluição e o teórico - dando prioridade ao teórico	S	Porque não existem limites implementados para a diferença entre diluições	S	Porque não são conhecidos	S	Porque não foi feito um estudo sobre isso	S	Método	Estudo para a determinação de limites de diferença para a diluição	André Silva
	O operador responsável pensa que o carboblender está a funcionar mal	S	Porque deteta um desvio entre o valor real de diluição e o teórico - dando prioridade ao teórico	S	Porque o valor de extrato primitivo (de guarda) que está no mapa de diluições não é o mesmo que chega ao carboblender	S	Porque a amostra retirada na guarda para determinar o extrato não representa o tanque inteiro	S	Deposição de extrato?	N	Método	Estudo para averiguar a evolução do valor de extrato ao longo da maturação e no envio da cerveja para a filtração	André Silva
	O operador responsável pensa que o carboblender está a funcionar mal	S	Porque deteta um desvio entre o valor real de diluição e o teórico - dando prioridade ao teórico	S	Porque o valor de extrato primitivo (de guarda) que está no mapa de diluições não é o mesmo que chega ao carboblender	S	Porque existe uma mistura significativa de cervejas de guardas diferentes na Nathan	S	Porque não é cumprido a indicação de enchimento da Nathan	S	Mão obra	Não corrigido	
	O operador responsável pensa que o carboblender está a funcionar mal	S	Porque deteta um desvio entre o valor real de diluição e o teórico - dando prioridade ao teórico	S	Porque o valor de extrato primitivo (de guarda) que está no mapa de diluições não é o mesmo que chega ao carboblender	S	Porque a cerveja é diluída significativamente ao longo do percurso guarda - carboblender	S	Porque, durante a filtração, o kieselguhr é introduzido nos filtros utilizando água que dilui a cerveja	S	Método	Atualização do mapa de diluições para compensar este efeito	Administração

Figura E.11- Análise 5 Porquês (parte 2)

*Tabela E.9- Diferença de extrato primitivo e teor de álcool no tanque de guarda*

<i>Guarda</i>	<i>Extrato p (Ao encher) °P</i>	<i>Extrato p (Ao esvaziar) °P</i>	<i>Diferença °P</i>	<i>Alcool %v/v inicial</i>	<i>Alcool %v/v final</i>	<i>Diferença %v/v</i>
420-419	15,22	15,19	0,03	6,79	6,79	0,00
418-417	15,22	15,18	0,04	6,79	6,78	0,01
416-415	15,29	15,25	0,04	6,96	6,95	0,01
414-413	15,29	15,23	0,06	6,96	6,94	0,02
412-411	15,33	15,29	0,04	6,96	6,94	0,02
410-409	15,33	15,29	0,04	6,96	6,95	0,01
408-407	15,37	15,33	0,04	6,89	6,88	0,01
406-405	15,37	15,31	0,06	6,89	6,87	0,02
404-403	15,42	15,35	0,07	6,84	6,8	0,04
402-401	15,42	15,36	0,06	6,84	6,81	0,03

*Tabela E.10- Análise diária de um tanque de guarda durante a maturação*

<i>Dias</i>	<i>Extrato p (°P)</i>	<i>Álcool (% v/v)</i>
1	15,3	-----
2	15,37	7,14
3	15,36	7,13
4	15,36	7,13
5	15,37	7,13
6	15,37	7,14
7	15,36	7,13
8	15,34	7,12
10	15,34	7,12

*Tabela E.11- Evolução de extrato primitivo e álcool ao longo do esvaziamento do tanque de guarda*

<i>Minutos</i>	<i>Extrato p (°P)</i>	<i>Álcool (% v/v)</i>
0	15,38	7,14
30	15,37	7,14
60	15,29	7,09
90	15,37	7,13
120	15,33	7,11
150	15,34	7,11
180	15,36	7,12
210	15,35	7,12
240	15,35	7,11
270	15,37	7,12
300	15,37	7,13
330	15,36	7,12
360	15,36	7,12
390	15,35	7,11
420	15,37	7,13
450	15,37	7,13
480	15,37	7,13
510	15,37	7,13

