Universidade de Aveiro
2018

Departamento de Química

Ana Rita Madureira de Sousa

Avaliação de soluções para o scuffing em garrafas de tara retornável

Universidade de Aveiro
2018

Departamento de Química

Ana Rita Madureira de Sousa

Avaliação de soluções para o scuffing em garrafas de tara retornável

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Maria Rebelo Barreto Xavier, professora auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e co-orientação da Doutora Isabel Maria Lima Bettencourt Ávila técnica superior de qualidade no Super Bock Group.

o júri

presidente

Doutora Maria Inês Purcell De Portugal Branco

Professora Auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

Doutora Maria Helena Figueira Vaz Fernandes

Professora Associada do Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro

Doutora Isabel Maria Lima Bettencourt Ávila

Técnica Superior de Qualidade do Super Bock Group

agradecimentos

À Dra. Ana Xavier, pela orientação, pelo acompanhamento e disponibilidade prestada.
À Dra. Isabel Ávila pela partilha de conhecimento, pela disponibilidade e simpatia.

A todos os que fazem parte do departamento de Qualidade do Super Bock Group, por estarem sempre disponíveis a ajudar.
Às minhas colegas de estágio, Marta e Inês, pelas gargalhadas, pela amizade e apoio.

Aos meus pais que, como sempre, me deram a confiança necessária para concluir mais uma etapa. Obrigada pelo esforço e por terem tornado tudo isto possível!
Ao meu mano, por acreditar em mim.
Aos meus amigos e namorado, pelo interesse em ouvir todos os desabafos e preocupações, por estarem presentes nos melhores e piores momentos.

palavras-chave Linha de enchimento; Garrafas de tara retornável; *Scuffing;* Mascarar

resumo

Numa sociedade cada vez mais consumista, a qualidade de um determinado produto, é tão valorizada junto do consumidor, como o aspeto visual ou imagem da sua embalagem. A evolução da sociedade aponta para um modelo de economia circular e faz uma pressão cada vez maior para a reutilização de materiais, como forma de reduzir o volume de resíduos. Uma garrafa de cerveja de tara retornável (TR) apelativa deixa assim de ser um atributo e é hoje um requisito em qualquer indústria cervejeira.

O estágio aqui apresentado e desenvolvido no Super Bock Group, surgiu da necessidade de solucionar na indústria cervejeira o problema do visível desgaste do vidro, designado por *scuffing*, em garrafas de tara retornável. O objetivo principal foi a implementação de um novo equipamento industrial que permite mascarar o scuffing e a avaliação do produto mascarador proposto. Para tal definiram-se os parâmetros de operação, para os quais a máquina doseadora de produto mascarador, permite obter uma maior percentagem de garrafas com scuffing baixo. Estando os parâmetros definidos, e a máquina a operar segundo estes, avaliou-se se o produto e as condições testadas solucionavam o problema de scuffing.

A classificação qualitativa existente de nível de scuffing nas garrafas, baixo, médio e alto foi associada aos respetivos valores de brancura (L) visíveis na garrafa tendo-se estabelecido uma classificação quantitativa. Verificou-se que o scuffing era baixo para L inferior a 20, médio para L entre 20 e 25 e alto para L superior a 25. Foi realizado um teste industrial em garrafas de 200 mL com um produto mascarador de scuffing. Definiram-se os parâmetros sob os quais a máquina iria atuar: 11% de concentração de produto mascarador, frequência de injeção da máquina de 100Hz e Distribuição de produto (PWM) de 20-90%. Encontrando-se a máquina a operar com os parâmetros definidos, fez-se a classificação em relação ao nível de scuffing de uma amostragem de garrafas antes e após receberem o tratamento superficial. Antes de receberem o produto 56% garrafas apresentavam scuffing alto, 23% scuffing médio e 21% scuffing baixo. Após a aplicação do produto, 2% das garrafas apresentaram scuffing alto, 8% scuffing médio e 90% scuffing baixo.

Durante o estágio desenvolveram-se outros projetos nomeadamente o estudo da influência das paragens de linha na qualidade de cerveja das garrafas que param entre a enchedora e o capsulador, ficando assim expostas ao ar. O outro projeto desenvolvido, foi um teste industrial com uma nova cápsula para garrafa de cerveja Super Bock de 1 litro.

Em conclusão, o estágio desenvolvido no Super Bock Group permitiu avaliar a implementação de um novo equipamento industrial, definir as condições de operação e aprovar o produto mascarador testado. Os projetos paralelamente desenvolvidos permitiram em primeiro lugar um conhecimento mais abrangente sobre o enchimento na indústria cervejeira, tendo o trabalho desenvolvido contribuído para melhorar a qualidade da cerveja que chega ao consumidor.

keywords Filling line; Returnable glass bottles; *Scuffing; Mask*

abstract

In an increasingly consumerist society, the quality of a product is as valued with the consumer as the visual aspect or image of its packaging. The evolution of society points to a model of circular economy and puts increasing pressure on the reuse of materials to reduce the volume of waste. An appealing returnable glass bottle of beer thus ceases to be an attribute and is now a requirement in any brewing industry.

The stage presented here and developed in the Super Bock Group, arose from the need to solve in the brewing industry the problem of visible glass wear, called scuffing, in returnable glass bottles. The main objective was the implementation of a new industrial equipment that masks the scuffing and evaluation of the proposed masking product. For this purpose, the operating parameters were defined, for which the dosing machine of the masking product allows to obtain a greater percentage of bottles with low scuffing. With the parameters defined, and the machine to be operated according to these, it was evaluated whether the product and the conditions tested solved the problem of scuffing.

The existing qualitative classification of scuffing levels in the bottles, low, medium and high was associated to the respective values of whiteness (L) visible in the bottle and a quantitative classification was established. Scuffing was found to be low for L less than 20, medium for L between 20 and 25 and high for L greater than 25. An industrial test was performed on 200 ml bottles with a scuffing masking product. The parameters under which the machine would act were defined: 11% of the concentration of the masking product, the injection frequency of the machine of 100Hz and the Product Distribution (PWM) of 20-90%. Finding the machine to operate with defined parameters, the classification was done in relation to the level of scuffing of a sample of bottles before and after receiving the surface treatment. Prior to receiving the product 56% bottles had high scuffing, 23% scuffing medium and 21% scuffing low. After applying the product, 2% of the bottles had high scuffing, 8% scuffing medium and 90% scuffing low.

During the internship, other projects were developed, namely the study of the influence of line stops on the beer quality of the bottles that stop between the filler and the capper, thus being exposed to the air. The other project was an industrial test with a new 1-liter Super Bock bottle of beer.

In conclusion, the internship developed in the Super Bock Group allowed to evaluate the implementation of a new industrial equipment, to define the operating conditions and to approve the tested masking product. The parallel projects developed in the first place a more comprehensive knowledge about the filling in the brewing industry, and the work developed contributed to improve the quality of the beer that reaches the consumer.

Índice

1. Enquadramento e objetivos 1
1.1. Apresentação da empresa 1
1.2. Motivação e Objetivos 1
2. Introdução teórica 3
2.1. Vidro 3
2.2. Fabrico de garrafas vidro 4
2.3. Estrutura de uma garrafa de vidro 4
2.4. Garrafas de tara retornável 5
2.5. *Scuffing* 6
2.5.1. *Scuffing* Mecânico 7
2.5.2. *Scuffing* Químico 8
2.6. Sistemas de medição do *scuffing* 9
2.6.1. Colorímetro 9
2.6.1.1. Funcionamento 9
2.6.1.2.CIE 9
2.6.1.3. Sistema Primário CIExyz 10
2.6.1.4. Espaço de cor Lab 11
2.6.2. *Scuffmeter* 12
2.6.3. Rugosímetro 12
2.7. Tratamento de superfície das garrafas durante o seu fabrico 13
2.7.1. Tratamento de superfície a quente 13
2.7.2. Tratamento de superfície a quente e frio 14
2.8. Mascarar o *scuffing* na fábrica de enchimento (Objetivo do trabalho) 14
3. Linha de enchimento TR e ponto de situação 16
3.1. Descrição da linha de enchimento TR 16
3.2. Controlo de qualidade da linha TR 24
3.3. Ponto de situação do *scuffing* 26
4. Material e Procedimento experimental 28
4.1. Caracterização da solução *DivoMask NC* 28
4.2. Equipamento de dosagem 28
4.3. Procedimento experimental 30
5. Apresentação e discussão dos resultados 32
5.1. Definição dos parâmetros de operação do equipamento industrial 32

5.3. Nível de scuffing das garrafas SB 0,20L antes e após o produto mascarador 34
5.4. Custo de adquirir vasilhame novo vs. custo de mascarar as garrafas 37
5.5. Conclusão 39
6. Outros projetos desenvolvidos 40
6.1. Paragens de linha e sua influência na qualidade da cerveja exposta ao ar 40
6.1.1. Motivação 40
6.1.2. Material e procedimento experimental 40
6.1.2.1. *Carbo QC* - Quantificador do CO_2 dissolvido 40
6.1.2.2. *Haffmans* - Medidor da concentração de O_2 e CO_2 42
6.1.3. Procedimento experimental 43
6.1.4. Apresentação e discussão dos resultados 43
6.1.4.1. Concentração de CO_2 em função do tempo de exposição ao ar 43
6.1.4.2. Concentração de O_2 e CO_2 em função do tempo de exposição ao ar 44
6.1.4.3. Análise sensorial 45
6.1.5. Conclusão 48
6.2. Teste Industrial com novas cápsulas de rosca 49
6.2.1. Motivação 49
6.2.2. Procedimento experimental 49
6.2.3. Apresentação e discussão dos resultados 50
6.2.3.1. Testes de controlo de qualidade 50
A. Torque 50
B. Estanquicidade 51
C. Pressão de retenção 52
6.2.3.2. Defeitos críticos de capsulagem: Pontes partidas 52
Estudo da origem dos defeitos críticos de capsulagem 53
6.2.4. Conclusão 55
7. Conclusões 56
7.1. Conclusão gerais 56
7.2. Desenvolvimentos futuros 57
8. Bibliografia 58
Anexo A 61
Cálculo do consumo de produto mascarador por garrafa 61
Gráfico do nível de scuffing de garrafas em função do seu ano de fabrico 61
Anexo B 62
Fórmulas utilizadas pelo *Carbo QC* para o cálculo da concentração de CO_2 62

Fórmulas utilizadas pelo *Haffmans* para o cálculo da concentração de O_2 63
Cálculo do tempo máximo de exposição ao ar para SB 0,33L 64
Anexo C 65
Desenho técnico da marisa da garrafa SB 1litro 65

Índice de Tabelas

Tabela 1- Valores de propriedades do vidro utilizado para garrafas. [2] 3
Tabela 2- Dados técnicos do Divo Mask NC. 28
Tabela 3-Especificações de CO_2 e O_2 em cerveja Super Bock. 40
Tabela 4-Avaliação global que os provadores podem dar as amostras durante uma análise sensorial. 46
Tabela 5- Classificação das amostras de cerveja em função da avaliação global média que obtiveram. 48

Índice de Figuras

F*igura 1-Linha cronológica do Super Bock Group.* 1
Figura 2-Nomenclatura dos constituintes das embalagens de vidro 5
Figura 3-Ciclo de vida das garrafas TR. 5
Figura 4-Imagem de garrafas com scuffing. 7
Figura 5-Imagem de garrafas em transportadores na linha de enchimento TR, a serem direcionadas por guias ao longo da linha. 8
Figura 6-Figura esquemática do funcionamento de um colorímetro. [11] 9
Figura 7-Diagrama de cromaticidade x e y. [10] 11
Figura 8- Figura esquema de um sólido no espaço de cor Lab. [15] 12
Figura 9-Imagem do funcionamento de um rogusímetro. [17] 13
Figura 10-Diagrama da linha de enchimento 3. 16
Figura 11-Inspetor de grades da linha de enchimento 3. 17
Figura 12-Desengradadora a colocar as garrafas TR na linha de enchimento 3. 17
Figura 13-Esquema de funcionamento de uma lavadora industrial de garrafas. [23] 19
Figura 14-Imagem frontal da lavadora de garrafas TR da linha 3. 19
Figura 15-Inspetor de vazio da linha 3. 20
Figura 16-Imagem representativa do funcionamento da enchedora e capsulador da linha TR de enchimento de cerveja. [24] 20
Figura 17-Sequência de enchimento de uma garrafa de cerveja. 1, Pré evacuação. 2, Descarga de CO2. 3, Enchimento. 4, Ajuste de nível. 5, Despressurização. [25] 21
Figura 18- Jato de água quente desarejada a originar a formação de espuma na cerveja. [25] 22
Figura 19-Processo de capsulagem com coroa.1, anel de capsulagem; 2, capsulagem; 3, ejector; 4, íman. [26] 22
Figura 20-Garrafas dentro do pasteurizador. 23
Figura 21-Imagem representativa de uma rotuladora e imagem real da parte de aplicação de rótulo. 1, Entrada de garrafas; 2, Aplicação de rótulo; 3, Aplicação de contrarrótulo; 4, Saída de garrafas. 23
Figura 22-Palete de grades de cerveja envolvida em filme de plástico, a ser etiquetada antes de seguir para armazém. 24
Figura 23-Classificação dos defeitos do scuffing apoiada em garrafas 0,33L testemunho. 26

Figura 24- Classificação dos defeitos de scuffing apoiada em garrafas 0,20L testemunho. 26
Figura 25-Percentagem de garrafas Super Bock 0,20L e 0,33L com scuffing baixo, médio e alto no ano 2016 e em 2018. 27
Figura 26-Equipamento de aplicação do produto mascarador.1-Misturador estático; 2-Filtro; 3-Válvula de segurança para certificar o não retorno; 4-Entrada de água industrial; 5-Entrada de ar comprimido; 6-Recipiente onde se encontra o produto mascarador; 7-Válvula de controlo dos jatos de ar; 8- Controlador e ecrã; 9- Válvula de controlo de entrada do produto mascarador; 10- Caudalímetro; 11-Válvula de regulação de água; 12-"nozles" de controlo automático que pulverizam a emulsão mascaradora para as garrafas; 13-Jatos de ar; 14-Sensor ótico; 29
Figura 27-Figura esquemática explicando o PWM. 30
Figura 28-Percentagem de garrafas tratadas com scuffing baixo, médio e alto em função dos parâmetros sobre os quais a máquina estava a atuar. 32
Figura 29- 10 garrafas com scuffing antes e depois de serem tratadas com o produto mascarador......33
Figura 30- Gráfico do valor de Brancura (L) medido na banda superior(ombro) e inferior (calcanhar) de cada garrafa antes e depois de ser tratada. 33
Figura 31-Largura das Bandas superiores e inferiores de scuffing das 10 garrafas submetidas à leitura por parte do colorímetro antes de receberem o tratamento mascarador......34
Figura 32- Gráfico de percentagem de garrafas com scuffing baixo, médio e alto das amostras de garrafas sem e com produto mascarador em diferentes condições de armazenamento em função do tempo......35
Figura 33- Garrafas com scuffing, sendo que as garrafas da direita foram tratadas e não o evidenciam. As garrafas foram armazenadas numa cave a uma temperatura de cerca de 20 ˚C dois dias......36
Figura 34- Garrafas com produto mascarador que estiveram na camara frigorífica a uma semana......36
Figura 35- Garrafas que foram tratadas com produto mascarador e que estiveram numa estufa a 37˚C durante 1 semana......37
Figura 36-Garrafas que foram tratadas com produto mascarador, antes e após serem colocadas num balde de gelo durante 1 dia. 37

Figura 37-Custo de adquirir a percentagem de garrafas de scuffing alto, scuffing alto e médio para garrafas 0,20L e 0,33L; Custo de mascarar as garrafas durante 1 ano e durante 7 anos. 39
Figura 38-Instrumento analítico que mede a concentração de CO_2 (Carbo QC). 41
Figura 39-Equipamento que mede a concentração de oxigénio e dióxido de carbono na cerveja: Haffmans. 42
Figura 40- Concentração de CO_2 em função de diferentes tempos de exposição ao ar em garrafas de Super Bock 0,20L e 0,30L. 44
Figura 41-Valores de concentração de O_2 e CO_2 em função de tempos de exposição ao ar obtidos com o medidor Haffmans em garrafas de cerveja Super Bock 0,20L. 45
Figura 42-Disposição dos copos apresentada aos 5 provadores. 46
Figura 43-Avaliação global média das cervejas que estiveram expostas ao ar: 15 segundos, 30 segundos, 1 minuto e 5 minutos. 47
Figura 44-Figura representativa de uma cápsula de rosca, antes e depois de sofrer a ação da cabeça de cravação da capsuladora. [29] 49
Figura 45-Imagem de uma garrafa de 1 litro de Super Bock num torquímetro. 50
Figura 46-Valores de torque (Nm) medidos em garrafas Super Bock 1 L. 51
Figura 47-Grade de garrafas de 1 litro Super Bock a ser submetida a um teste de estanquicidade. 52
Figura 48-Garrafa de 1 litro Super Bock a ser submetida a um teste de pressão de retenção. 52
Figura 49-Imagem de ponte partida em cápsula Guala. 53
Figura 50- Valores de pressão dos discos de cravação lateral das 20 cabeças da capsuladora da linha 6. 53
Figura 51-Números de defeitos encontrados nos respetivos moldes de garrafas com a cápsula Guala. 54
Figura 52- Números de defeitos encontrados nos respetivos moldes de garrafas com a cápsula Closure Logic. 54
Figura 53-Valores de altura de marisas das garrafas que apresentaram defeitos. 55

Simbologia

CIE Comissão Internacional da Iluminação

DO *Dissolved Oxygen*

Grf Garrafas

HSO *Head Space oxygen*

L Brancura

PCC Ponto critico de controlo

PM Produto Mascarador

PPR Programa de pré-requisitos

PPRO Programa de pré-requisitos operacionais

PWM *Pulse With Modulation*

TP Tara Perdida

TPO *Total Package Oxygen*

TR Tara Retornável

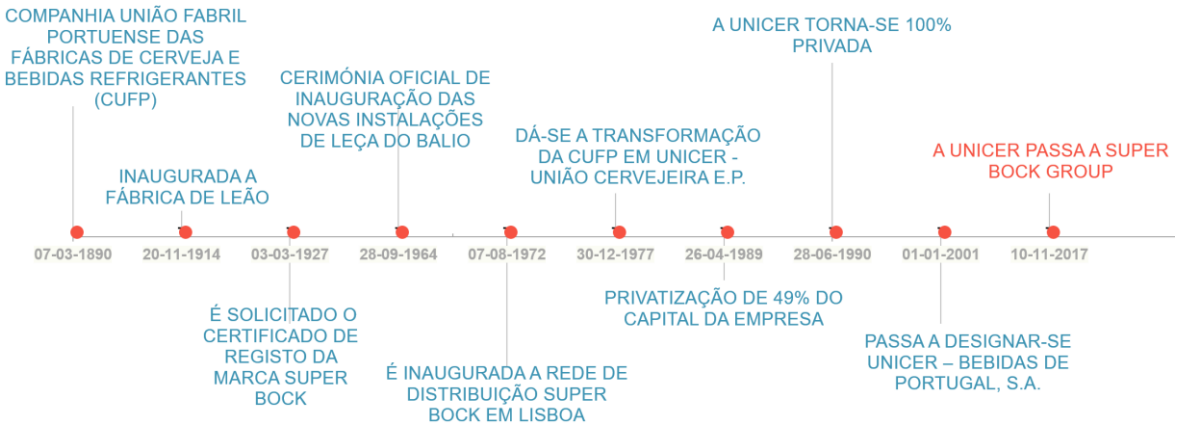
SB Super Bock

UP Unidades de pasteurização

1. Enquadramento e objetivos

1.1. Apresentação da empresa

O Super Bock Group é a maior empresa de bebidas em Portugal, com sede em Leça do Balio, Matosinhos, sendo o presidente da comissão executiva Rui Manuel Rego Lopes Ferreira. É detida em 56% pelo grupo VIACER (Violas e Arsopi) e 44% pelo grupo Carlsberg. Deu vida a um conjunto de marcas como as cervejas Super Bock e Cristal, a sidra Somersby, águas Vitalis e Pedras. Encontra-se também no setor turístico, detendo os parques lúdico termais de Vidago e Pedras Salgadas e a casa da cerveja situada no complexo industrial da cervejeira. [1] Na Figura 1 é apresentada a linha cronológica do Super Bock Group.



F*igura 1-Linha cronológica do Super Bock Group.*

1.2. Motivação e Objetivos

O Super Bock Group utiliza garrafas de tara retornável (TR) para encher cervejas como a Super Bock e Cristal, tendo garrafas muito antigas em circulação. Estas garrafas apresentam um desgaste na sua superfície exterior designado de *scuffing* que dá mau aspeto às garrafas desvalorizando o produto junto do consumidor. As garrafas são apenas substituídas por novas quando quebram ou apresentam algum perigo para a qualidade e segurança do produto final. Este trabalho consistiu numa tentativa de melhorar a sua imagem e valor junto do consumidor.

O objetivo do estágio foi a implementação de um novo equipamento industrial e a aprovação de um produto para mascarar o *scuffing*. As atividades dividiram-se pelas seguintes fases: conhecimento da linha de enchimento TR e ponto de situação sobre as

soluções já testadas; Teste industrial na linha de enchimento, no qual se definiu os parâmetros de operação do equipamento industrial e se avaliou a prestação do produto mascarador.

Adicionalmente foram desenvolvidos outros projetos de interesse para a empresa acolhedora: 1) Paragens de linha e sua influência na qualidade da cerveja exposta ao ar; 2) Teste industrial com novas cápsulas de rosca.

Este trabalho permitiu o contacto com duas áreas distintas da Super Bock Group: enchimento e qualidade. Contacto com fornecedores e experiência empresarial com trabalho de terreno.

2. Introdução teórica

2.1. Vidro

Usualmente quando alguém fala em vidro está a referir-se a vidro de sílica inorgânico e não metálico. Contudo, estas características não são requisitos para se classificar um material como sendo um vidro. Uma das principais características para classificar um material como sendo um vidro é o facto de este exibir um comportamento com transformação vítrea à sua temperatura de transição vítrea (T_g). [2]

O vidro pode ser produzido a partir de diversas matérias primas sendo a mais comum a areia, que ao ser fundida, dá origem ao vidro de sílica. A matéria prima utilizada depende da aplicação a que o vidro se destina, para vidros com aplicações comerciais a matéria prima tem de ser barata e abundante facto que leva a optar-se por areia ao invés de outra opção mais cara, como por exemplo o mineral quartzo. É a sílica que confere ao vidro uma série de propriedades físicas e químicas como resistência ao choque térmico (comparativamente a vidros com menos sílica), elevada resistência ao calor e à deformação, propriedades elétricas (material isolador), elevada inércia química responsável pela durabilidade química, fundamental para aplicações no setor dos alimentos e bebidas que não se verificam em mais nenhum material amorfo. Contudo, aplicações comerciais não são compostas 100% por este material. Os vidros de sílica, carbonato de sódio (*soda ash*) e cal são muito utilizados como recipientes uma vez que são um compromisso entre as vantagens da sílica pura e a desvantagem de ter uma temperatura de fusão muito elevada, superior a 2000˚C, caso se utilizasse apenas sílica. O facto de o carbonato de sódio estar presente diminui significativamente o ponto de fusão da mistura o que diminui os custos de fabrico. Contudo se a soda existir em demasiada quantidade compromete-se uma das propriedades mais importantes do vidro, a durabilidade química. Com a adição controlada da soda reduz-se a temperatura de fusão até cerca de 1500˚C e mantêm-se as propriedades num valor aceitável para a aplicação que o vidro vai ter. Na Tabela 1 são apresentados valores de algumas propriedades do vidro utilizado para o fabrico de garrafas. [2]

Tabela 1- Valores de propriedades do vidro utilizado para garrafas. [2]

Propriedade	
Densidade $(\boldsymbol{g \cdot cm^{-3}})$	2,52
Índice de refração	1,529
Coeficiente de expansão térmica $(\boldsymbol{ppm \cdot K^{-1}})$	9,0
$\boldsymbol{T_g}$ $(\boldsymbol{^{\circ}C})$	548
Módulo de Young $(\boldsymbol{GP_a})$	70-75

As garrafas de vidro podem ter cores diversas sendo as mais comuns as cores: âmbar, verde e branco. As garrafas de cerveja têm habitualmente uma cor âmbar. Uma cor escura é fundamental para proteger o conteúdo das garrafas da incidência da luz. Esta cor é conferida ao vidro através da presença de ferro e enxofre. Carbono sob a forma de carvão é adicionado à mistura para proporcionar um agente redutor e assegurar a presença de iões sulfureto. Óxidos de ferro são impurezas muitas vezes contidas na areia. Controlar a cor âmbar e assegurar a sua uniformidade não é fácil. O agente colorante é combinação de uma forma oxidada de ferro e uma forma reduzida de enxofre. Estas duas formas apenas coexistem numa gama restrita de pressão parcial de oxigénio. Manter constante este parâmetro não é fácil e consequentemente controlar a intensidade da cor âmbar também não. Por isso observam-se diferentes tonalidades de cor de garrafas de cerveja dentro da mesma marca. [2]

2.2. Fabrico de garrafas de vidro

Originalmente as garrafas de vidro eram formadas através de sopro humano, hoje, devido à crescente procura por recipientes de vidro este método foi posto de parte. Para produção em grande escala, o processo existente é completamente automático.

Primeiro funde-se a matéria prima. Após a matéria prima ser fundida, dispositivos mecânicos formam gotas da matéria fundida, *gob*, com a quantidade exata necessária para formar a garrafa. Estas gotas de matéria são logo de seguida enviadas para o molde de formação. Esta gota é cortada da haste de recolha e é soprada numa forma primária que ainda não corresponde em 100% ao desejado. O objeto é depois transferido para o molde de sopro onde é reaquecido e soprado na sua forma final. Depois os objetos são retirados do molde e conduzidos até uma arca de recozimento onde as tensões introduzidas pelo arrefecimento são removidas por relaxação, ou seja, as garrafas são arrefecidas de forma controlada. Normalmente as garrafas de vidro possuem 73% de sílica, 11% de cal, 14% de Na_2O e 2% de alumina. Podendo conter também pequenas quantidades de óxido de magnésio, óxido de potássio e trióxido de enxofre. [2]

2.3. Estrutura de uma garrafa de vidro

Vidro de embalagem é a designação genérica atribuída às garrafas de vidro. [3] De forma a promover uma maior uniformidade na indústria vidreira, foi fixada pelo instituto português da qualidade a nomenclatura das diferentes partes que constituem uma garrafa. A nomenclatura das partes constituintes das garrafas encontra-se ilustrada na Figura 2.

Figura 2-Nomenclatura dos constituintes das embalagens de vidro.

2.4. Garrafas de tara retornável

As garrafas de armazenamento de bebidas podem ser de tara perdida (TP) ou de tara retornável (TR). As de TP, são utilizadas apenas uma vez e depois são descartadas. Tipicamente as garrafas TR são mais pesadas e robustas que as não retornáveis, uma vez que a sua superfície fica enfraquecida devido às viagens que realiza. [4] As garrafas TR, após a sua utilização, voltam à fábrica de enchimento onde são devidamente lavadas e voltam a ser cheias, passando por este processo várias vezes ao longo da sua vida como está demonstrado esquematicamente na Figura 3.

Figura 3-Ciclo de vida das garrafas TR.

As garrafas TR têm ganho terreno face às garrafas TP e espera-se num futuro próximo que substituam por completo as garrafas TP. O modelo de economia circular cada vez mais adotado pela sociedade, promove uma maior preocupação com o impacto ambiental gerado pelos resíduos sólidos de embalagem. As garrafas TR são submetidas

ao longo da sua vida a inúmeros ciclos fechados, representados na Figura 3, que estão diretamente relacionados com o modelo de economia circular, que defende a reutilização dos materiais de forma a reduzir a utilização de matérias primas.

As garrafas TR sofrem um processo de lavagem na fábrica de enchimento que as garrafas TP não sofrem. As águas residuais, resultantes deste processo de lavagem, têm de ser tratadas o que leva a um grande consumo de energia e recursos. As garrafas TR podem fazer uma média de 6 ciclos por ano antes de serem recicladas e por este motivo o impacto ambiental do fabrico de garrafas retornáveis é menor face ao das garrafas não retornáveis, apesar de algum vasilhame de garrafas TR quebrar e ir tendo que ser substituído ano após ano. Considerando 50% de reutilização em função do número de ciclos, o efeito negativo das garrafas TP para aspetos como aquecimento global, o consumo de matérias primas e o gasto de energia é maior. Por outro lado, o contributo das garrafas TR para aspetos ambientais como o consumo de água e outros materiais como aditivos de lavagem é superior mesmo após várias reutilizações. A escolha de uma opção de embalagem face a outra reside não só nos lucros ou gastos associados a cada um do tipo de garrafa, mas também em aspetos sócio culturais e políticos da comunidade onde se insere a fábrica de enchimento . [5]

2.5. *Scuffing*

As garrafas TR de cerveja são feitas de vidro, uma vez que este tem a capacidade de preservar o sabor da cerveja uma vez que é inerte, ou seja, não reage quimicamente com o conteúdo da garrafa. [6] Isto acontece uma vez que o conteúdo das garrafas de bebida possui pH baixo ou médio, sendo o valor máximo de pH 7 para o caso da água, e o valor mais baixo de pH 2 para refrigerantes que possuem ácido carbónico.

O vidro é, no entanto, um material mecanicamente frágil, e a sua resistência mecânica é afetada pela presença de defeitos. Estes defeitos fruto do manuseamento em geral, encontram-se principalmente à sua superfície e na parte exterior da garrafa. Torna-se, portanto, fundamental proteger as garrafas com filmes protetores. Apesar deste filme protetor que é aplicado nas garrafas aquando da sua formação, após algumas utilizações, a superfície das garrafas, que é continuamente arranhada, apresenta sinais de *scuffing*. O *scuffing*, assim designado, caracteriza-se por um desgaste no vidro que é visível por possuir uma tonalidade esbranquiçada.

Na Figura 4 encontram-se três garrafas TR com *scuffing*. O *scuffing* encontra-se no ombro e calcanhar das garrafas. Estas zonas de maior diâmetro da garrafa, que acabam

por ser os pontos de fricção desta, existem para proteção do rótulo. Deste modo, as garrafas podem bater umas nas outras sem que o rótulo se danifique.

Figura 4-Imagem de garrafas com scuffing.

2.5.1. *Scuffing* Mecânico

O Scuffing mecânico é provocado por ação mecânica, ou seja, é fruto da fricção entre garrafas na linha de enchimento, transporte e armazenamento, e do manuseamento em geral. As marcas de *scuffing* encontram-se preferencialmente nos pontos de fricção entre as garrafas, o ombro e calcanhar, sendo estes os pontos da garrafa que entram em contacto quando estas batem umas nas outras. O *scuffing* altera não só a resistência mecânica das garrafas, mas principalmente afeta o seu aspeto visual um fator cada vez mais importante para o consumidor. [7]

Na linha de enchimento as garrafas batem umas nas outras, nos transportadores, principalmente quando chegam a pontos de estrangulamento como é demostrado na imagem 1 da Figura 5. As guias que direcionam as garrafas durante os percursos nos transportadores e as encaminham ao longo da linha também provocam desgaste no vidro devido ao contacto com as garrafas, como demostrado na imagem 2 da Figura 5.

Figura 5-Imagens de garrafas em transportadores na linha de enchimento TR, a serem direcionadas por guias ao longo da linha.

2.5.2. *Scuffing* Químico

As garrafas TR sofrem um processo de lavagem complexo no qual o principal agente de limpeza é o hidróxido de sódio, $NaOH$. O hidróxido de sódio é uma base forte, barata e com boas qualidades germicidas e por isso é o principal ingrediente de quase todas as soluções de lavagem de garrafas, a fim de remover todas as sujidades presentes nas garrafas como por exemplo bolores, gorduras e incrustações.

Apesar das ótimas qualidades de lavagem que o hidróxido de sódio apresenta, este é uma base forte e com um pH elevado pelo que pode reagir com o vidro que constitui as garrafas.

Sendo uma base forte facilmente se dissocia, de acordo com a Equação (1), dando origem a iões OH^- que por sua vez reagem com o principal constituinte do vidro, a sílica, como se pode observar pela Equação (2).

$$NaOH(s) \xrightarrow{H_2O} Na^+(aq) + OH^-(aq) \quad (1)$$

$$SiO_2(s) + 2OH^-(aq) \rightarrow SiO_3^{2-}(aq) + H_2O(l) \quad (2)$$

Não são só as soluções cáusticas utilizadas na lavadora que são corrosivas para o vidro. EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) e fosfatos presentes nas soluções de lavagem também aceleram a corrosão do vidro. EDTA e fosfatos contém iões sequestrantes que interagem com os iões responsáveis pela dureza da água impedindo que estes reajam com o detergente e evitando que formem precipitados, tornando deste modo a lavagem mais eficiente. [8]

2.6. Sistemas de medição do *scuffing*

É importante poder quantificar o *scuffing* para se poder definir o limite máximo que uma garrafa pode ter antes de ser descartada. Os métodos para quantificar podem ser mais básicos como a simples avaliação visual e comparação com garrafas testemunho ou então pode recorrer-se a métodos um pouco mais complexos como a medição da rugosidade da parede lateral das garrafas ou a medição da brancura recorrendo a um colorímetro.

2.6.1. Colorímetro

2.6.1.1. Funcionamento

Um Colorímetro possui uma fonte de luz (iluminante), que incide na amostra e é refletida. Ao chegar ao colorímetro, três sensores filtram a luz em faixas de comprimentos de onda onde predominam as cores: azul, verde e vermelho. [9] O funcionamento de um colorímetro encontra-se esquematicamente representado na Figura 6. Os filtros existem para estes três comprimentos de onda pois, no olho humano os cones (células com capacidade de reconhecer a cor) atuam da mesma forma e é possível reproduzir qualquer cor misturando de forma apropriada estas três cores primárias. [10] O colorímetro traduz a informação que recebe em valores numéricos, recorrendo a um sistema de cor da CIE (Comission Internationale de l´Eclairage). Os três estímulos visuais que compõe a cor são designados por X, Y e Z.

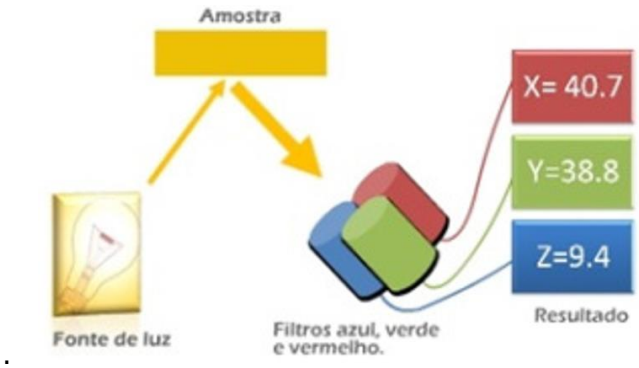


Figura 6-Figura esquemática do funcionamento de um colorímetro. [11]

2.6.1.2.CIE

A CIE é uma organização sem fins lucrativos e é a autoridade da luz e cor. De forma a uniformizar a avaliação de uma cor de modo objetivo criou espaços de cor. [12] Os espaços de cor da CIE foram desenvolvidos tendo em conta o funcionamento do olho humano.

Estes espaços de cor permitem representar numericamente as cores que as pessoas, com a visão normal, podem perceber. Foram desenvolvidos recorrendo a voluntários com visão normal que foram convidados a observar uma imagem dividida a meio, na qual metade correspondia a uma determinada cor espectral e a outra metade da imagem, era a mistura das três cores primárias, cuja quantidade de cada uma variou, até que o observador não conseguiu diferenciar as duas metades da imagem.

A CIE chama valores triestímulos ao valor numérico da contribuição das três cores primárias para formar uma determinada cor. Os triestímulos X, Y e Z correspondem a vermelho, verde e azul respetivamente.

A CIE padronizou também os iluminantes. O grupo D de iluminantes, é formado pelos iluminantes que representam a luz do dia. Este grupo é por isso o mais utilizado nos colorímetros comerciais e de maior aplicação.

A cromaticidade é a média das cores primárias sobrepostas, a luminosidade é a soma das luminosidades individuais.

A geometria do objeto é também muito importante na análise colorimétrica. O ângulo pelo qual o objeto é iluminado ou detetado pode afetar o resultado obtido com grande expressão. A geometria 45º/0º é a recomendada pela CIE, na qual a fonte luminosa faz 45˚ com o objeto e é observado com um ângulo de 0 ˚. [13]

2.6.1.3. Sistema Primário CIExyz

O espaço de cor padrão da CIE é o CIExyz. Baseia-se na capacidade visual do Observador Padrão ao triestímulo (vermelho, verde e azul) utilizando como referência três cores imaginárias derivadas da adição das três cores primárias. As coordenadas X, Y e Z são proporcionais às três cores primárias. Os valores dos três estímulos são convertidos para um sistema bidimensional (Figura 7), que utiliza apenas valores positivos e inteiros Y está relacionado com a luminosidade, X e Z cromaticidade (tom e saturação).

As coordenadas de cromaticidade x, y e z são calculadas a partir dos valores dos três estímulos fotoelétricos X, Y e Z através das equações (3), (4) e (5). A soma das coordenadas de cromaticidade é 1. [14] Na Figura 7 encontra-se representado o diagrama de cromaticidade x e y.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \tag{3}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \tag{4}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \tag{5}$$

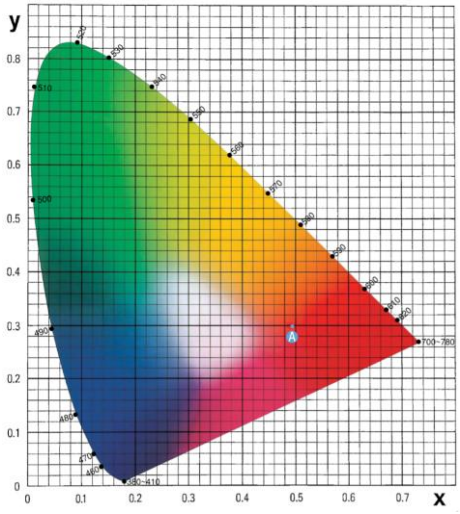


Figura 7-Diagrama de cromaticidade x e y. [10]

2.6.1.4. Espaço de cor Lab

Os valores XYZ são usados para o cálculo dos valores Lab do espaço de cor CIELab. O espaço de cor Lab tem por base a teoria das cores opostas. Segundo esta, uma cor não pode ser verde e vermelha ao mesmo tempo, ou amarela e azul ao mesmo tempo. L indica a luminosidade, na qual L=0 corresponde a preto e L=100 corresponde a branco. a e b, são as coordenadas cromáticas. a é a coordenada vermelho/verde na qual + a corresponde a vermelho, - a corresponde a verde. b é a coordenada amarelo/azul na qual b corresponde a amarelo e -b corresponde a azul. [14] Na Figura 8 encontra-se representado o espaço de cor Lab.