*Tabela E.12- Diferença de extrato primitivo entre a entrada e saída dos filtros*

<i>Filtro</i>	<i>Entrada °P</i>	<i>Saída °P</i>	<i>Diferença °P</i>	<i>Água adicionada (L)</i>
1	15,48	15,38	0,10	143
1	15,60	15,51	0,09	128
3	15,60	15,48	0,12	171
2	15,59	15,49	0,10	142
3	15,49	15,37	0,12	172
1	15,48	15,36	0,12	172
3	15,48	15,37	0,11	157
2	15,20	15,11	0,09	131
1	15,20	15,10	0,10	146
2	15,33	15,24	0,09	130
3	15,33	15,22	0,11	159
2	15,53	15,43	0,10	143
3	15,53	15,43	0,10	143
3	15,52	15,40	0,12	171
3	15,54	15,42	0,12	171
3	15,46	15,37	0,09	129
2	15,52	15,40	0,12	171
3	15,52	15,41	0,11	157

Código	Descrição (Componente)	Código	Descrição (Função)	Código	Descrição (Falha funcional)	Código	Descrição (Modo falha)	Segurança	Perda Produção	Custo de Restauração	Qualidade / HACCP	Ambiente	Compatibilidade	Frequência / ano	Críticidade	Problema está escalado	Custo de consequência de operação (€)	Custo de consequências de operação (€)	Manutenção preventiva & controle	Custo de manutenção anual (horas)	Redesign / Instalação nova	Custo de redesign / instalação (horas)	Formação	Observações							
																									0	1	2	3	4	5	Y
<b>1.1 Leitor extrato/densidade Centec (Rhotec, Somtec e Combitec)</b>																															
1.1.1	Sensor de velocidade sonora/densidade/temperatura	1.1.1.1	O sensor lê a velocidade do som e a temperatura e converte-os num sinal	1.1.1.1.1	Sem sinal	A	Instalação deficiente	0	2	1	0	0	1	0,16	3	N	Não	0	0				LUP em instalação								
						B	Sensor estragado	0	2	3	0	0	1	0,16	5	Y	Sim	0	0												
						C	Sensor sujo	0	2	1	0	0	1	0,16	3	Y	Sim	0	0												
										D	Quebra de ligação	0	2	1	0	0	1	0,16	3	N	Não	0	0								
								1.1.1.1.2	Sinal errado	A	Instalação deficiente	0	2	1	1	0	1	0,16	4	N	Não	33 480	5 357			CB 2 e 3: Afastar o sensor Sonatec do ponto de amostragem	4	LUP em instalação			
										B	Variação do grau de fermentação	0	2	0	1	0	3	1	9	Y	Sim	33 480	33 480			Instalar outro sensor para determinação de extrato primitivo antes do TCF - confirma o carboblender e garante menos amostras para laboratório / redesign o sistema para o sensor de extrato se encontrar antes da diluição - lê o extrato que chega e regula a água	?	LUP de funcionamento do sistema			
										C	Variação da composição do extrato	0	2	0	1	0	3	1	9	Y	Sim	33 480	33 480					LUP de funcionamento do sistema			
										D	Pressão insuficiente	0	2	0	1	0	1	0,16	3	N	Não	33 480	5 357					LUP de funcionamento do sistema			
										E	Temperatura não conforme	0	2	0	1	0	1	0,16	3	N	Não	33 480	5 357					LUP de funcionamento do sistema			
										F	Erro leitura de CO2	0	2	0	1	0	3	1	9	Y	Sim	33 480	33 480					LUP de funcionamento do sistema			
										G	Sujidade no sensor	0	2	1	1	0	1	0,16	4	Y	Sim	33 480	5 357								
										H	Poliuição com KG	0	2	1	1	0	1	0,16	4	Y	Sim	33 480	5 357								
				1.1.2	Transmissor do indicador	1.1.2.1	Traduz o sinal de velocidade do som para um sinal 4 - 20 mA	1.1.2.1.1	Sem sinal	A	Configuração errada	0	2	1	0	0	1	0,16	3	N	Não	0	0							LUP em configuração	
										B	Transmissor sem funcionar	0	2	3	0	0	1	0,16	5	N	Não	0	0								
								1.1.2.1.2	Sinal errado	A	Programa errado	0	2	1	1	0	1	0,16	4	Y	Sim	33 480	5 357								
										B	Output sinal digital errado	0	2	1	1	0	1	0,16	4	Y	Sim	33 480	5 357								
										C	Calibração errada do sensor	0	2	0	1	0	3	1	9	Y	Sim	33 480	33 480	Check Mensal / Trimestral Anualmente com água 5/10 anos - factory reset	4 / 12 1			Novo SOP para carboblenders			
										D	Input errado do sensor de CO2	0	2	0	1	0	1	0,16	3	Y	Sim	33 480	5 357								
1.2.3	Analog input card	1.1.3.1	Traduzir o sinal analógico para um sinal digital	1.1.3.1.1	Tradução errada	A	Problemas electrónicos	0	2	2	1	0	1	0,16	5	Y	Sim	33 480	5 357												
1.2.4	Unidade de cálculo PID	1.1.4.1	Calcular os sinais de output com as devidas correções	1.1.4.1.1	Output errado	A	Falha no PID	0	2	2	1	0	1	0,16	5	Y	Sim	33 480	5 357					Novo SOP para carboblenders							
						B	Colocado em manual	0	0	0	1	0	1	0,16	1	N	Não	33 480	5 357	Check antes do software antes do iniciar											
						C	Programa errado	0	0	0	1	0	1	0,16	1	N	Não	33 480	5 357	Check antes do software antes do iniciar					Novo SOP para carboblenders						
1.2.5	Analog output card	1.1.5.1	Traduzir sinais digitais para sinais analógicos	1.1.5.1.1	Tradução errada	A	Problemas electrónicos	0	2	2	1	0	1	0,16	5	Y	Sim	33 480	5 357												