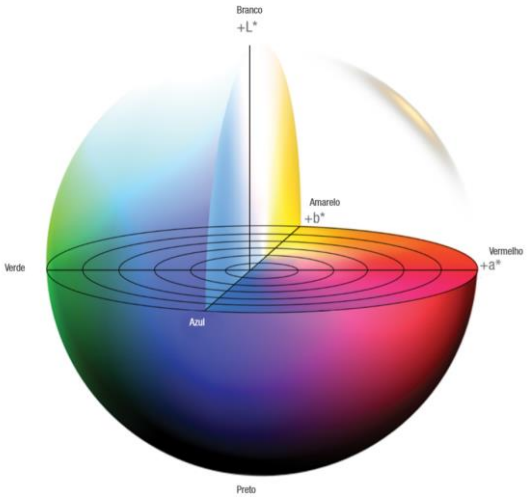


Figura 8- Figura esquema de um sólido no espaço de cor Lab. [15]

O espaço de cor CIExyz não representa todas as cores visíveis pelo ser humano, já o espaço de cor CIELab inclui mais cores do que as visíveis pelo ser humano. Atualmente o espaço de cor CIELab é o mais utilizado pelos equipamentos de medição de cor, por ser o que mais se aproxima da visão humana. [16]

2.6.2. *Scuffmeter*

O *Instituto Scientifique Du Verre* desenvolveu um equipamento cujo o objetivo é medir o scuffing nas garradas TR. O princípio de funcionamento deste equipamento consiste em enviar uma fonte de luz (lâmpada), para a parede lateral da garrafa. Ao chegar à superfície da garrafa a radiação visível é refletida. O ângulo da reflexão muda se a superfície estiver com defeitos ou não, pode-se, assim, comparar a reflexão num caso e no outro. Esta informação é recebida por uma célula e processada por um programa de software que cria um mapa da superfície da garrafa. A informação é convertida em diferentes graus de *scuffing*. O grau de *scuffing* é calculado dividindo o número de defeitos pelo número total de medidas retiradas. A informação recolhida é binária (defeito ou não defeito). [7]

2.6.3. Rugosímetro

Um rugosímetro é um equipamento que mede a rugosidade de uma superfície. Recorre a um sensor, que percorre a superfície do material que está a ser analisado, fazendo um mapeamento da sua superfície. O sensor tem uma agulha que se movimenta de acordo com a superfície do material e o amplificador de sinais transforma os movimentos

em impulsos elétricos. Este equipamento apresenta os resultados de rugosidade sob a forma de um gráfico, ou seja de um perfil de rugosidade. [17] O funcionamento do rugosímetro encontra-se representado na Figura 9.

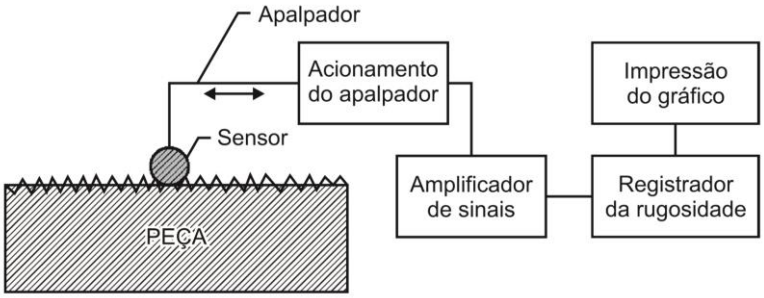


Figura 9-Imagem do funcionamento de um rogusímetro. [17]

2.7. Tratamento de superfície das garrafas durante o seu fabrico

O tratamento da superfície das garrafas tem como objetivo manter a sua resistência mecânica e por sua vez anular a necessidade de garrafas mais pesadas, mantendo uma aparência translúcida, livre de marcas de *scuffing*. [18]

Assim as garrafas TR na fábrica onde são produzidas, podem levar um tratamento de superfície a quente (quando o vidro se encontra a cerca de 500˚C) normalmente com óxidos metálicos, logo após a formação das garrafas TR.

Podem também receber tratamento de superfície a frio composto por moléculas orgânicas (quando o vidro se encontra a 65-175˚C). Este tratamento é aplicado após a arca de recozimento na fábrica onde são produzidas.

As garrafas podem ser objeto dos dois tratamentos em série para uma proteção mais eficaz. Os revestimentos que estes tratamentos proporcionam, são considerados definitivos no sentido em que não saem com uma única lavagem alcalina.

2.7.1. Tratamento de superfície a quente

Um exemplo de tratamento de superfície a quente é proporcionar revestimentos de SnO_2 e TiO_2 combinados ou em separado, que forneçam resistência à abrasão ao vidro. Usualmente estes revestimentos são aplicados na parte externa da garrafa recorrendo ao método de deposição química de vapor. A deposição química de vapor é uma síntese, na qual os constituintes reagem na fase de vapor e o produto da reação se encontra na fase

sólida, dando origem a revestimentos sólidos finos numa determinada superfície. [19] As condições em que este método é aplicado são tipicamente, 400 a 500 ˚C de temperatura na superfície externa da garrafa e a espessura do revestimento é inferior a 20 nm. [20]

2.7.2. Tratamento de superfície a quente e frio

Os tratamentos de superfície a frio mais comuns são os tratamentos com polietileno. Este é pulverizado para a superfície das garrafas e tem como função impedir que as garrafas sofram *scuffing*. [6] Um tratamento a quente seguido de um tratamento de superfície a frio é o tratamento *Titan* 20, no qual, após um tratamento com um óxido metálico, a garrafa é tratada com polietileno. Este tratamento tem ainda a particularidade de utilizar ácido oleico. [4]

Em teoria quanto maior a quantidade de revestimento que a garrafa tiver mais eficaz a proteção contra o *scuffing*. Contudo, o contacto da primeira camada de revestimento formada por um óxido metálico com a solução de lavagem que contém hidróxido de sódio leva à formação de opacidade do vidro. Utilizando ácido oleico adicionalmente, não se observa opacidade mesmo com um contacto prolongado.

Quando o vidro é pulverizado com uma emulsão de polietileno é razoável assumir que existem zonas da garrafa que não possuem camada protetora ou então que têm uma camada protetora extremamente fina. Estas zonas desprotegidas representam-se como locais de fácil acesso à solução alcalina que facilmente penetra pelo vidro. A camada protetora de polietileno fica assim fragilizada e é facilmente desintegrada. Isto leva a uma perda da resistência à abrasão por parte da garrafa e a um ganho de opacidade.

Se depois de proteger a superfície das garrafas com o polietileno se expuser a garrafa a ácido oleico o grupo funcional do ácido oleico $(COOH)$ tende a ligar-se covalentemente ao vidro que se encontra exposto, formando oleato de sódio. Deste modo forma-se um complexo não reativo impedindo agentes externos de reagir com o vidro. O ácido oleico protege assim a camada de polietileno de se desintegrar e o polietileno protege o ácido oleico de se dissolver.

2.8. Mascarar o *scuffing* na fábrica de enchimento (Objetivo do trabalho)

As garrafas de tara retornável, sempre que são recuperadas, são lavadas interiormente e exteriormente a quente, com uma solução aquosa alcalina de hidróxido de

sódio. O revestimento protetor aplicado na parte exterior do vidro seja através de tratamentos de superfície a quente ou a frio, ao fim de um determinado número de ciclos desaparece e o *scuffing* torna-se visível. Este facto leva à necessidade de mascarar o *scuffing* mais tarde nas fábricas de enchimento.

Existem duas formas de tratar o *scuffing* nas fábricas de enchimento. Após a lavagem podem ser aplicadas soluções para o mascarar ou então durante a lavagem podem ser adicionados aditivos anti *scuffing* como forma de o prevenir ou retardar.

Os revestimentos mascaradores podem ser por exemplo de 1) polietileno [21]; 2) revestimento em ácido oleico [18]; 3) organo polisiloxano e um catalisador de cura [22]. Por outro lado, podem ser aplicados inibidores na soda cáustica utilizada para lavar as garrafas, de modo a impedir que os iões OH^- reajam com o vidro. O efeito visual esbranquiçado do *scuffing* é devido ao ataque químico da superfície já danificada das garrafas de vidro. [21]

Lubricidade, é algo que os revestimentos também fornecem às garrafas, traduz-se por uma diminuição no coeficiente de fricção e é fundamental para o bom manuseamento destas. Contudo se esta for demasiada, pode levar a problemas de rotulação. O uso de ácido oleico é uma boa solução porque não fornece demasiada lubricidade à garrafa não afetando a fixação do rótulo. [18]

Os revestimentos para mascarar o scuffing devem ser não permanentes, ou seja, devem ser colocados após a lavagem das garrafas e torna-se imperativo que durante a lavagem seguinte o tratamento superficial do vidro seja completamente removido de modo a que quando colocado novamente seja aplicado numa superfície sem resíduos e uniforme. O revestimento tem, contudo, de ser resistente à lavagem com água uma vez que estas garrafas são muitas vezes submersas em água e gelo. Não pode originar uma superfície pegajosa nas garrafas, pois isso tornaria o seu manuseamento pouco confortável para o cliente. Não pode ser tóxico nem conter odor, pois, as garrafas servem para armazenar bebidas para consumo humano. [22]

3. Linha de enchimento TR e ponto de situação

3.1. Descrição da linha de enchimento TR

As garrafas TR são devidamente processadas de forma a preparar o produto final para o cliente na linha de enchimento nº 3.

A configuração da linha de enchimento 3, é apresentada na Figura 10.

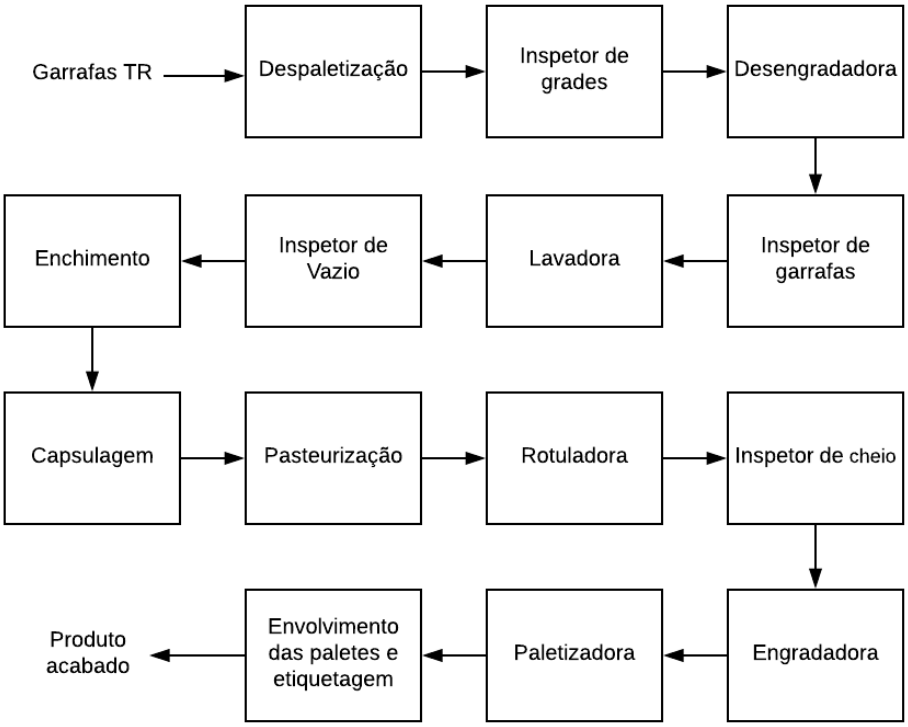


Figura 10-Diagrama da linha de enchimento 3.

As garrafas chegam à fábrica de enchimento dentro de grades inseridas em paletes de madeira. Cada palete de madeira transporta 48 grades de cerveja. A despaletização consiste num processo de retirada das grades das paletes, sendo depois colocadas na linha. As grades passam por um inspetor que analisa o seu conteúdo (ver Figura 11). Se a grade estiver vazia é logo descartada saindo da linha.

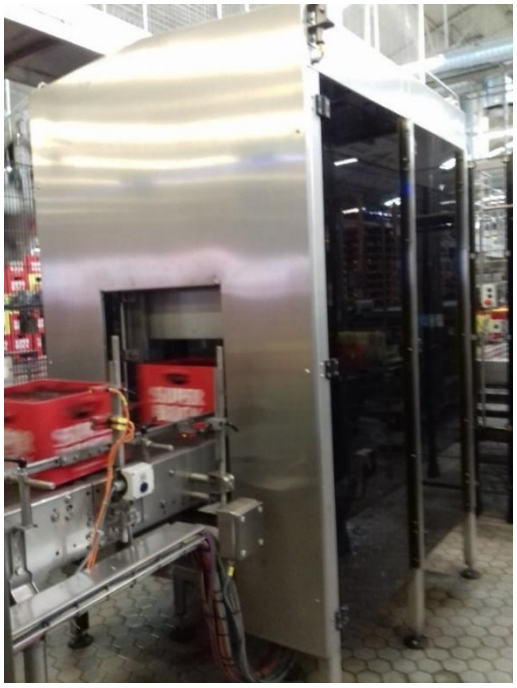


Figura 11-Inspetor de grades da linha de enchimento 3.

As grades que seguem em frente passam numa Desengradadora. Este equipamento tem umas ventosas posicionadas com o espaçamento que as garrafas têm dentro da grade. Estas sugam as garrafas da grade e colocam-nas na linha, como se encontra demonstrado na Figura 12 .

Figura 12-Desengradadora a colocar as garrafas TR na linha de enchimento 3.

As grades à semelhança das paletes, neste momento saem da linha voltando a ser utilizadas mais à frente na Engradadora e Paletizadora. As garrafas são depois inspecionadas para ver se o tipo de garrafa é o pretendido para a cerveja que a linha vai encher nesse momento.

A lavadora é o equipamento que distingue a linha de enchimento TR das restantes linhas que enchem TP. As linhas que enchem TP, por sua vez, possuem uma Sopradora,

equipamento que a linha TR não possui. As garrafas TP como vêm diretamente das fábricas onde são produzidas quando chegam à linha de enchimento não são lavadas, passam antes por uma Sopradora.

A Sopradora é um equipamento que inverte as garrafas e como o próprio nome indica, as sopra, ou seja, envia um fluxo de ar, com o objetivo de arrastar todas as partículas de vidro e sujidades que as garrafas possam conter.

As garrafas TR chegam à fábrica muito sujas e com os mais diversos objetos no seu interior. Uma lavagem eficiente é fundamental para que estas voltem a ser reutilizadas. A lavadora é, portanto, um equipamento muito complexo estando dividida em várias zonas. Três banhos alcalinos seguidos de três zonas de enxaguamento.

A limpeza das garrafas deve-se a quatro fatores: 1) ao agente de limpeza, 2) à temperatura a que se encontram os banhos, 3) ao tempo de lavagem, 4) ao efeito mecânico dos injetores. O agente de limpeza utilizado é o hidróxido de sódio em conjunto com aditivos. Os aditivos têm diversas funções, podendo funcionar como anti espuma ou até inibidores de incrustações. É utilizado um aditivo que tem como objetivo proteger o vidro do ataque da soda o *INTEGRA HD VB64* da *Diversey*. A Figura 13 descreve o funcionamento de uma lavadora industrial de garrafas: as garrafas entram na lavadora pelo lado esquerdo e ascendem em cacifos. São depois invertidas para facilitar a remoção de líquidos que possam conter. Depois são injetadas com água a uma temperatura de cerda de 40˚C de modo a remover sujidades contidas no fundo da garrafa, entrando depois nos banhos cáusticos 1, 2 e 3 representados a cinzento na Figura 13. O primeiro banho cáustico possui uma temperatura de cerca de 60˚C e os restantes ascendem a temperaturas de cerca de 80˚C. As três zonas de enxaguamento que se seguem encontram-se a 45, 35 e 30˚C aproximadamente. Estes aumentos e decréscimos graduais de temperatura são determinantes para evitar o choque térmico nas garrafas. O tempo de lavagem altera-se de acordo com o tipo de garrafas que se encontra na lavadora, sendo o tempo médio de lavagem 30 minutos. O efeito mecânico dos injetores é determinado pela potência das bombas que lhe estão associados, este é um fator muito importante na lavagem não só para a remoção dos rótulos como também na agitação dos banhos e consequente lavagem eficiente.

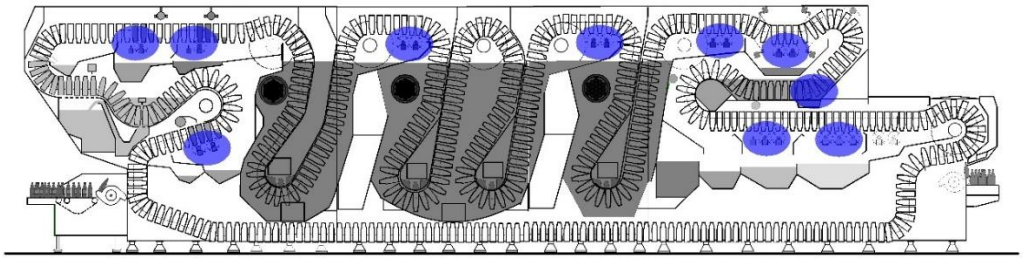


Figura 13-Esquema de funcionamento de uma lavadora industrial de garrafas. [23]

Na Figura 14 observa-se a entrada de garrafas TR na lavadora da linha TR.

Figura 14-Imagem frontal da lavadora de garrafas TR da linha 3.

No final da lavagem, para assegurar que garrafas que não estejam bem lavadas não seguem para a enchedora, as garrafas passam por um inspetor de vazio. Na Figura 15 é apresentada uma imagem do inspetor de vazio da linha 3. O inspetor de vazio está programado para excluir garrafas contendo 6 tipos de inconformidades: 1) defeito na marisa, 2) água residual de lavagem (água ou soda), 3) sujidade na base da garrafa, 4) sujidade na parede lateral da garrafa, 5) celofane, 6) clips. As garrafas ao passarem neste equipamento são fotografadas e as fotografias são comparadas com imagens padrão, caso a conformidade das garrafas não se verifique as garrafas são descartadas à saída do equipamento. As garrafas são removidas da linha através de um mecanismo que as

pontapeia, sendo projetadas para um recipiente de recolha, sendo depois encaminhadas para um centro de reciclagem.

Figura 15-Inspetor de vazio da linha 3.

As garrafas seguem para a enchedora. Este equipamento encontra-se combinado com o capsulador. É fundamental que a garrafa seja capsulada logo após o seu enchimento para assegurar que não ocorre desgaseificação da cerveja e para que esta esteja o menos tempo possível em contacto com oxigénio de modo a que não ocorra a sua oxidação.

Na Figura 16 observa-se a entrada de garrafas à esquerda na enchedora, entrando logo de seguida no capsulador.