Figura E.12- FMECA e RCM aos sensores determinadores de extrato

## Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja

André Filipe Carmo e Silva

Código	Descrição (Componente)	Código	Descrição (Função)	Código	Descrição (Falha funcional)	Código	Descrição (Modo falha)	Sequência	Perda Produção	Custo de Restauração	Qualidade / HACCP	Ambiente	Calibração / Inspeção	Frequência / ano	Criticalidade	Problema está escondido	Custo de consequência de operação (2 TCF's)€	Custo de consequências de operação (€)	Manutenção preventiva & controlo	Custo de manutenção anual (horas)	Redesign / Instalação nova	Custo de redesign / instalação (horas)	Formação	Observações	
<b>2.1 Leitor de CO2</b>																									
2.1.1	Pistão	2.1.1.1	O pistão tem como função abrir e fechar a câmara de medição	2.1.1.1.1	Sem sinal	A	Valvula solenoide não funciona	0	3	2	0	0	1	0,16	5	N	Não	0	0						
2.1.2	Câmara de medição	2.1.2.1	Medir a pressão parcial de CO2 e a temperatura do liquido	2.1.2.1.1	Sem sinal	A	Pistão não funciona	0	3	2	0	0	1	0,16	5	N	Não	0	0						
				2.1.2.1.2	Sinal errado	A	Humidade de uma fuga interna	0	2	0	1	0	1	0,16	3	Y	Sim	33 480	5 357	Check visual mensal		Possível instalação de um medidor gêmeo antes dos TCF's Atualizar os sensores nos CB 2 e 3	?		
						B	Humidade de uma fuga externa	0	2	0	1	0	1	0,16	3	Y	Sim	33 480	5 357	Check visual mensal					
						C	Sensor de pressão avariado	0	2	0	1	0	1	0,16	3	Y	Sim	33 480	5 357	Check com teste de bolhas	?				
						D	Sensor de temperatura avariado	0	2	0	1	0	1	0,16	3	Y	Sim	33 480	5 357						
E	Sujidade derivado a refrigerantes	0	2	0	1	0	1	0,16	3	Y	Sim	33 480	5 357	Limpeza trimestral Substituição de o-rings e gaskets - 6 meses/ 1 ano	2										
2.1.3	Transmissor do indicador	2.1.3.1	Traduz o sinal de velocidade do som para um sinal 4 - 20 mA	2.1.3.1.1	Sem sinal	A	Configuração errada	0	2	1	0	0	1	0,16	3	N	Não	0	0					LUP de configuração	
						B	Transmissor sem funcionar	0	2	3	0	0	1	0,16	5	N	Não	0	0						
				2.1.3.1.2	Sinal errado	A	Programa errado	0	2	1	1	0	1	0,16	4	Y	Sim	33 480	5 357						
						B	Output sinal digital errado	0	2	1	1	0	1	0,16	4	Y	Sim	33 480	5 357						
C	Calibração errada do sensor	0	2	0	1	0	3	1	9	Y	Sim	33 480	33 480	Check semanal	0,2						LUP de calibração				
2.1.4	Analog input card	2.1.4.1	Traduzir o sinal analógico para um sinal digital	2.1.4.1.1	Tradução errada	A	Problemas electrónicos	0	2	2	1	0	1	0,16	5	Y	Sim	33 480	33 480						
2.1.5	Unidade de cálculo PID	2.1.5.1	Calcular os sinais de output com as devidas correções	2.1.5.1.1	Output errado	A	Falha no PID	0	2	2	1	0	1	0,16	5	N	Não	33 480	5 357						
						B	Colocado em manual	0	0	0	1	0	1	0,16	1	N	Não	33 480	5 357	Check antes do software antes do iniciar					Novo SOP para carboblenders
						C	Programa errado	0	0	0	1	0	1	0,16	1	N	Não	33 480	5 357	Check antes do software antes do iniciar					Novo SOP para carboblenders
2.1.6	Analog output card	2.1.6.1	Traduzir sinais digitais para sinais analógicos	2.1.6.1.1	Tradução errada	A	Problemas electrónicos	0	2	2	1	0	1	0,16	5	Y	Sim	33 480	5 357						