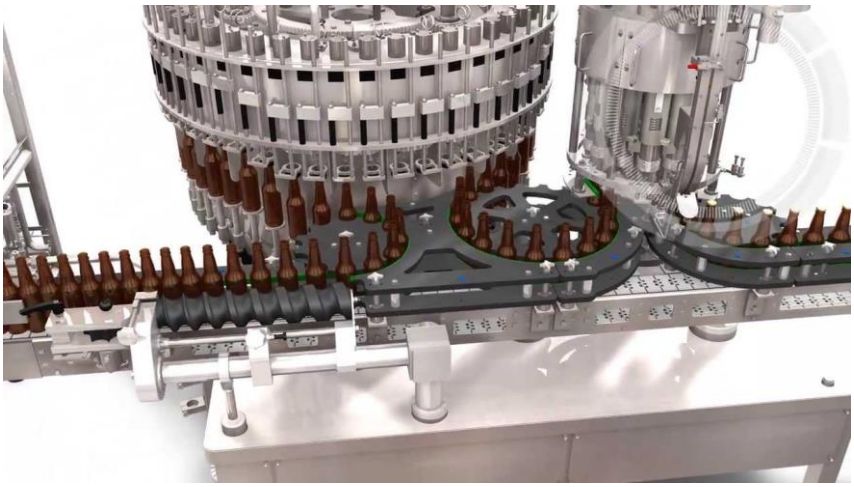


Figura 16-Imagem representativa do funcionamento da enchedora e capsulador da linha TR de enchimento de cerveja. [24]

A enchedora é uma máquina rotatória, girando no sentido dos ponteiros do relógio. Na linha 3 a enchedora possui 132 válvulas de enchimento. O processo de enchimento é realizado por cada uma das válvulas de enchimento, cada válvula efetua uma série passos que ocorrem num curto período de tempo: 1) Pré evacuação, 2) Descarga de CO_2, 3) Evacuação, 4) Descarga de CO_2, 5) Pressurização, 6) Enchimento, 7) Ajuste de nível, 8) Despressurização. Estes passos encontram-se representados esquematicamente na Figura 17.

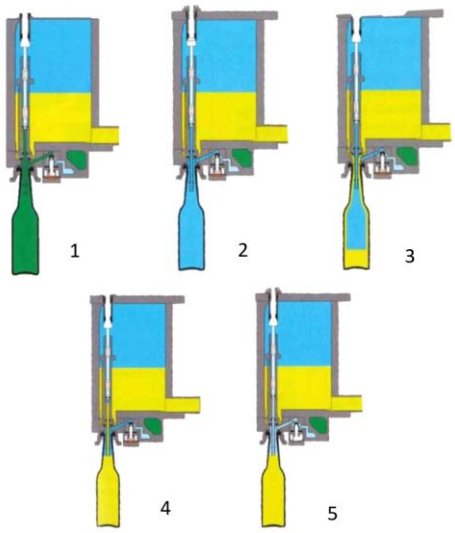


Figura 17-Sequência de enchimento de uma garrafa de cerveja. 1, Pré evacuação. 2, Descarga de CO2. 3, Enchimento. 4, Ajuste de nível. 5, Despressurização. [25]

Primeiro é removido o ar atmosférico da garrafa ficando esta sob vácuo (passo 1 da Figura 17). Depois ocorre uma primeira descarga de CO_2 (passo 2 de Figura 17). Repetem-se os dois passos iniciais de modo a garantir que é retirado da garrafa a maior quantidade de oxigénio possível de modo a não comprometer a qualidade do produto final. O próximo passo consiste na introdução de contrapressão na garrafa. Este passo permite que haja pressão na garrafa suficiente para preservar a gaseificação da cerveja, ou seja, a pressão suficiente para manter a pressão do gás em contacto com a cerveja acima do ponto de equilíbrio durante o enchimento para que o CO_2 não seja libertado da cerveja. [25] Segue-se o enchimento da garrafa com cerveja, a cerveja é direcionada a descer pelas paredes da garrafa para evitar que ocorra turbulência (passo 3 da Figura 17). À medida que a cerveja enche a garrafa o gás sai pelo tubo de ventilação. O enchimento para quando a cerveja atinge o tubo de ventilação, nesta altura o gás deixa de ter para onde ir e exerce uma pressão que impede o fluxo da cerveja para dentro da garrafa (passo 4 da Figura 17).

Por fim ocorre uma despressurização da garrafa através de uma válvula com um pequeno orifício para a atmosfera (passo 5 da Figura 17).

Após o enchimento as garrafas seguem para o capsulador. Para impedir a entrada de ar na garrafa durante esta transição, um pequeno jato de água desarejada é direcionado para a cerveja. Este jato origina a formação de espuma no espaço vazio da garrafa, impedindo a entrada de ar, como demonstrado na Figura 18.

Figura 18- Jato de água quente desarejada a originar a formação de espuma na cerveja. [25]

Por fim é efetuada a capsulagem da garrafa como demonstrado na Figura 19.

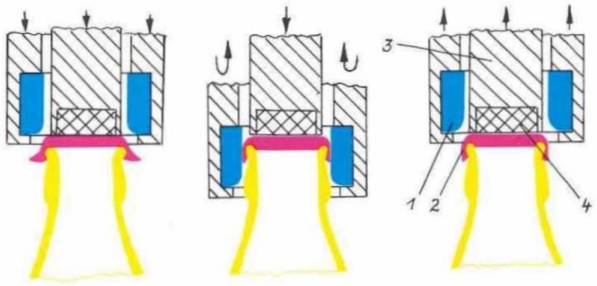


Figura 19-Processo de capsulagem com coroa.1, anel de capsulagem; 2, capsulagem; 3, ejector; 4, íman. [26]

A pasteurização é um processo muito importante para destruir possíveis microrganismos patogénicos presentes na cerveja, tornando-a segura para consumo. O pasteurizador de túnel é o equipamento onde ocorre a pasteurização. Consiste numa série de chuveiros de água gradualmente mais quente, para evitar o choque térmico, até à temperatura de pasteurização. As garrafas permanecem no pasteurizador durante um determinado tempo e a uma determinada temperatura garantindo as Unidades de pasteurização desejadas. De seguida as garrafas são arrefecidas também gradualmente (Figura 20). O programa de pasteurização é definido por tipo de produto.

Figura 20-Garrafas dentro do pasteurizador.

A rotuladora é um equipamento que tem a capacidade de aplicar rótulo, contrarrótulo e gargantilha dependendo do que estiver programado para fazer no momento (Figura 21).

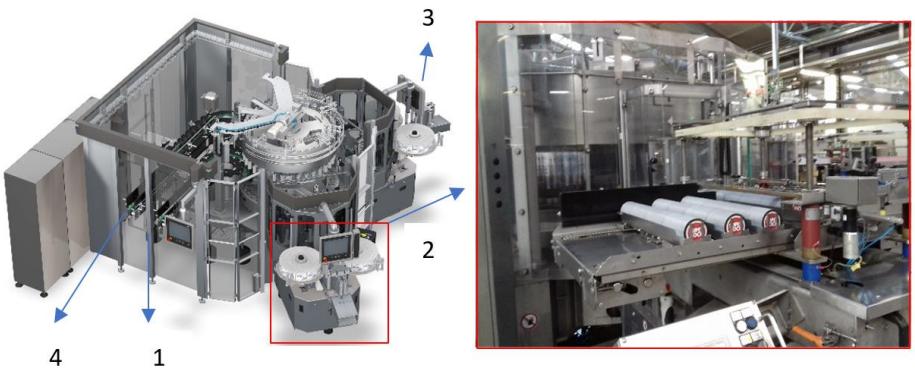


Figura 21-Imagem representativa de uma rotuladora e imagem real da parte de aplicação de rótulo. 1, Entrada de garrafas; 2, Aplicação de rótulo; 3, Aplicação de contrarrótulo; 4, Saída de garrafas.

Depois deste equipamento as garrafas são, mais uma vez, inspecionadas para verificar a presença dos rótulos e o nível de líquido na garrafa. É fundamental que o nível de líquido corresponda ao volume de líquido pelo qual o cliente vai pagar, sendo este um requisito legal. Níveis de líquido demasiado elevados também não são desejáveis, pois no panorama global podem representar inúmeros litros de cerveja que estão a ser oferecidos.

Se estiver tudo conforme as garrafas seguem em frente, onde são novamente colocadas em grades já lavadas e de seguida colocadas em paletes. As paletes são envolvidas em filme para que as grades não caiam e são etiquetadas seguindo depois para armazém, onde aguardam até que um camião as vá recolher. Na Figura 22 pode-se observar uma palete de grades de cerveja a ser automaticamente etiquetada.

Figura 22-Palete de grades de cerveja envolvida em filme de plástico, a ser etiquetada antes de seguir para armazém.

3.2. Controlo de qualidade da linha TR

A qualidade do produto final é controlada em diversos pontos da linha de enchimento TR. Para tal realizam-se procedimentos estandardizados e amostragens com uma determinada periocidade para garantir que o produto chega ao mercado com níveis elevados de qualidade. São efetuados controlos aos equipamentos críticos da linha que verificam o seu bom funcionamento e são efetuados controlos ao produto tanto a nível físico-químico, microbiológico e sensorial como a nível de conformidade da embalagem. O Super Bock Group tem certificação pelas Normas ISO 9001 (Qualidade), ISO 22000 (segurança alimentar) e recentemente pela IFS (International Featured Standard) para garantir aos seus clientes os níveis de qualidade e segurança alimentar exigidos pelo mercado. Para tal, realizam-se procedimentos estandardizados como uma determinada periocidade.

Na lavadora retiram-se amostras dos banhos 1, 2 e 3 e mede-se a concentração de soda em laboratório semanalmente. A condutividade e temperatura são medidas 24 horas por dia através de um aparelho de medição na lavadora. Os valores obtidos devem encontrar-se dentro das especificações para cada um dos banhos.

O Inspetor de vazio é um equipamento identificado como PCC (ponto crítico de controlo) à luz na norma de segurança alimentar. Como tal é verificado o seu bom funcionamento periodicamente fazendo-se passar garrafas teste com os diversos defeitos que este identifica: lasca na marisa, celofane no interior, sujidade no fundo, sujidade na

parede lateral, líquido residual de soda e líquido residual água. Se o inspetor de vazio estiver a funcionar corretamente rejeita as garrafas, caso não o faça, todo o produto cheio desde o último controlo ok é bloqueado para posterior avaliação.

A enchedora também é identificada como PCC, pois consiste numa máquina rotatória com várias válvulas de enchimento que exercem pressão nas garrafas. A pressão pode levar a que algumas garrafas quebrem. O sistema de segurança da enchedora faz com que a garrafa que rebenta e as duas garrafas adjacentes de ambos os lados sejam rejeitadas. O teste que é efetuado serve para verificar se o sistema de rebentamento de garrafas da enchedora está a funcionar corretamente.

O capsulador é considerado um PPRO (pré-requisito operacional) do ponto de vista da segurança alimentar, sendo um ponto importante de controlo pois se a capsulagem estiver demasiado fechada existe o risco de partir a marisa. Pode também acontecer que a capsulagem esteja demasiado aberta havendo o risco de perda de estanquicidade e consequentemente de qualidade do produto. O controlo é efetuado medindo o diâmetro de capsulagem e verificando se está dentro das especificações.

O Pasteurizador é também um PPRO, para se efetuar o controlo coloca-se um *logger* (registador de dados), numa garrafa em determinada zona do pasteurizador. O *logger* já está preparado para fazer a aquisição de tempo e temperatura no ponto mais frio da garrafa. Posteriormente é efetuada a leitura do *logger* num programa específico que calcula as unidades de pasteurização adquiridas. Para cada tipo de cerveja verifica-se se as UP's registadas pelo *logger* estão dentro das especificações para a cerveja em questão.

O controlo da rotuladora é feito a jusante no inspetor de cheio. O inspetor controla a presença ou não de roupagem na garrafa e o nível de líquido. Para tal estão preparadas garrafas teste com baixo nível e nível ok e podem simular-se garrafas com roupagem danificada que se fazem passar no inspetor e verificar o seu bom ou mau funcionamento pela rejeição ou não das garrafas. Neste ponto inspeciona-se também a codificação do lote e validade na garrafa.

Por fim faz-se o controlo do produto acabado/paletizadora. Neste ponto fazem-se diversas análises às garrafas, desde o seu conteúdo, através da observação de partículas suspensas, bolores, fragmentos e outras matérias estranhas. Voltam a observar-se outros fatores que já foram controlados a montante como defeitos de rotulagem e capsulagem. Inspeciona-se se existe falta de garrafas nas grades e se existem garrafas partidas. A palete também é analisada sendo verificada a informação da etiqueta e sua correta posição, assim como a qualidade da paletização.

3.3. Ponto de situação do *scuffing*

Em 2016, foi efetuada uma classificação quanto ao nível de *scuffing* das garrafas Super Bock 0,33L e 0,20L que estavam a ser enviadas para o mercado.

Para efetuar essa classificação definiu-se uma especificação de Nível de *scuffing*, apresentado nas Figura 23 e Figura 24 respetivamente para as garrafas 0,33L e 0,20L. Esta especificação serve de guia para todas as classificações efetuadas.

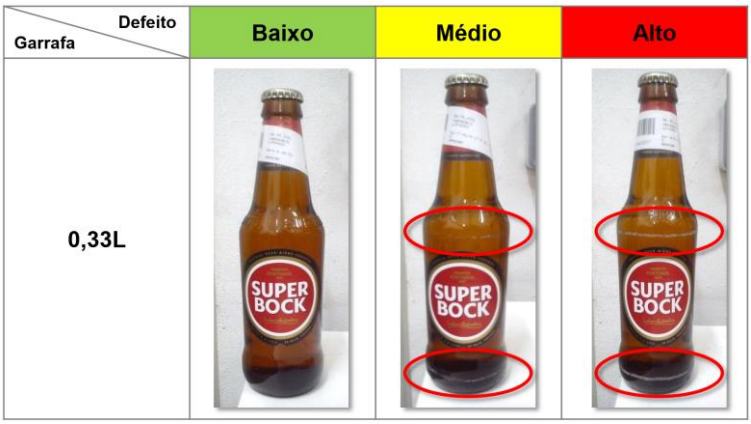


Figura 23-Classificação dos defeitos do scuffing apoiada em garrafas 0,33L testemunho.

Figura 24- Classificação dos defeitos de scuffing apoiada em garrafas 0,20L testemunho.

Na Figura 25 é apresentada a classificação de uma amostragem de garrafas em relação ao *scuffing*, realizada em 2016 e em 2018.

Na classificação de 2016 verificou-se que o nível de *scuffing* da Super Bock TR era mais de 50% de nível alto, sendo ligeiramente pior no caso da garrafa 0,33L. Para comparar a evolução do *scuffing* nestes 2 anos fez-se nova amostragem. Observaram-se 458 garrafas Super Bock 0,33 L e 322 garrafas Super Bock 0,20L à entrada da lavadora e

verificou-se que o *scuffing* alto evoluiu significativamente. Observou-se um aumento de 6% para garrafas 0,33L e um aumento de 8% para garrafas 0,20L.

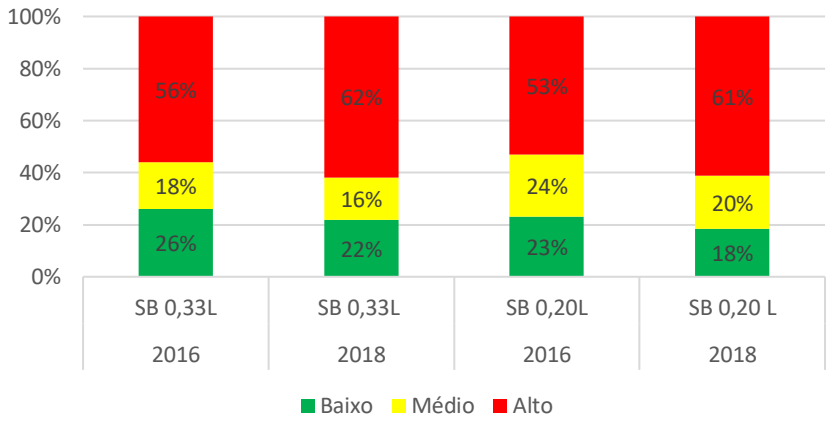


Figura 25-Percentagem de garrafas Super Bock 0,20L e 0,33L com scuffing baixo, médio e alto no ano 2016 e em 2018.

4. Material e Procedimento experimental

4.1. Caracterização da solução *DivoMask NC*

Neste trabalho foi aplicada a solução *DivoMask NC* para mascarar o *scuffing* depois da rotuladora e com aplicação dirigida para as zonas da garrafa onde se encontra o *scuffing* (ombro e calcanhar).

O *DivoMask NC* é um revestimento para superfícies de garrafas retornáveis desenvolvido pela empresa *Diversey*. Este produto forma uma emulsão quando é misturado com água. Deve ser aplicado recorrendo a um sistema automático de dosagem.

É uma mistura de parafina líquida 50-75% w/w e polidocanol 3-10%w/w. A parafina líquida, subproduto da refinação do petróleo constituída por uma mistura de hidrocarbonetos saturados [27],é o agente mascarador e o polidocanol, um álcool funciona como tensioativo. A parafina é insolúvel e o polidocanol é solúvel em água. Na Tabela 2 encontram-se algumas propriedades deste produto mascarador.

Tabela 2- Dados técnicos do Divo Mask NC.

Aspeto	Líquido amarelado
Densidade relativa a 20˚C (g/cm^3)	0,86
pH (1% de solução a 20˚C)	6,3

4.2. Equipamento de dosagem

O equipamento de aplicação de produto mascarador representado na Figura 26, foi desenvolvido para mascarar o *scuffing* em garrafas TR na indústria cervejeira.

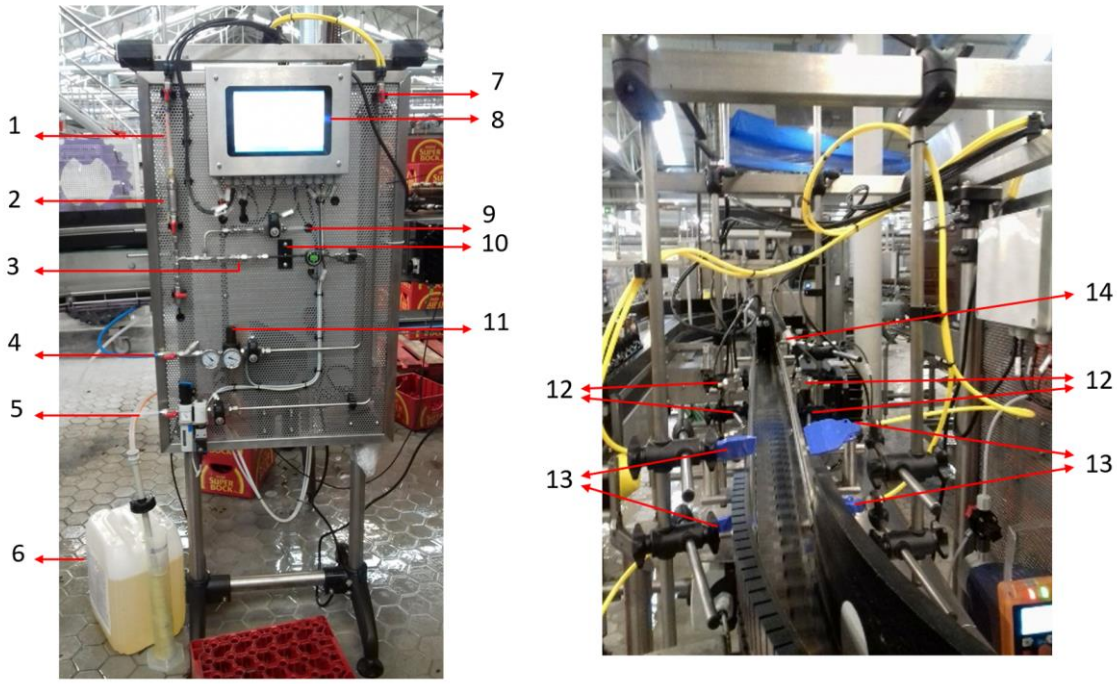


Figura 26-Equipamento de aplicação do produto mascarador.1-Misturador estático; 2-Filtro; 3-Válvula de segurança para certificar o não retorno; 4-Entrada de água industrial; 5-Entrada de ar comprimido; 6-Recipiente onde se encontra o produto mascarador; 7-Válvula de controlo dos jatos de ar; 8- Controlador e ecrã; 9- Válvula de controlo de entrada do produto mascarador; 10- Caudalímetro; 11-Válvula de regulação de água; 12- "nozles" de controlo automático que pulverizam a emulsão mascaradora para as garrafas; 13-Jatos de ar; 14-Sensor ótico;

O produto mascarador (concentrado), é doseado recorrendo a uma bomba, sendo posteriormente misturado com água e distribuído nas garrafas através de 4 "nozles", representados com o número 12 na Figura 26. Estes "nozles" permitem a projeção um revestimento fino de líquido para as garrafas.

Para ajudar a uma melhor distribuição do produto e consequentemente um efeito mascarador mais eficaz, são acionados 4 jatos de ar, representados com o número 13 na Figura 26. Para além de ajudar à distribuição no produto na garrafa, a presença de jatos de ar, remove a água em excesso secando a garrafa que segue assim para armazenamento em melhores condições.

A quantidade de produto que é pulverizada para a garrafa (PWM), do inglês *pulse with modulation,* é controlada pelo controlador (número 8 da Figura 26) que regula a quantidade aplicada nas garrafas de acordo com a velocidade da linha. O PWM varia entre o valor mínimo e máximo proporcionalmente à velocidade da linha. Esta é a razão da presença do sensor ótico (número 14 da Figura 26), antes dos *nozles* que pulverizam o produto mascarador.

O aparelho permite variar 3 parâmetros: concentração, PWM e frequência. Na Figura 27 encontra-se explicado através de uma imagem esquemática, o conceito de PWM.

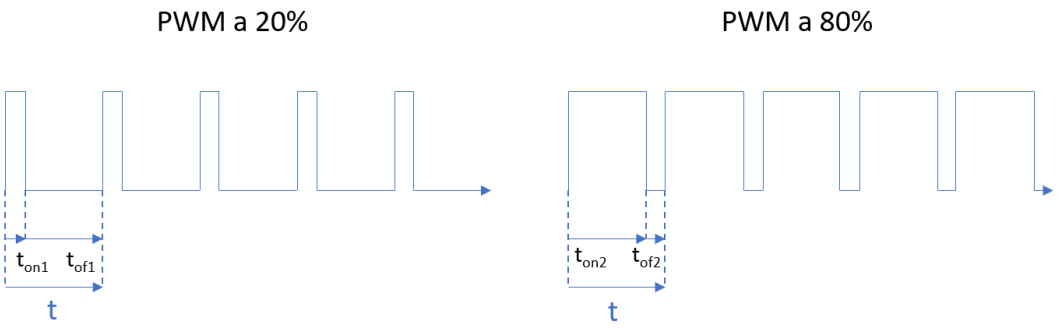


Figura 27-Figura esquemática explicando o PWM.

Diferentes valores de PWM traduzem-se numa variação de tempo *ligado* (t_{oni}) e tempo desligado (t_{ofi}) de um sinal de onda quadrada, na qual a frequência *f,* permanece constante. A frequência f, corresponde ao inverso do período de tempo que perfaz um ciclo, t. PWM é o nome dado à razão entre t_{oni} e t.

4.3. Procedimento experimental

Antes de se iniciar o teste industrial fez-se uma avaliação visual de uma amostragem de garrafas que estavam a entrar na linha, com o objetivo de perceber se tinham uma elevada percentagem de *scuffing*. Esta avaliação serviu para posterior comparação com a avaliação efetuada às garrafas já com produto mascarador.

O teste industrial começou pela definição da magnitude dos três parâmetros que o equipamento doseador de produto permite alterar: frequência (Hz), PMW % e concentração do produto mascarador %.

Sempre que se alterou um destes parâmetros deixou-se a máquina funcionar 30 minutos, aos fins dos quais se recolheram garrafas e se armazenaram para posterior avaliação no dia seguinte.

No dia seguinte efetuou-se a avaliação das garrafas em relação ao nível de *scuffing* que possuíam, agora que tinham sido tratadas com produto mascarador. Em função dessa avaliação calculou-se a percentagem de garrafas com *scuffing* baixo, médio e alto. Verificou-se para que conjunto de parâmetros se obteve uma maior % de garrafas de *scuffing* baixo. Escolheram-se assim os três parâmetros com os quais a máquina iria funcionar.

Mediu-se com um colorímetro o nível de *scuffing* de 10 garrafas com *scuffing* alto antes e depois de serem tratadas com o produto mascarador. O colorímetro devolve um

valor de L (brancura), na escala de 0 a 100. Na qual 0 corresponde a preto, e à ausência total de *scuffing*, e 100 ao branco e ao máximo de *scuffing* possível.

Prosseguiu-se com o teste industrial arrancando o equipamento com os parâmetros selecionados e deixando-o estabilizar durante 30 min. Retiraram-se garrafas aleatoriamente que foram armazenadas à temperatura ambiente de ≈20˚C e foram avaliadas em relação ao *scuffing* dois dias após terem sido tratadas. Estas garrafas foram posteriormente divididas em diferentes condições de armazenamento: balde com gelo; câmara frigorífica (4˚C); estufa (37˚C); cave (temperatura média 20 ˚C). Após esta divisão, forma avaliadas ao longo do tempo para validar o comportamento do filme mascarador em função do tempo.

Avaliou-se o custo por garrafa que este tratamento mascarador acarreta e comparou-se o custo do tratamento versus a introdução de determinadas percentagens de vasilhame novo.

5. Apresentação e discussão dos resultados

5.1. Definição dos parâmetros de operação do equipamento industrial

Na Figura 28 é apresentado o resultado da avaliação das garrafas, em relação ao nível de scuffing, que foram tratadas com diferentes concentrações de produto mascarador, frequência e PWM. Como pode ser observado pela Figura 28 foi para os parâmetros de 100 Hz de frequência, 20-90%de PWM e concentração de produto mascarador de 11% que se obteve uma maior percentagem de garrafas com *scuffing* de nível baixo tendo por isso sido estes os parâmetros selecionados para prosseguir com o teste industrial.

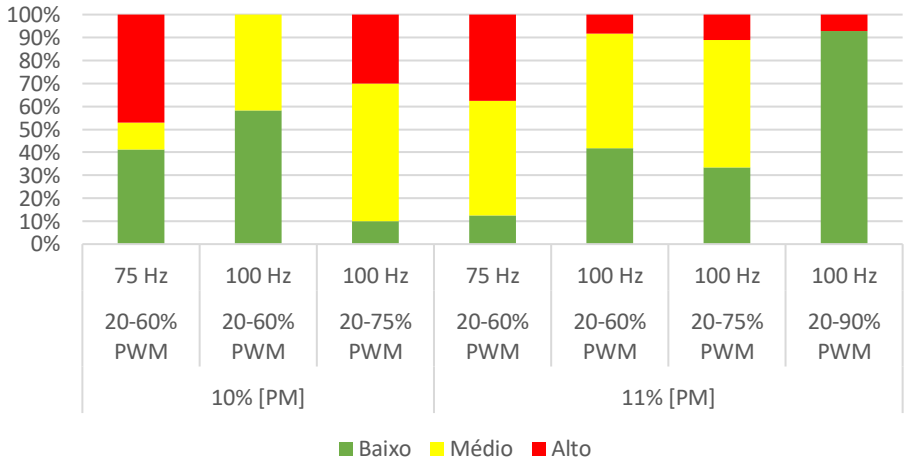


Figura 28-Percentagem de garrafas tratadas com scuffing baixo, médio e alto em função dos parâmetros sobre os quais a máquina estava a atuar.

A concentração de produto mascarador recomendada pelo fornecedor é de 10-15%. Esta percentagem deve ser o mais baixa possível de modo a evitar a sensação desagradável de gordura aquando o toque da garrafa por parte do cliente. A gama de PWM e a frequência teve de ser a mais elevada que a máquina permitiu, uma vez que a linha funciona a uma velocidade bastante elevada atingindo a velocidade de 60 000 garrafas/hora.

5.2. Classificação quantitativa do nível de scuffing

Selecionaram-se 10 garrafas com níveis de *scuffing* elevado (ver Figura 29) e mediu-se o *scuffing* recorrendo a um colorímetro portátil o RM200QC, antes e depois de serem mascaradas.

Na Figura 30 encontram-se os resultados de medição de brancura das 10 garrafas analisadas, antes e após serem tratadas com o produto mascarador. Nesta figura pode

verificar-se que, com exceção da garrafa nº 6 que já tinha um nível de *scuffing* baixo no ombro da garrafa, o nível elevado de *scuffing* é quantificado pelo colorímetro em valores L na gama dos 25 a 35, numa escala de 0 a 100.

Figura 29- 10 garrafas com scuffing antes e depois de serem tratadas com o produto mascarador.

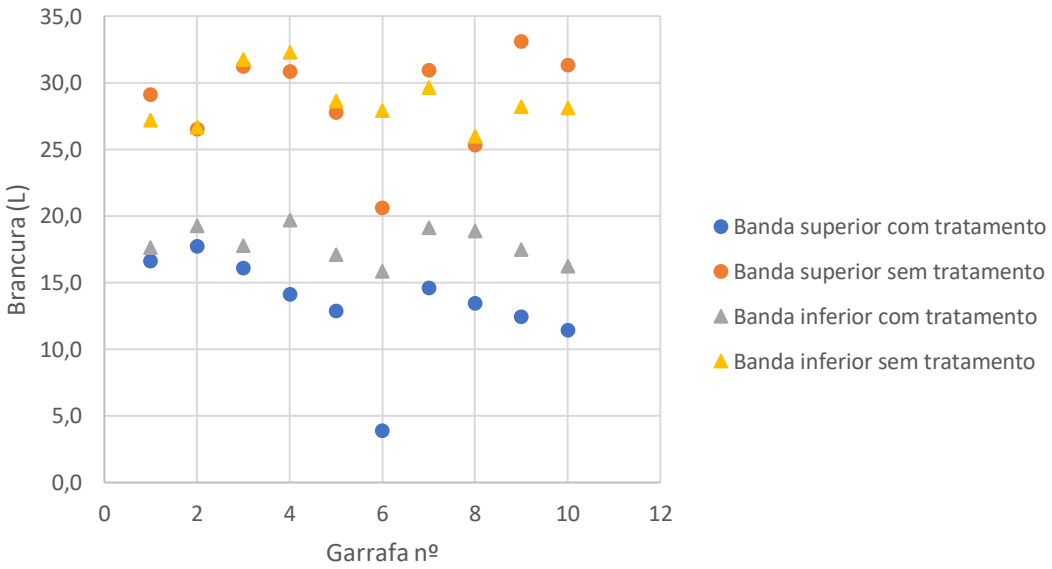


Figura 30- Gráfico do valor de Brancura (L) medido na banda superior(ombro) e inferior (calcanhar) de cada garrafa antes e depois de ser tratada.

Depois de tratadas, as garrafas numeradas de 1 a 10 encontram-se com um nível de *scuffing* baixo como pode ser observado mais uma vez pela Figura 29. Através da observação da Figura 30, pode-se concluir que se pode classificar uma garrafa com *scuffing* baixo, para valores de brancura inferiores a 20. Um *scuffing* de nível médio insere-se na janela de valores entre o 20 e 25 de brancura.

A medição da largura das bandas de scuffing superior e inferior das 10 garrafas em que foi feita a leitura do *scuffing* com o colorímetro, encontra-se apresentada na Figura 31. Sendo o valor máximo registado 0,5cm.

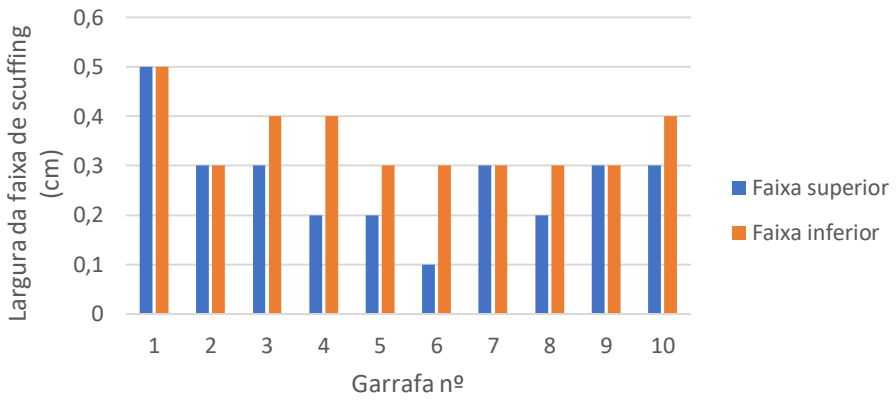


Figura 31-Largura das Bandas superiores e inferiores de scuffing das 10 garrafas submetidas à leitura por parte do colorímetro antes de receberem o tratamento mascarador.

5.3. Nível de scuffing das garrafas SB 0,20L antes e após o produto mascarador

A avaliação de garrafas antes de passarem no ponto da linha onde ficam mascaradas, assim como as restantes avaliações de garrafas já com o produto mascarador (com os parâmetros selecionados: 100 Hz, 20-90% PWM e 11% de concentração de produto mascarador), em diferentes condições de armazenamento encontram-se representadas na Figura 32. Essa classificação foi mais uma vez apoiada nas garrafas testemunho apresentadas na Figura 24.

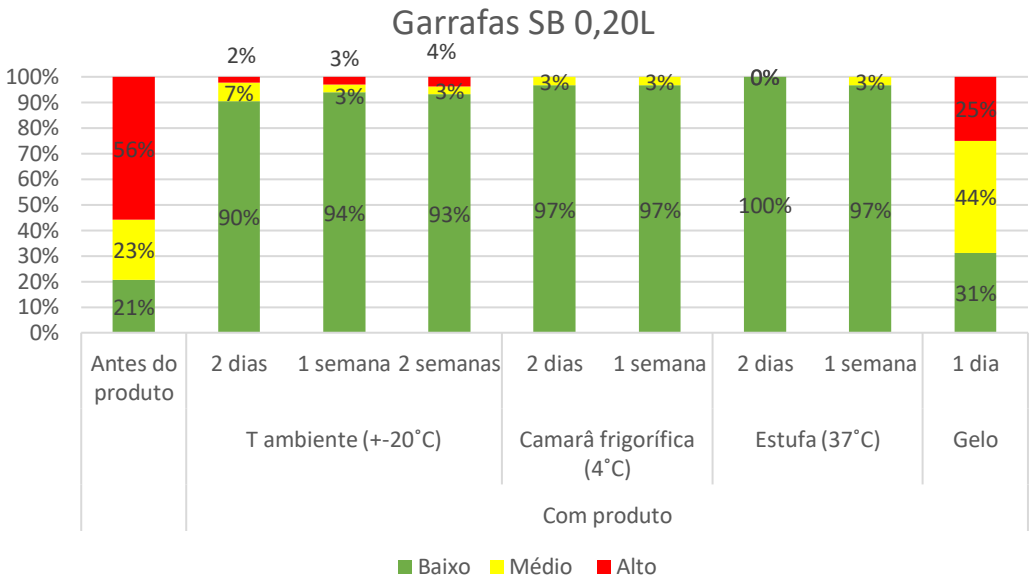


Figura 32- Gráfico de percentagem de garrafas com scuffing baixo, médio e alto das amostras de garrafas sem e com produto mascarador em diferentes condições de armazenamento em função do tempo.

As garrafas foram colocadas em diferentes condições de armazenamento, de modo a simular possíveis condições que as garrafas possam estar sujeitas antes de ser consumido o produto.

As condições de armazenamento simuladas foram: Camara frigorífica (4˚C), Estufa (37˚C), Cave (Temperatura ambiente ≈20 ˚C) e Balde com gelo.

Como pode ser observado pela Figura 32, com a aplicação do produto *Divo Mask* a melhoria do aspeto das garrafas foi notória. As garrafas que antes de serem tratadas possuíam uma percentagem de *scuffing* alto de 56% e *scuffing* baixo de 21 % passam a uma percentagem de *scuffing* alto de 2% e uma percentagem de *scuffing* baixo de 90%. Esta melhoria é comprovada pela Figura 33 na qual se pode observar o aspeto das garrafas antes e após serem tratadas. Garrafas que antes possuíam um nível de *scuffing* muito elevado têm agora o aspeto de garrafas novas.

Figura 33- Garrafas com scuffing, sendo que as garrafas da direita foram tratadas e não o evidenciam. As garrafas foram armazenadas numa cave a uma temperatura de cerca de 20 ˚C dois dias.

As garrafas que foram armazenadas na camara frigorífica a 4˚C e na estufa a 37˚C conseguem manter o *scuffing* baixo, mesmo ao final de 1 semana nessas condições 97% das garrafas mantém essa avaliação (Figura 34 e Figura 35). O armazenamento na câmara frigorífica era alvo de especial preocupação, uma vez que é prática comum colocar as garrafas de cerveja no frio antes do consumo e quando retiradas sofrem forte condensação na superfície exterior, o que poderia originar uma alteração no filme mascarador que se encontra depositado na garrafa. Este teste permitiu perceber que o filme mascarador é resistente a este fenómeno de transformação da matéria.

Figura 34- Garrafas com produto mascarador que estiveram na camara frigorífica a uma semana.

Figura 35- Garrafas que foram tratadas com produto mascarador e que estiveram numa estufa a 37˚C durante 1 semana.

As garrafas armazenadas um dia num balde de gelo parecem perder quase por completo o produto mascarador. Este filme insolúvel em água, deveria resistir a este teste, contudo o produto perde-se para a água que acaba por se formar em resultado da fusão do gelo. Os resultados deste teste são visíveis na Figura 36, na qual se pode observar o aspeto das garrafas antes e após o teste do gelo. Para além do reaparecimento das marcas de *scuffing*, ocorreu a perda dos rótulos e contrarrótulos nas garrafas, contudo este é um problema da cola utilizada que também deveria ser resistente a este teste.

Figura 36-Garrafas que foram tratadas com produto mascarador, antes e após serem colocadas num balde de gelo durante 1 dia.

5.4. Custo de adquirir vasilhame novo vs. custo de mascarar as garrafas

O equipamento fornece a informação do consumo do produto e água durante um determinado período de tempo. Esta informação, juntamente com o número de garrafas que foi tratado nesse período de tempo permite o cálculo do consumo de produto por garrafa.

Obteve-se o valor de consumo de produto de $25{,}4\ ml/kgrf$. O cálculo deste valor encontra-se no Anexo A.

Com a informação do consumo de produto por garrafa e o número de garrafas TR que vão ser cheias durante o ano 2018 (83.634.238 e 143.789.652 garrafas 0,20L e 0,33L respetivamente), o fornecedor deu um orçamento de 0,39 € e 0,42 € pelo tratamento de cada mil garrafas 0,20L e 0,33L respetivamente. Estes valores incluem o custo do produto, aluguer de equipamento e manutenção.