Figura E.13- FMECA e RCM aos sensores de CO2

Código	Descrição (Componente)	Código	Descrição (Função)	Código	Descrição (Falha funcional)	Código	Descrição (Modo falha)	Segurança	Perda Produção	Custo de Restauração	Qualidade / HACCP	Ambiente	Compatibilidade	Frequência / ano	Criticidade	Problema está escondido	Custo de consequências de operação (3 TCPS) €	Custo de consequências de operação (€)	Mantenimento preventiva & controlo	Custo de manutenção anual (horas)	Redesign / Instalação nova	Custo de redegin / instalação (horas)	Formação	Observações					
<b>3.1 Oxytrans TR Centec/ Digox Dr.Thiedig/ Metler Toledo</b>																													
3.1.1	Sensor que mede de forma contínua e exata o conteúdo de O2 no líquido	3.1.1.1	O sensor mede a concentração de oxigénio com base na absorção de luminescência inerente às moléculas de O2	3.1.1.1.1	Sem sinal	A	Laser não funciona	0	2	1	0	0	1	0,16	3	N	Não	0	0										
						B	Camada indicadora não funciona	0	2	1	0	0	1	0,16	3	N	Não	0	0	Substituição anual	2								
				3.1.1.1.2	Sinal errado	A	Laser com sinal fraco	0	1	1	1	0	1	0,16	3	Y	Sim	33 480	5 357					CB 1 - sensor muito perto de uma curva na tubagem, desloca-lo para cumprir a norma 10 x o diametro do tubo antes do sensor e 5 x depois	?				
						B	Lente emissora suja	0	1	0	1	0	1	0,16	2	Y	Sim	33 480	5 357										
						C	Lente receptora suja	0	1	0	1	0	1	0,16	2	Y	Sim	33 480	5 357										
						D	Humidade no sensor	0	1	1	1	0	1	0,16	3	N	Não	33 480	5 357	Check visual mensal									
				3.1.2	Transmissor do indicador	3.1.2.1	Traduz o sinal de velocidade do som para um sinal 4 - 20 mA	3.1.2.1.1	Sem sinal	A	Configuração errada	0	2	1	0	0	1	0,16	3	N	Não	0	0						LUP de configuração
B	Transmissor sem funcionar	0	2							3	0	0	1	0,16	5	N	Não	0	0										
3.1.2.1.2	Sinal errado	A	Programa errado					0	2	1	1	0	1	0,16	4	Y	Sim	33 480	5 357										
		B	Output sinal digital errado					0	2	1	1	0	1	0,16	4	Y	Sim	33 480	5 357										
		C	Calibração errada do sensor					0	2	0	1	0	3	1	9	Y	Sim	33 480	33 480									LUP de calibração	
3.1.3	Analog input card	3.1.3.1	Traduzir o sinal analógico para um sinal digital	3.1.3.1.1	Tradução errada	A	Problemas electrónicos	0	2	2	1	0	1	0,16	5	Y	Sim	33 480	33 480										
3.1.4	Unidade de cálculo PID	3.1.4.1	Calcular os sinais de output com as devidas correções	3.1.4.1.1	Output errado	A	Falha no PID	0	2	2	1	0	1	0,16	5	N	Não	33 480	5 357										
						B	Colocado em manual	0	0	0	1	0	1	0,16	1	N	Não	33 480	5 357	Check antes do software antes do iniciar							Novo SOP para carboblenders		
						C	Programa errado	0	0	0	1	0	1	0,16	1	N	Não	33 480	5 357	Check antes do software antes do iniciar							Novo SOP para carboblenders		
3.1.5	Analog output card	3.1.5.1	Traduzir sinais digitais para sinais analógicos	3.1.5.1.1	Tradução errada	A	Problemas electrónicos	0	2	2	1	0	1	0,16	5	Y	Sim	33 480	5357										

Figura E.14- FMECA e RCM nos sensores de oxigénio

## Otimização do processo de Filtração e Diluição de cerveja

André Filipe Carmo e Silva

Código	Descrição (Componente)	Código	Descrição (Função)	Código	Descrição (Falha funcional)	Código	Descrição (Modo falha)	Segurança	Perda Produção	Custo de Restauração	Qualidade / HACCP	Ambiente	Tempo de Resposta	Frequência / ano	Criticalidade	Problema está escondido	Custo de consequências de operação (3-TCF) €	Custo de consequências de operação (€)	Manutenção preventiva & controle	Custo de manutenção anual (horas)	Redesign / Instalação nova	Custo de redesign / instalação (horas)	Formação	Observações			
<b>4.1 Caudalímetro Promag Endress and Hauser</b>																											
4.1.1	Caudalímetro que utiliza o princípio de electromagnetismo	4.1.1.1	Mede e indica o caudal	4.1.1.1.1	Falha no cálculo da diluição da cerveja	A	Danos nos canos	0	3	2	0	0	1	0,16	5	N	Não	0	0	Check anual	1						
					B	Configuração errada	0	1	0	0	0	1	0,16	1	N	Não	0	0									
				4.1.1.1.2	Indicação de caudal errada	A	Sujidade	0	1	0	0	0	1	0,16	1	Y	Sim	0	0	0	0	Check anual	1				
					B	Problemas eletrónicos	0	1	1	0	0	1	0,16	2	N	Não	0	0									
4.1.2	Transmissor do indicador	4.1.2.1	Traduz o sinal de velocidade do som para um sinal 4 - 20 mA	4.1.2.1.1	Sem sinal	A	Configuração errada	0	2	1	0	0	1	0,16	3	N	Não	0	0					LUP em configuração			
					B	Transmissor sem funcionar	0	2	3	0	0	1	0,16	5	Y	Sim	0	0									
				4.1.2.1.2	Sinal errado	A	Programa errado	0	2	1	1	0	1	0,16	4	Y	Sim	33 480	5 357								
					B	Output sinal digital errado	0	2	1	1	0	1	0,16	4	N	Não	33 480	5 357									
					C	Calibração errada	0	2	0	1	0	1	0,16	3	N	Não	33 480	5 357	Calibração anual com água desmineralizada	1					LUP em calibração		
				4.1.3	Analog input card	4.1.3.1	Traduzir o sinal analógico para um sinal digital	4.1.3.1.1	Tradução errada	A	Problemas electrónicos	0	2	2	1	0	1	0,16	5	N	Não	33 480	5 357				
4.1.4	Unidade de cálculo PID	4.1.4.1	Calcular os sinais de output com as devidas correções	4.1.4.1.1	Output errado	A	Falha no PID	0	2	2	1	0	1	0,16	5	N	Não	33 480	5 357								
						B	Colocado em manual	0	0	0	1	0	1	0,16	1	Y	Sim	33 480	5 357	Check antes do software antes do iniciar						Novo SOP para carboblenders	
						C	Programa errado	0	0	0	1	0	1	0,16	1	Y	Sim	33 480	5 357	Check antes do software antes do iniciar						Novo SOP para carboblenders	
4.1.5	Analog output card	4.1.5.1	Traduzir sinais digitais para sinais analógicos	4.1.5.1.1	Tradução errada	A	Problemas electrónicos	0	2	2	1	0	1	0,16	5	N	Não	33 480	5 357								