O Super Bock Group paga 81,79 € e 95,47 € pela compra de mil garrafas SB TR 0,20 e 0,33 L respetivamente. Tendo em conta esta informação calculou-se o custo de adquirir a percentagem de garrafas com *scuffing* alto e o custo de adquirir a percentagem de garrafas com *scuffing* alto e médio. Estas percentagens, são apresentadas na Figura 25. Calculou-se também o custo de mascarar as garrafas durante 1 e 7 anos. O valor de mascarar as garrafas por 7anos surge por ser a estimativa do número de anos que as garrafas novas demorariam a evidenciar *scuffing* médio e alto. Ou seja, ao fim desde tempo teria de ser novamente feito o investimento de adquirir novas garrafas. Este valor foi obtido através da informação apresentada na Figura A. 1 do Anexo A, na qual está representada a percentagem de nível *scuffing* alto, médio, e alto em função do ano em que as garrafas foram produzidas, de uma amostragem de garrafas 0,20L.

Na Figura 37 são apresentados 4 cenários para garrafas 0,20 e 0,33L: 1) o custo da aquisição da percentagem de garrafas com *scuffing* alto, 2) o custo da aquisição da percentagem de *scuffing* alto e médio, 3) e 4) o custo de mascarar garrafas com o produto mascarador testado durante 1 e 7 anos. Comparando o custo de adquirir a percentagem de garrafas com *scuffing* alto com o custo de mascarar as garrafas durante 7 anos, para garrafas 0,20L o custo de adquirir garrafas novas é quase 17 vezes superior. Para garrafas SB 0,33L o custo é mais de 20 vezes superior.

O custo de comprar a percentagem de garrafas com *scuffing* alto do orçamento de enchimento para o ano de 2018, daria para mascarar as garrafas 0,33 e 0,20L com o produto testado durante 140 e 118 anos respetivamente. Conclui-se assim que, mascarar as garrafas, é mais vantajoso do ponto de vista económico.

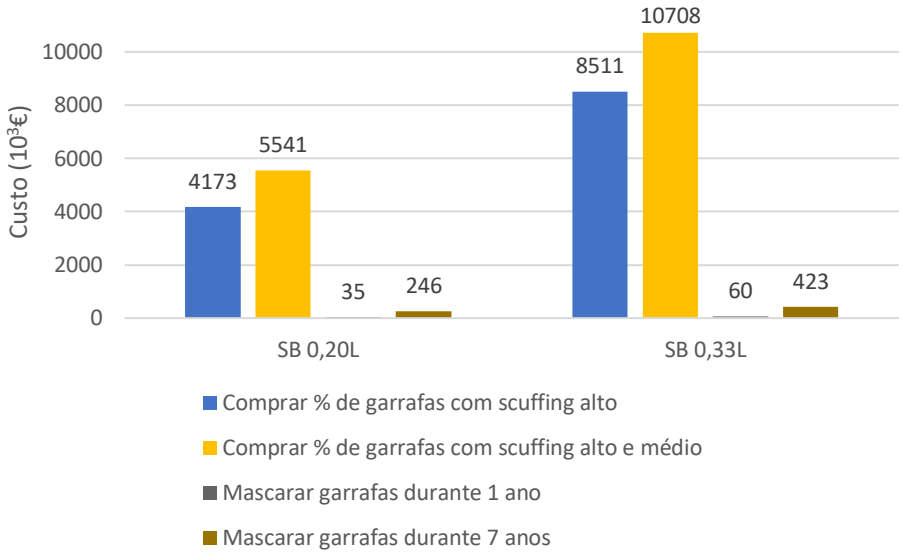


Figura 37-Custo de adquirir a percentagem de garrafas de scuffing alto, scuffing alto e médio para garrafas 0,20L e 0,33L; Custo de mascarar as garrafas durante 1 ano e durante 7 anos.

5.5. Conclusão

O teste industrial do *scuffing* realizado na linha de enchimento 3 e respetivos resultados permitiram concluir que:

1) os parâmetros de funcionamento do equipamento industrial testado são: 11% de concentração de produto mascarador, frequência de injeção da máquina de 100Hz e Distribuição de produto (PWM) de 20-90%.

2) o produto mascarador testado é eficaz. Antes da aplicação do produto 56% garrafas apresentavam *scuffing* alto, 23% *scuffing* médio e 21% *scuffing* baixo. Após a aplicação do produto, 2% das garrafas apresentaram *scuffing* alto, 8% *scuffing* médio e 90% *scuffing* baixo.

3) as garrafas com produto mascarador mantêm a sua boa aparência quando submetidas a diferentes condições de armazenamento: no frio (4˚C), em estufa(37˚C) e temperatura ambiente(≈20˚C). O acondicionamento das garrafas em baldes de gelo retira o produto mascarador por completo.

4) o custo de comprar a percentagem equivalente à percentagem de garrafas com *scuffing* alto (62% e 61% para SB 0,33L e 0,20L respetivamente), previsto em orçamento para o ano 2018, daria para mascarar as garrafas 0,33L e 0,20L com o produto testado durante 140 e 118 anos respetivamente. Sendo, portanto, mais vantajoso economicamente mascarar as garrafas.

6. Outros projetos desenvolvidos

6.1. Paragens de linha e sua influência na qualidade da cerveja exposta ao ar

6.1.1. Motivação

As linhas de enchimento sofrem diversas paragens não planeadas, provocadas por inúmeros fatores, desde os mais simples como o tombar de garrafas nos transportadores, ou problemas mais morosos como a avaria de um equipamento. Sempre que ocorrem paragens de linha, todos os meios são acionados para que estas retomem a sua atividade o mais rapidamente possível.

Durante estas paragens existem garrafas que param no momento logo após serem cheias e antes de serem capsuladas ficando expostas ao ar. A exposição prolongada ao ar pode levar a que ocorra perda de CO_2 e ganho de O_2.

A cerveja é carbonatada a uma pressão superior à atmosférica. Quando a garrafa é aberta, a pressão de CO_2 diminui e consequentemente diminui a sua solubilidade na cerveja (de acordo com a lei de Henry). Este facto é visível através do borbulhar da cerveja.

Quando a linha volta a funcionar estas garrafas, apesar de terem permanecido abertas mais tempo do que o normal, seguem o percurso normal não sendo descartadas em nenhum momento, pois não está estabelecido nenhum plano de atuação para estes casos. A cerveja segue assim para o consumidor com a sua qualidade comprometida. Isto não é aceitável até porque a cerveja tem especificações para a concentração de oxigénio e dióxido de carbono (Tabela 3), e a venda de cerveja que não se encontra dentro desses valores pode significar produto de má qualidade, que chega ao consumidor, e consequentemente pode haver reclamações. Este estudo teve como objetivo perceber o tempo máximo que as garrafas cheias podem estar paradas, abertas e por isso expostas ao ar sem que a sua qualidade seja comprometida.

Tabela 3-Especificações de CO_2 e O_2 em cerveja Super Bock.

	[CO_2] g/L	**O_2 (ppb)**
Máximo	5,6	250
Mínimo	5,0	-

6.1.2. Material e procedimento experimental

6.1.2.1. *Carbo QC* - Quantificador do CO_2 dissolvido

Na Figura 36 encontra-se representado o *Carbo QC*. Este equipamento calcula o CO_2 dissolvido na cerveja, baseando-se no método de múltipla expansão de volume. Tem

a capacidade de eliminar a influência de outros gases como o nitrogénio, aproveitando o facto de que a solubilidade de outros gases em cerveja comparativamente com o CO_2 ser bastante inferior. De acordo com as lei de Henry (Equação (6)), a uma determinada temperatura a concentração de um gás ideal dissolvido num líquido (X_A) é proporcional à pressão parcial do gás na fase gasosa (p_A), desde que esteja em equilíbrio. [28] K_A é a constante de proporcionalidade.

$$p_A = X_A \cdot K_A \quad (6)$$

Figura 38-Instrumento analítico que mede a concentração de CO_2 (Carbo QC).

O CO_2 está presente também no *headspace* da garrafa, sendo importante assegurar que a transferência entre o CO_2 do *headspace* e o líquido na garrafa é nula para que os resultados sejam fiáveis. Para assegurar o equilíbrio apenas é necessário agitar a garrafa de cerveja na horizontal 15 vezes antes de iniciar a medição de CO_2. Após ser colocada no aparelho, a garrafa é perfurada e uma parte da cerveja (apenas a fase líquida da garrafa) segue para a câmara de medição do aparelho. Quando a câmara de medição se encontra cheia de amostra é fechada e o volume é expandido uma primeira vez (10%). A pressão e temperatura é medida pelo aparelho e devolve um valor de concentração de CO_2. De seguida move-se o pistão na câmara de medição e o volume é expandido uma segunda vez (30%). O aparelho volta a medir a pressão e temperatura devolvendo outro valor de concentração de CO_2. Quando o volume é expandido forma-se uma fase gasosa e líquida, devido às diferentes solubilidades a proporção das pressões parciais dos gases é diferente das proporções das pressões de saturação dos gases dissolvidos. O segundo valor de

concentração é usualmente mais baixo que o primeiro indicando a presença de gases dissolvidos, sem ser o CO_2. No final, o aparelho usa a diferença entre os dois valores, para calcular uma correção que elimina a influência da presença dos outros gases no resultado final e, apresenta o resultado verdadeiro, ou seja, apenas a concentração do gás dissolvido CO_2 em g/L.

A sequência de cálculo a que o *Carbo QC* recorre para determinar a concentração do CO_2 em g/l, é apresentada no seu manual técnico e encontra-se no Anexo B.

6.1.2.2. *Haffmans* - Medidor da concentração de O_2 e CO_2

O *Haffmans* (Figura 39), é um equipamento que calcula a concentração de CO_2 e O_2 da cerveja. É utilizado para o controlo de qualidade diário da cerveja na indústria cervejeira.

Figura 39-Equipamento que mede a concentração de oxigénio e dióxido de carbono na cerveja: Haffmans.

A câmara de medição é limpa com nitrogénio e depois disso a cabeça de medição perfura a garrafa. A cabeça de medição começa por medir a pressão do composto entre a cabeça de medição e o *headspace* da garrafa: a sonda desce até ao *headspace* e dá início à medição do oxigénio. Após medir um valor estável de oxigénio no *headspace* a sonda desce até ao líquido. Depois da medição a sonda volta à posição inicial.

A sequência de cálculo a que o *Haffmans* recorre para determinar a concentração do O_2 em ppm, é apresentada o seu manual técnico e encontra-se no Anexo B.

6.1.3. Procedimento experimental

Simularam-se paragens de linha até um tempo máximo de 30 minutos para Super Bock 0,20L e 0,33L. Recorreu-se ao *Carbo Qc* (Figura 38), para medir as concentrações de CO_2 da cerveja que esteve exposta ao ar durante os períodos de tempo 30 segundos, 10 minutos, 20 minutos e 30 minutos.

Recorreu-se ao medidor *Haffmans* para calcular a concentração de oxigénio de garrafas expostas ao ar, em cervejas Super Bock 0,20L.

As garrafas com diferentes tempos de exposição ao ar, foram colocadas metade das garrafas na estufa a 37ºC e outra metade deixada à temperatura ambiente durante 7 dias. Efetuou-se uma prova sensorial preliminar das cervejas Super Bock 0,20L e 0,33L expostas ao ar 0 segundos, 30 segundos e 10 minutos, em estufa e à temperatura ambiente. Esta prova preliminar serviu para perceber o impacto do tempo de exposição ao ar e da temperatura de armazenamento no produto e assim definir condições mais adequados para levar o produto a um painel de provadores. Assim definiram-se novos tempos de exposição ao ar: 0 segundos, 15 segundos, 30 segundos, 1 minuto e 5 minutos, não sendo necessário levar o produto a estufa. A prova foi realizada por um painel de provadores treinado que desconhecia o conteúdo das amostras, tendo sido apresentadas duas séries de 5 copos: uma com cerveja 0,20L e outra 0,33L, cada copo correspondendo ao tempo de exposição ao ar. Foi também apresentado e identificado mais um copo como sendo a referência (tempo zero) para servir de comparação.

6.1.4. Apresentação e discussão dos resultados

6.1.4.1. Concentração de CO_2 em função do tempo de exposição ao ar

Na Figura 40 é apresentado o gráfico da concentração de CO_2 em função do tempo de exposição ao ar para garrafas SB 0,20 e 0,33L. Como se pode observar, não existiu um decréscimo da concentração de CO_2 nas cervejas expostas ao ar 30 segundos, 10 minutos, 20 minutos e 30 minutos. Os valores de concentração mantiveram-se dentro dos valores de especificação.

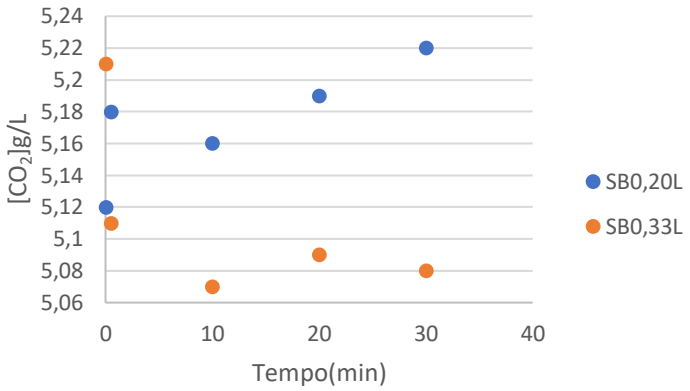


Figura 40- Concentração de CO_2 em função de diferentes tempos de exposição ao ar em garrafas de Super Bock 0,20L e 0,30L.

6.1.4.2. Concentração de O_2 e CO_2 em função do tempo de exposição ao ar

Uma vez que a perda de CO_2 não se revelou como sendo um problema até ao tempo de exposição ao ar de 30 minutos, procedeu-se à medição do oxigénio de garrafas que estiveram expostas ao ar durante as paragens de linha. Para tal recorreu-se ao medidor *Haffmans*. Este aparelho utilizado para o controlo diário da qualidade da cerveja não efetua medições de concentração de O_2 muito elevadas, estando referido no seu manual técnico uma capacidade máxima de medição de 2000 ppb. Na Figura 41 é apresentada a concentração de O_2 e CO_2 de garrafas de cerveja 0,20L SB expostas ao ar: 0, 5, 10, 20, 25 e 30 segundos. Uma garrafa com exposição ao ar de 5 segundos apresentou já valores de concentração de O_2 acima da especificação (1634ppb), o aparelho foi capaz de ler valores de 4188 ppb que corresponde a uma garrafa que esteve exposta ao ar durante 30 segundos.

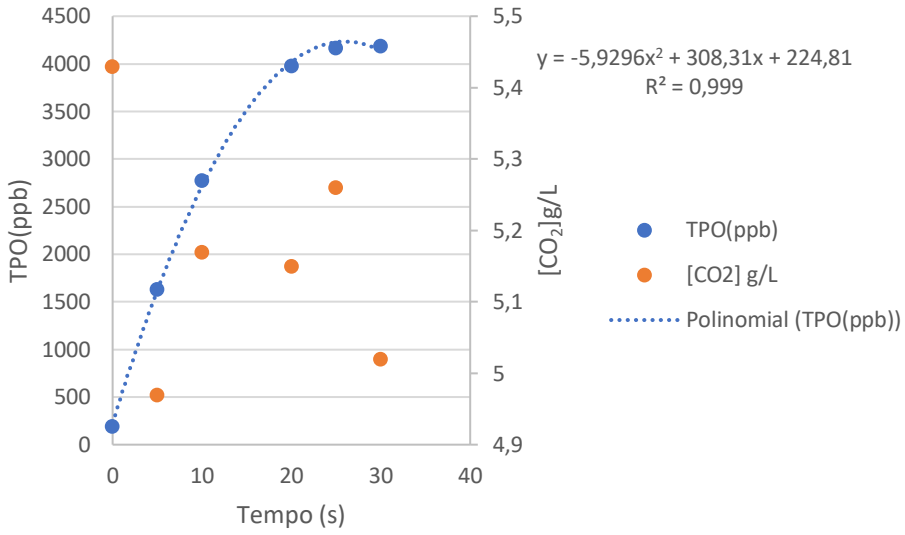


Figura 41-Valores de concentração de O_2 e CO_2 em função de tempos de exposição ao ar obtidos com o medidor Haffmans em garrafas de cerveja Super Bock 0,20L.

6.1.4.3. Análise sensorial

Com o objetivo de perceber o impacto que as concentrações de oxigénio, superiores às especificadas têm na qualidade da cerveja submeteu-se a cerveja que esteve exposta ao ar com tempos de 0 segundos, 30 segundos, 10 minutos, 20 minutos e 30 minutos a um teste de estabilidade organolética. Este teste de estabilidade organolética foi seguido de uma primeira análise sensorial das garrafas expostas ao ar 0 segundos, 30 segundos e 10 minutos.

O teste de estabilidade organolética consiste num processo de envelhecimento forçado que tem como objetivo perceber o efeito que o oxigénio tem na cerveja, durante o seu armazenamento. No final do teste a estabilidade organolética da cerveja é avaliada através da sua análise sensorial.

Uma amostra de cada tempo de exposição ao ar, foi submetida a um envelhecimento forçado, tendo sido colocada numa estufa a 37ºC durante 7 dias. Outra amostra também de cada um dos tempos de exposição ao ar, foi mantida a 4ºC para servir de controlo.

Esta primeira prova indicou que o tempo de exposição ao ar de 10 minutos já era demasiado elevado, uma vez que a cerveja já se encontrava muito degradada, pelo que, se simularam tempos de exposição ao ar mais curtos.

Levou-se a prova cervejas Super Bock 0,20L e 0,33L expostas ao ar com tempo de 0 segundos, 15 segundos, 30 segundos, 1 minuto e 5 minutos. A cerveja armazenada em garrafas 0,33L e 0,20L “envelheceu” durante 3 semanas e 4 semanas respetivamente

numa camara frigorifica a 4 ˚C. A prova foi realizada por 5 pessoas especialmente selecionadas e treinadas que constituíam um painel de provadores.

Foram apresentados aos provadores os copos com a disposição apresentada na Figura 42. Apenas sendo fornecida a informação de que os primeiros dois copos à sua esquerda são a referência. A prova foi iniciada pela fila de copos da frente e da esquerda para a direita.

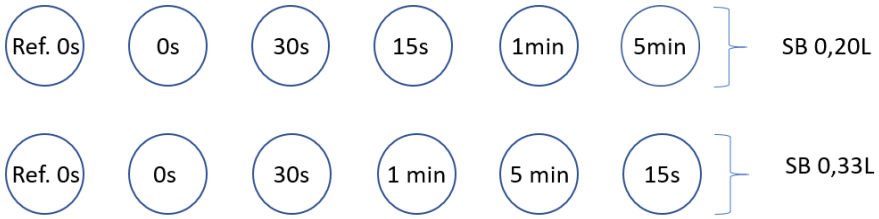


Figura 42-Disposição dos copos apresentada aos 5 provadores.

Sabendo apenas isto, classificaram os restantes copos numa escala de +1 a -3 de acordo com a informação apresentada na Tabela 4.

Tabela 4-Avaliação global que os provadores podem dar as amostras durante uma análise sensorial.

+1	Produto de ótima qualidade
0	Normal para este tipo de produto
-1	Com defeitos aceitáveis para este tipo de produto
-2	Com defeitos não aceitáveis para este tipo de produto
-3	Com defeitos tão graves que requerem ação imediata

Na Figura 43 é apresentada a média da avaliação global dos 5 provadores, para as cervejas 0,20 e 0,33L expostas ao ar: 0, 5, 15, 30 segundos e 1, 5 minutos. De referir que se descartou o ponto correspondente aos 15 segundos de exposição ao ar para a garrafa Super Bock 0,33L. Esta amostra teve uma avaliação bastante negativa e que se afastava da tendência pelo que foi considerado *outlier*. As referências SB 0,20 L e SB 0,33L (garrafas que não estiveram expostas ao ar) tiveram a mesma avaliação global média, -0,4. A referência não era a melhor, contudo muito dificilmente são atribuídas classificações superiores a 0 devido à elevada exigência dos provadores. Como era de esperar ambas as garrafas evoluíram negativamente em função do tempo que estão expostas ao ar. A presença de oxigénio, que é extremamente reativo deu origem a produtos secundários que alteram as características organoléticas da cerveja. Apesar de não terem sido efetuadas análises para medir esses compostos, o painel de provadores caracterizou o produto com

termos associados à oxidação como sabor: doce, a papel, a caramelo e presença de diacetilo que é notado pelo aroma a manteiga rançosa.

A garrafa 0,20 L teve uma avaliação pior face à 0,33L uma vez que para um mesmo tempo de contacto com ar, uma cerveja de menor volume fica mais oxidada pois a concentração que adquire de oxigénio acaba por ser superior face à garrafa de 0,33L. Ou seja, a cerveja de volume 0,20L e 0,33L exposta ao ar um determinado período de tempo adquire a mesma quantidade de oxigénio, contudo, para um volume maior a sua concentração acaba por ser inferior, não sendo tão notório o efeito do oxigénio e consequente degradação da cerveja.

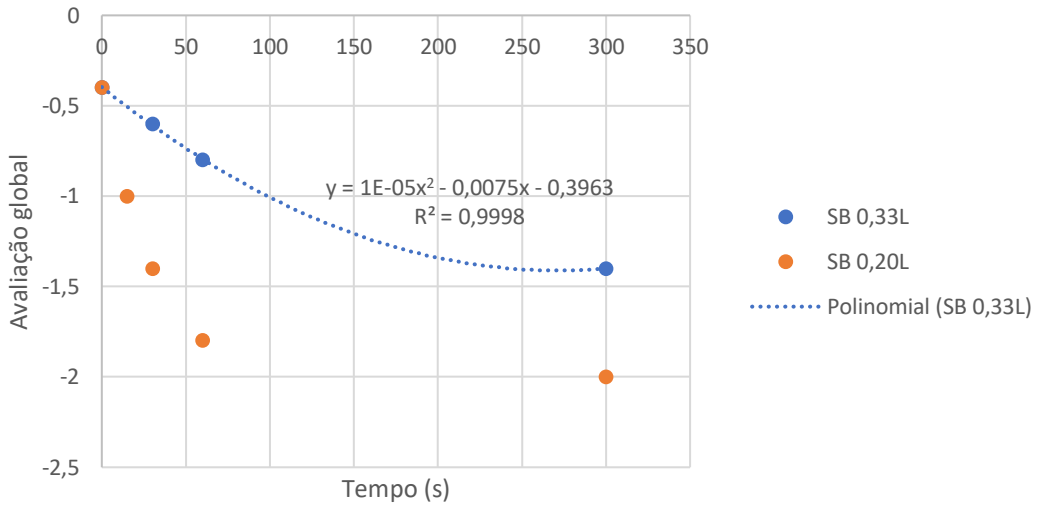


Figura 43-Avaliação global média das cervejas que estiveram expostas ao ar: 15 segundos, 30 segundos, 1 minuto e 5 minutos.

Tendo em conta a avaliação sensorial que é atribuída à cerveja, esta é classificada pomo sendo satisfatória, não suficiente satisfatória e não satisfatória, como está apresentado na Tabela 5. Tendo em conta esta classificação e os resultados apresentados na Figura 43 decidiu-se definir como critérios para rejeitar uma cerveja exposta ao ar uma exposição ao ar: para enchimento em garrafa 0,33L com paragens de linha superiores a 174 segundos e para enchimento com garrafa 0,20L com paragens superiores a 30 segundos. Estes são os tempos de exposição ao ar para os quais a cerveja tem uma avaliação de -1,4 (não suficientemente satisfatória). O cálculo do tempo máximo de exposição ao ar para SB 0,33L encontra-se no Anexo B.

Tabela 5- Classificação das amostras de cerveja em função da avaliação global média que obtiveram.

Satisfatória	[+1,0; -0,9]
Não suficientemente satisfatória	[-1,0; -1,4]
Não satisfatória	[-1,5; -3,0]

6.1.5. Conclusão

O estudo de paragens de linha e sua influência na qualidade da cerveja exposta ao ar permitiu concluir que:

1) A perda de CO_2 não se verifica até 30 minutos de exposição ao ar, já o ganho de oxigénio é imediato.

2) O efeito do oxigénio para a oxidação da cerveja é superior para garrafas 0,20L em comparação com garrafas 0,33L.

3) O tempo máximo de exposição ao ar para SB 0,20L é de 30 segundos e para SB 0,33L é de 174 segundos de modo a que a qualidade da cerveja não seja comprometida.

6.2. Teste Industrial com novas cápsulas de rosca

6.2.1. Motivação

Durante o estágio, houve a oportunidade de acompanhar um teste industrial de aprovação de duas cápsulas de diferentes fornecedores para garrafas de 1L, na linha de enchimento 6.

A capsuladora da linha 6 possui 20 cabeças de capsulagem. Cada uma destas cabeças é responsável pela ação demostrada na Figura 44. A cápsula é fornecida como se encontra demostrado à esquerda da Figura 44, e a cabeça de cravação aplica na cápsula, as saliências que vão permitir a ação de desenroscar a cápsula, como representado à direita da Figura 44. A reentrância é utilizada geralmente para as garrafas de vidro com compressão ou vácuo interno. Permite garantir a estanquidade da junta sobre o gargalo da garrafa, a fim de aumentar a resistência à pressão ou à depressão interna.

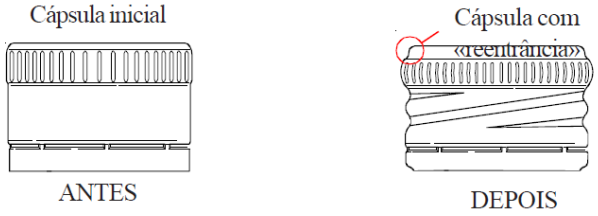


Figura 44-Figura representativa de uma cápsula de rosca, antes e depois de sofrer a ação da cabeça de cravação do capsulador. [29]

Este pequeno projeto teve como objetivo a realização dos testes de qualidade necessários à aprovação de um novo fornecedor de cápsula.

6.2.2. Procedimento experimental

Para aprovar novas cápsulas, faz-se um teste industrial, no qual as garrafas capsuladas com as cápsulas em questão, são avaliadas em termos de serem capazes de cumprir certos requisitos definidos previamente.

Assim que se inicia o teste, com a nova cápsula, retiram-se amostras de garrafas capsuladas, de cada uma das cabeças do capsulador, para realizar os seguintes testes de controlo de qualidade:

- Medição de torque (N.m)
- Estanquicidade
- Pressão de retenção

Sendo os testes positivos, a cápsula é aprovada.

Apesar de positivos, os testes de controlo de qualidade, as garrafas apresentavam defeitos críticos do capsulagem. Como tal procedeu-se ao estudo da origem destes defeitos: 1) Determinou-se as forças de compressão lateral das cabeças do capsulador. 2) Avaliou-se se os defeitos de capsulagem persistiam realizando enchimento com uma cápsula já aprovada. 3) Analisou-se as garrafas que apresentaram os defeitos de capsulagem nomeadamente o seu molde de fabrico e especificações de marisa.

6.2.3. Apresentação e discussão dos resultados

6.2.3.1. Testes de controlo de qualidade

A. Torque

A tendência de uma força para girar um objeto em torno de um eixo é medida por uma quantidade vetorial chamada torque. [30] Aplicando a definição de torque à abertura de uma embalagem, é o momento de uma força ou forças que causam a rotação da cápsula e sua consequente abertura. [31] A medição do torque traduz assim a força necessária para abrir a cápsula da garrafa. Para tal recorre-se a um instrumento de medição, o torquímetro (Figura 45). Este medidor prende a garrafa pela base de forma a impedir que a garrafa gire quando aberta. Após a garrafa estar presa a cápsula é aberta no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio por um operador e o aparelho dá o valor de torque em Nm (Newton metro). O limite inferior de especificação é 0,55 Nm e o limite superior de especificação é 1,23 Nm. Um valor abaixo do especificado compromete a qualidade do conteúdo da garrafa e pode dar a perceção, ao cliente, de que a garrafa já tinha sido aberta. Valores acima do valor superior da especificação também não são desejáveis, porque resultam numa maior dificuldade em abrir a garrafa, contudo não são tão críticos.

Figura 45-Imagem de uma garrafa de 1 litro de Super Bock num torquímetro.

Na Figura 46 podem ser observados os valores de torque realizados com esta cápsula num teste preliminar, no qual a cápsula ainda não tinha decoração, e no teste industrial. É importante perceber como o torque evolui em função do tempo, por isso mediu-se o torque em garrafas pouco após serem capsuladas e não pasteurizadas (neste caso foram 4 horas após), 1 dia após serem capsuladas já pasteurizadas, (no teste industrial foram 3 dias após uma vez que o teste industrial foi realizado a uma sexta feira) e um mês após também pasteurizadas (no caso industrial 25 dias depois).

Como se pode observar pela Figura 46 o valor de torque das garrafas 1 e 3 dias após serem pasteurizadas decresce face ao valor de torque medido em garrafas 4 horas após serem capsuladas. Contudo os torques medidos 25 dias e 31 dias após as garrafas terem sido capsuladas e pasteurizadas voltam a ser superiores.

As cápsulas da *Guala* são compostas por alumínio, mas possuem no seu interior uma película vedante de polímero termoplástico (*liner*) cuja função é assegurar um fecho mais eficiente da garrafa impedindo trocas de gases (CO_2 e O_2) entre o conteúdo da garrafa e o exterior. Uma vez que o *liner* é um polímero termoplástico apresenta um comportamento viscoelástico, este poderá ser o motivo pelo qual o torque decresce após a garrafa ser pasteurizada. O facto de o torque aumentar depois com o tempo pode ser explicado por uma, maior acomodação da cápsula na garrafa. [31]

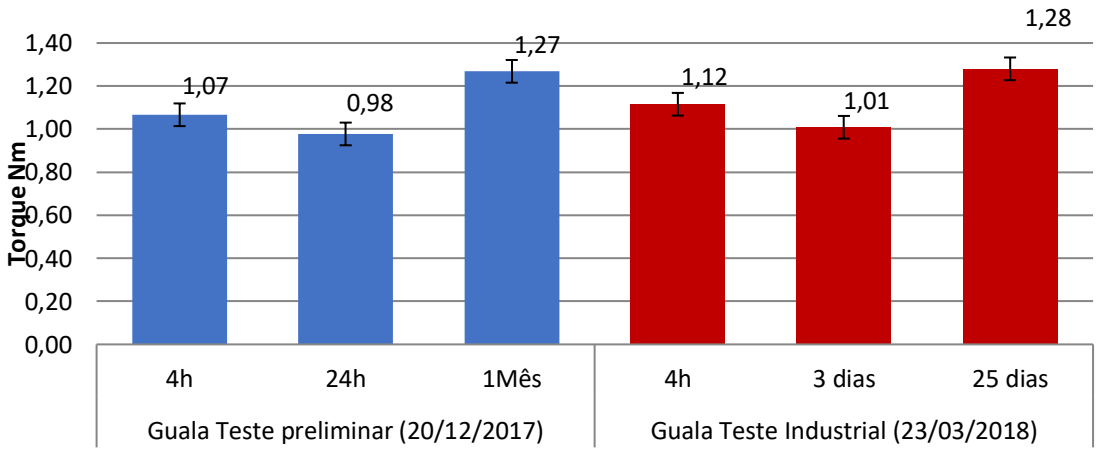


Figura 46-Valores de torque (Nm) medidos em garrafas Super Bock 1 L.

B. Estanquicidade

O teste de estanquicidade consiste em colocar as garrafas durante 30 minutos num banho de água quente (estes testes foram realizados a 63,0±0,1ºC). Se as garrafas não libertarem gás pela cápsula, confirma-se a estanquicidade destas. Na Figura 47 pode-se

observar uma grade de garrafas Super Bock 1 litro com a nova cápsula a ser submetida ao teste de estanquicidade.

Figura 47-Grade de garrafas de 1 litro Super Bock a ser submetida a um teste de estanquicidade.

C. Pressão de retenção

O teste de pressão de retenção, consiste em submeter a garrafa a pressões de 8 bar e ver se esta não liberta gás pela sua cápsula, quando submetida a essa pressão durante 30 segundos. Na Figura 48, pode-se observar uma garrada de 1 litro Super Bock a ser submetida a um teste de pressão de retenção.

Os resultados dos testes de torque, estanquicidade e pressão foram todos positivos.

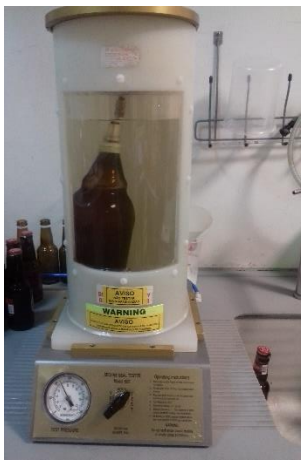


Figura 48-Garrafa de 1 litro Super Bock a ser submetida a um teste de pressão de retenção.

6.2.3.2. Defeitos críticos de capsulagem: Pontes partidas

Fazendo uma primeira observação das garrafas, verificou-se que existiam alguns defeitos críticos nas cápsulas. Os defeitos observados eram pontes das cápsulas partidas tendo algumas garrafas uma, duas ou até três pontes partidas. Na Figura 49, está representada uma garrafa com uma ponte partida.

Figura 49-Imagem de ponte partida em cápsula Guala.

Estudo da origem dos defeitos críticos de capsulagem

Para despistar o problema foi necessário verificar em primeiro lugar se haveria alguma incidência do defeito em alguma cabeça, mas chegou-se à conclusão que o defeito não se repetia na mesma cabeça e que a recorrência era aleatória. De seguida tentou perceber-se se haveria algum ajuste no capsulador que não estivesse conforme o manual respetivo, como por exemplo as forças de pressão lateral dos discos de cravação do capsulador (Lado A e B), recorrendo a um dinamómetro, tendo-se obtido o gráfico da Figura 50. Apesar destas forças não parecerem muito coerentes com as especificações do manual, só por si não justificava o defeito aleatório que estava a ocorrer nas cápsulas.

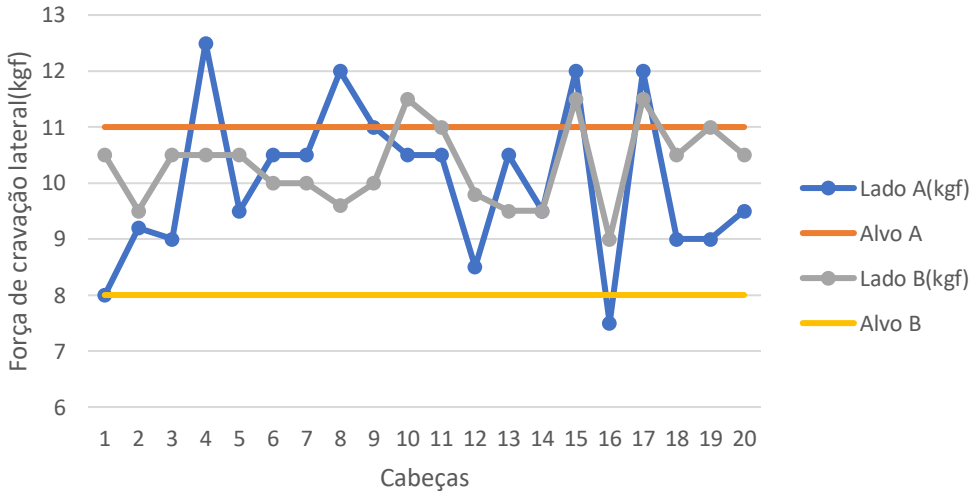


Figura 50- Valores de pressão dos discos de cravação lateral das 20 cabeças da capsuladora da linha 6.

Começou-se então por analisar as garrafas que apresentavam os defeitos, e verificou-se que das 5000 garrafas que encheram Super Bock com cápsula *Guala* observaram-se 22 garrafas com defeitos como apresentado na Figura 51, com incidência

nos moldes indicados. Os moldes da garrafa são as peças que dão a forma à garrafa quando esta é fabricada, esta informação é apresentada na base da garrafa.

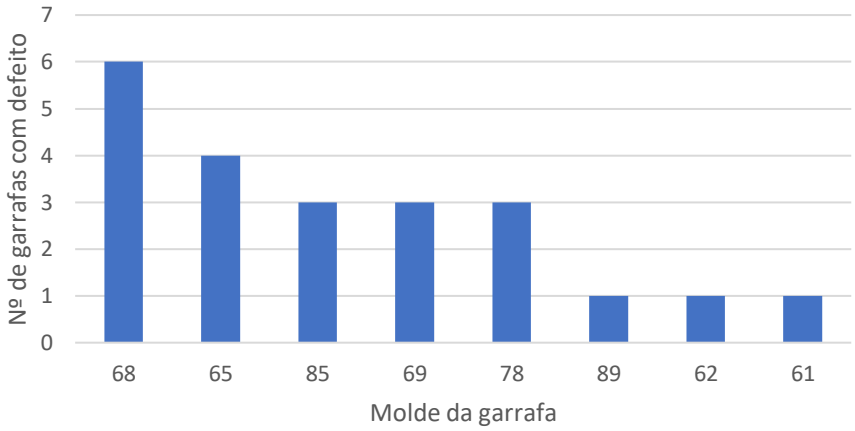


Figura 51-Números de defeitos encontrados nos respetivos moldes de garrafas com a cápsula Guala.

Com o objetivo de perceber se o problema era efetivamente da nova cápsula decidiu-se mudar as cápsulas para as *Closure Logic* (as que eram atualmente utilizadas, ou seja, cápsulas já aprovadas), e ver se os defeitos persistiam. Observou-se defeitos críticos de capsulagem nas garrafas cujo molde de fabrico foi o 66 e 68 Na Figura 52 está apresentada a percentagem de garrafas que apresentou defeitos cujo molde da garrafa era o número 66 e 68.

A incidência dos defeitos críticos nas garrafas do molde 68 foi clara e então procedeu-se a uma análise destas garrafas.

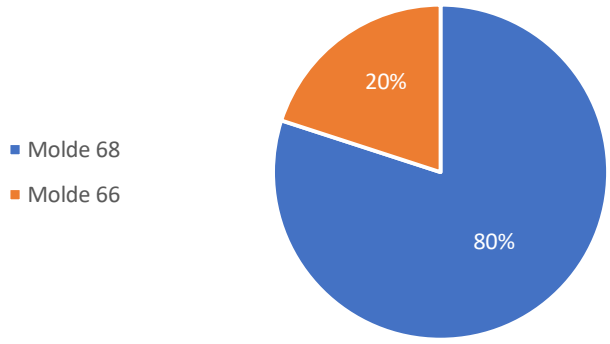


Figura 52- Números de defeitos encontrados nos respetivos moldes de garrafas com a cápsula Closure Logic.