Figura E.15- FMECA e RCM nos caudalímetros



Código	Descrição (Componente)	Código	Descrição (Função)	Código	Descrição (Falha funcional)	Código	Descrição (Modo falha)	Segurança	Perda Produção	Custo de Restauração	Qualidade / HACCP	Ambiente	Consequências	Frequência / ano	Criticalidade	I	Problema está escondido	Custo de consequências de operação (3 TCF\$)E	Custo de consequências de operação (€)	Manutenção preventiva & controlo	Custo de manutenção anual (horas)	Redesign / Instalação nova	Custo de redesign / instalação (horas)	Formação	Observações				
<b>5.1 Válvulas modeladoras de caudal água/Co2</b>																													
5.1.1	Válvula de controlo de caudal	5.1.1.1	Ajustar o caudal segundo informação que lhe é transmitida através de sinais mA, traduzindo-os em sinais de pressão	5.1.1.1.1	Sem sinal	A	Configuração errada	0	2	0	0	0	1	0,16	2	N	Não	0	0						LUP em configuração				
						B	Vibrações	0	3	1	0	0	1	0,16	4	N	Não	0	0										
						C	Transmissor danificado	0	3	1	0	0	1	0,16	4	N	Não	0	0										
				5.1.1.1.2	Sinal errado	A	Configuração errada	0	2	0	0	0	1	0,16	2	N	Não	0	0								LUP em configuração		
					B	Posição alterada pela vibração	0	3	1	0	0	1	0,16	4	N	Não	0	0	Check no painel de controlo					LUP de painel de controlo					
5.1.2	Gerador de ar	5.1.2.1	Converter o sinal de pressão numa ação mecânica para abrir/fechar a válvula	5.1.2.1.1	Valvula não responde	A	Fuga na membrana	0	3	1	0	0	1	0,16	4	N	Não	0	0	Check anual	1								
						B	Molas danificadas	0	3	1	0	0	1	0,16	4	N	Não	0	0										
						C	Molas não indicadas	0	3	1	0	0	1	0,16	4	N	Não	0	0										
5.1.3	Tampão	5.1.3.1	Bloquear fisicamente a água	5.1.3.1.1	Doseamento de água incorreto	A	Danos	0	3	2	0	0	1	0,16	5	N	Não	0	0	Check a cada 2 anos	1								
						B	Input errado pelo posicionador	0	1	0	0	0	1	0,16	1	N	Não	0	0										

Figura E.16- FMECA e RCM nas válvulas modeladoras