Na Figura 53 observa-se o valor da altura das marisas, de garrafas que apresentaram defeitos, assim como o limite inferior e superior de especificação que a altura

das marisas possui. Verificou-se que o valor da altura de marisas medido, encontrava-se ou no limite inferior da especificação, ou abaixo da especificação. No Anexo C, encontra-se o desenho técnico das marisas Super Bock 1 litro, e respetivas especificações.

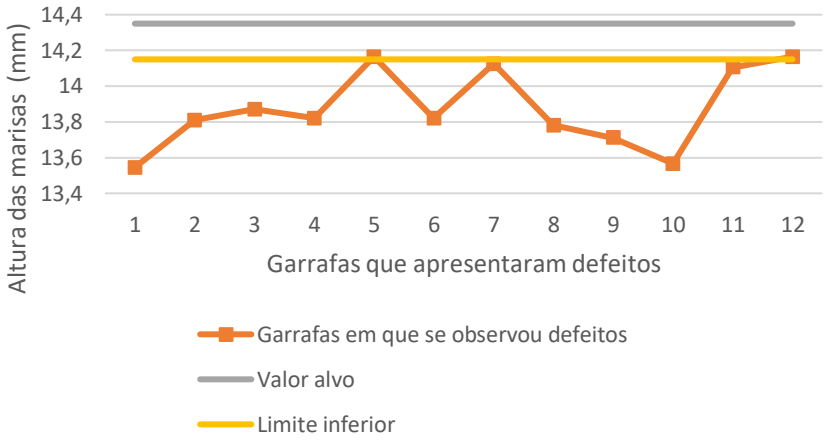


Figura 53-Valores de altura de marisas das garrafas que apresentaram defeitos.

Os fabricantes de garrafas e os moldes que utilizam devem estar de acordo com os desenhos técnicos de cada tipo de garrafa. Isto é fundamental para que estas sejam compatíveis com o equipamento da linha de enchimento e claro para que as cápsulas que também seguem as diretrizes dos desenhos técnicos sejam compatíveis.
Num enchimento posterior foi possível observar que garrafas com alturas de marisa conforme, não originaram defeitos críticos nas cápsulas e procedeu-se à aprovação da cápsula/fornecedor.

6.2.4. Conclusão

O teste industrial realizado permitiu concluir, apesar dos defeitos de capsulagem observados, que a cápsula cumpria todos os requisitos tendo sido o novo fornecedor aprovado.

7. Conclusões

7.1. Conclusão gerais

Numa sociedade que começa a adotar o modelo de economia circular, a preocupação com os resíduos sólidos de embalagem fez com que as garrafas TR começassem a ser uma alternativa cada vez mais utilizada face às garrafas TP. Contudo, o aspeto de uma embalagem é determinante, para a compra de um determinado produto, motivo pelo qual é de grande importância para a indústria cervejeira encher garrafas TR com um bom aspeto.

O objetivo deste estágio surgiu da necessidade de efetuar testes para mascarar o *scuffing* na linha de enchimento. Estes testes implicaram a validação dos parâmetros de funcionamento de um novo equipamento industrial e a aprovação do produto mascarador testado. Este trabalho permitiu concluir:

1) os parâmetros de funcionamento de um equipamento industrial: 11% de concentração de produto mascarador, frequência de injeção da máquina de 100Hz e Distribuição de produto (PWM) de 20-90%.

2) que o produto mascarador testado é eficaz. Antes da aplicação do produto 56% garrafas apresentavam *scuffing* alto, 23% *scuffing* médio e 21% *scuffing* baixo. Após a aplicação do produto, 2% das garrafas apresentaram *scuffing* alto, 8% *scuffing* médio e 90% *scuffing* baixo.

3) que as garrafas com produto mascarador mantêm a sua boa aparência quando submetidas a diferentes condições de armazenamento: no frio, em estufa e temperatura ambiente. O acondicionamento das garrafas em baldes de gelo retira o produto mascarador por completo.

4) que comprar a percentagem de garrafas equivalente à percentagem que tem *scuffing* alto (62% e 61% para SB 0,33L e 0,20L respetivamente) previsto em orçamento para o ano 2018 daria para mascara as garrafas SB 0,33 e 0,20L com o produto testado durante 140 e 118 anos respetivamente.

5) que é mais vantajoso economicamente mascarar as garrafas do que comprar garrafas novas.

O estudo da influência que paragens de linha têm na qualidade de cerveja, das garrafas que param entre a enchedora e o capsulador, ficando assim expostas ao ar, permitiu concluir que:

1) A perda de CO_2 não se verifica até 30 minutos de exposição ao ar, já o ganho de oxigénio é imediato.

2) O efeito do oxigénio para a oxidação da cerveja é superior para garrafas 0,20L em comparação com garrafas 0,33L.
3) O tempo máximo de exposição ao ar para SB 0,20L é de 30 segundos e para SB 0,33L é de 174 segundos de modo a que a qualidade da cerveja não seja comprometida.

O teste industrial para validação de uma cápsula de um fornecedor alternativo para garrafa de cerveja Super Bock de 1 litro foi concluído com resultados satisfatórios tendo sido dada a aprovação da cápsula.

7.2. Desenvolvimentos futuros

Como proposta de trabalho futuro, em relação ao *scuffing* nas garrafas TR, sugere-se a otimização dos parâmetros de operação do equipamento doseador de *scuffing* de forma a reduzir a quantidade de produto mascarador gasto por garrafa.

Sugere-se também realização do teste industrial com garrafas 0,33L.
Optar por uma medida mais preventiva, recorrendo a um produto anti-*scuffing*, que é aplicado nas garrafas novas e aumenta o número de ciclos até estas evidenciarem *scuffing.*

Em relação ao projeto de desenvolvido de simulação de paragens de linha sugere-se que a simulação de paragens de linha seja feita para outras referências como cervejas especiais: Stout e Abadia.

8. Bibliografia

[1] Super Bock Group, “SUPER BOCK GROUP - Sobre o Grupo.” [Online]. Available: https://www.superbockgroup.com/detalhe/sobre-o-grupo/. [Accessed: 15-Feb-2018].

[2] J. Shelby, *Introduction to glass science and technology*, 2ª. New York: The Royal Society of Chemistry, 2005.

[3] *Vidro de embalagem NP-3548*. Lisboa: Instituto português da qualidade, 1988, p. 14.

[4] S. M. Budd, “Abrasion-resistant coatings for use on returnable glass containers,” *Thin Solid Films*, vol. 77, no. 1–3, pp. 13–20, Mar. 1981.

[5] T. M. Mata and C. A. V. Costa, “Life cycle assessment of different reuse percentages for glass beer bottles,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 6, no. 5, pp. 307–319, Sep. 2001.

[6] R. Klimovitz and K. Ockert, Eds., “Glass Bottle Manufacturing,” in *Beer Packaging*, 2ª., Minnesota: Master Brewers Association of the Americas, 2014, pp. 117–128.

[7] N. Malengreau, “Characterization of Scuffing On Returnable Bottles,” Charleroi, 2000.

[8] R. Klimovitz and K. Ockert, Eds., “Basic Principles and Operation of a Bottle Washer,” in *Beer Packaging*, 2ª., Minnesota: Master Brewers Association of the Americans, 2014, pp. 129–146.

[9] K. Minolta, “Luminance Meters & Colorimeters - Konica Minolta Color, Light, and Display Measuring Instruments.” [Online]. Available: https://sensing.konicaminolta.asia/learning-centre/light-measurement/luminance-meters-colorimeters/. [Accessed: 12-Jun-2018].

[10] K. Minolta, “Colorimetry Concepts - Konica Minolta Color, Light, and Display Measuring Instruments.” [Online]. Available: https://sensing.konicaminolta.asia/learning-centre/light-measurement/colorimetry-concepts/. [Accessed: 12-Jun-2018].

[11] “Delta Color - Espectrofotômetro X Colorímetro.” [Online]. Available: http://www.deltacolorbrasil.com/espectrofotometroXcolorimetro.html. [Accessed: 06-Jun-2018].

[12] K. Minolta, “CIE 2000 Color Difference Formula - Konica Minolta Color, Light, and Display Measuring Instruments.” [Online]. Available: https://sensing.konicaminolta.asia/learning-centre/color-measurement/cie-2000-color-difference-formula/. [Accessed: 12-Jun-2018].

[13] H. K. HAMMOND, “Colorimeters,” in *Applied Optics and Optical Engineering*, vol. 5, Academic Press, Ed. Washington DC: Elsevier, 1969, pp. 105–131.

[14] K. Minolta, “Color Spaces - Konica Minolta Color, Light, and Display Measuring Instruments.” [Online]. Available: https://sensing.konicaminolta.asia/learning-centre/color-measurement/color-spaces/. [Accessed: 12-Jun-2018].

[15] R. de A. Silva, C. O. Petter, and I. A. H. Schneider, “Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas,” *Rem Rev. Esc. Minas*, vol. 60, no. 3, pp. 477–482, Sep. 2007.

[16] R. N. Pavão, “EYECOLORS - IDENTIFICAÇÃO DA COR DOMINANTE EM FOTOGRAFIAS,” Universidade de Lisboa-Faculdade de Ciências, 2016.

[17] J. Neto, “Instrumentos De Medição E Controle Dimensional,” in *Metrologia e Controle Dimensional*, Elsevier, Ed. Rio de Janeiro, 2012, pp. 37–100.

[18] P. W. L. Graham, “46th Conference on Glass Problems,” in *Lubricious and Protective Coatings for Glass Containers*, 1986, pp. 437–459.

[19] H. K. Pulker, “FILM FORMATION METHODS,” in *Coatings on Glass*, 2ª., Elsevier, Ed. 1999, pp. 103–317.

[20] M. Nakagawa, T. Amano, and S. Yokokura, “Development of lightweight returnable bottles,” *J. Non. Cryst. Solids*, vol. 218, pp. 100–104, Sep. 1997.

[21] H. de Waal, “Pointers for research and development in the glass container industry,” *J. Non. Cryst. Solids*, vol. 87, no. 3, pp. 366–375, Nov. 1986.

[22] S. Yokokura, Y. Horie, M. Takamizawa, Y. Inoue, and H. Yoshioka, “Masking of abrasion injury on glass articles,” 4273834A, 09-Oct-1979.

[23] KHS, “A Tradition of Innovative Technology | KHS GmbH.” [Online]. Available: https://www.khs.com/en/media/press-articles/press-releases/detail/a-tradition-of-innovative-technology/. [Accessed: 15-Mar-2018].

[24] “(1) KHS Innofill Glass Micro DPG - glass bottle filler - YouTube.” [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=2KHE5EjZ3zw. [Accessed: 16-Mar-2018].

[25] R. Klimovitz and K. Ockert, “Bottle Filling and Crowing,” in *Beer Packaging*, 2ª edition., U.S.A.: Master Brewers Association of the Americas, 2014, pp. 189–208.

[26] W. Kunze, “Beer container filling,” in *Technology Brewing and Malting*, 2ª., VLB, Ed. Berlin, 1999, pp. 455–540.

[27] K. Hillier, “Liquid paraffin,” in *xPharm: The Comprehensive Pharmacology Reference*, Elsevier, 2011, pp. 1–2.

[28] W. Kunze, “Finished beer,” in *Technology Brewing and Malting*, 2ª edition., VLB, Ed. Berlin, 1999, pp. 551–561.

[29] ZALKIN, *MANUAL CABEÇA DE «CRAVAÇÃO»*. 2017.

[30] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamentals of physics, extended edition*, 8th ed. 2007.

[31] S. B. M. Jaime, R. M. V. Alves, M. R. Bordin, and P. F. Janetti, “Influência da velocidade no torque de remoção de tampas plásticas rosqueáveis para produtos farmacêuticos,” *J. Basic Appl. Pharm. Sci.*, pp. 245–253, 2012.

Anexo A

Cálculo do consumo de produto mascarador por garrafa

Tabela A. 1-Dados fornecidos pelo controlador do equipamento industrial para mascara o scuffing.

Tempo de operação (min:segundos)	30:40
Divo Mask consumido (kg)	0,513
Água consumida (m^3)	0,006
Garrafas	23.505

$$Consumo\ produto\ por\ garrafa\left(\frac{L}{grf}\right) = \frac{513}{23505}\left(\frac{g}{grf}\right) \times \frac{1}{0{,}86}\left(\frac{cm^3}{g}\right) \times \frac{1}{10^3} \times \left(\frac{dm^3}{cm^3}\right)$$

$$\text{Consumo produto por garrafa}\left(\frac{\text{L}}{\text{grf}}\right) = 2{,}54 \times 10^{-5}$$

$$Consumo\ produto\ por\ garrafa\left(\frac{mL}{kgrf}\right) = 2{,}54 \times 10^{-5} \times 1000 \times 1000$$

$$Consumo\ produto\ por\ garrafa\left(\frac{mL}{kgrf}\right) = 25{,}4$$

Gráfico do nível de scuffing de garrafas em função do seu ano de fabrico

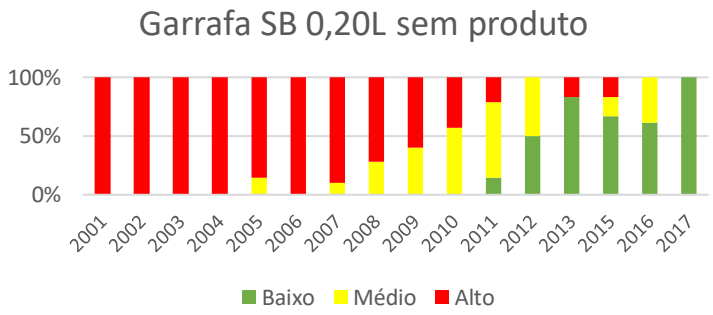


Figura A. 1-Percentagem de garrafas com scuffing alto, médio e baixo de uma amostragem de garrafas 0,20L em função do ano em que as garrafas foram fabricadas.

Anexo B

Fórmulas utilizadas pelo *Carbo QC* para o cálculo da concentração de CO_2

$$V_l \times C_{CO_{2,0}} = V_l \times C_{CO_{2,1}} + \frac{V_{g,1} \times X_{CO_{2,1}} \times P_1}{R \times T} \quad \text{(B. 1)}$$

$$V_l \times C_{CO_{2,1}} = V_l \times C_{CO_{2,2}} + \frac{V_{g,2} \times X_{CO_{2,2}} \times P_2}{R \times T} \quad \text{(B. 2)}$$

$$V_l \times C_{ar,0} = V_l \times C_{ar,1} + \frac{V_{g,1} \times X_{ar,1} \times P_1}{R \times T} \quad \text{(B. 3)}$$

$$V_l \times C_{ar,1} = V_l \times C_{ar,2} + \frac{V_{g,2} \times X_{ar,2} \times P_2}{R \times T} \quad \text{(B. 4)}$$

$$X_{CO_{2,1}} \times P_1 = S_{CO_2} \times C_{CO_{2,1}} \quad \text{(B. 5)}$$

$$X_{CO_{2,1}} \times P_2 = S_{CO_2} \times C_{CO_{2,2}} \quad \text{(B. 6)}$$

$$P_1 \times (1 - X_{CO_{2,1}}) = S_{ar} \times C_{ar,1} \quad \text{(B. 7)}$$

$$P_2 \times (1 - X_{CO_{2,2}}) = S_{ar} \times C_{ar,1} \quad \text{(B. 8)}$$

V_l é o volume da fase líquida inicial. $C_{CO_{2,0}}$, $C_{CO_{2,1}}$, $C_{CO_{2,2}}$ concentração de CO_2 inicial, após a primeira expansão e após a segunda expansão. $V_{g,1}$ e $V_{g,2}$ é o volume da fase gasosa após a primeira e segunda expansão. $X_{CO_{2,1}}$ e $X_{CO_{2,2}}$ é a fração molar do CO_2 após a primeira e segunda expansão. P_1 e P_2 é a pressão na primeira e segunda expansão. $X_{ar,1}$ e $X_{ar,2}$ é a fração molar do ar na primeira e segunda expansão. $C_{ar,1}$ e $C_{ar,2}$ é a concentração do ar na primeira e segunda expansão. R é a contante dos gases perfeitos. T é a temperatura. S_{CO_2} é a solubilidade do CO_2. S_{ar} é a solubilidade de do ar.

Fórmulas utilizadas pelo *Haffmans* para o cálculo da concentração de O_2

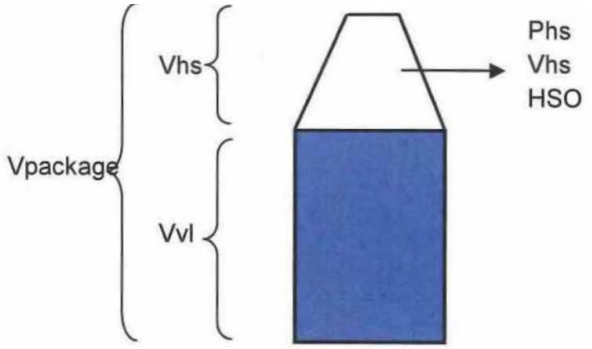


Figura B. 1- Figura esquemática de uma garrafa de cerveja. Na qual $V_{package}$ é o volume total da garrafa; V_{hs} é o volume da headspace; V_{vl} é o volume do líquido; P_{hs} é a pressão na headspace; HSO é o oxigénio no headspace.

Fórmula para o cálculo do TPO (Total Package Oxygen):

$$TPO(mg) = DO(mg) + HSO(mg) \quad \text{(B. 9)}$$

$$TPO(mg) = DO \cdot V_{vl} + \left(\left(\frac{P_{hs} \cdot V_{hs} \cdot O_{2\,fração}}{T \cdot R_m}\right) \cdot M_{O_2}\right) \quad \text{(B. 10)}$$

$$TPO(mg/l) = \frac{DO \cdot V_{vl} + \left(\left(\frac{P_{hs} \cdot V_{hs} \cdot O_{2\,fração}}{T \cdot R_m}\right) \cdot M_{O_2}\right)}{V_{vl}} \quad \text{(B. 11)}$$

$$TPO(\mu g) = TPO(mg) \cdot 1000 \quad \text{(B. 12)}$$

$$TPO(\mu g/l) = TPO(mg/l) \cdot 1000 \quad \text{(B. 13)}$$

$$TPO(ppb) = TPO(mg/l) \cdot 1000 \quad \text{(B. 14)}$$

$$TPO(ppm) = TPO(mg/l) \quad \text{(B. 15)}$$

Unidades HSO (*HeadSpace oxygen*)

$$HSO(mg) = \frac{P_{Hs} \cdot V_{Hs} \cdot O_{2\,fração}}{T \cdot R_m} \cdot M_{O_2} \quad \text{(B. 16)}$$

$$HSO(mg/l) = \frac{\frac{P_{Hs} \cdot V_{Hs} \cdot O_{2\,fração}}{T \cdot R_m} \cdot M_{O_2}}{V_{vl}} \quad \text{(B. 17)}$$

$$HSO(\mu g) = HSO(mg) \cdot 1000 \quad \text{(B. 18)}$$

$$HSO(\mu g/l) = HSO(mg/l) \cdot 1000 \quad \text{(B. 19)}$$

$$HSO(ppb) = HSO(mg/l) \cdot 1000 \quad \text{(B. 20)}$$

$$HSO(ppm) = HSO(mg/l) \quad \text{(B. 21)}$$

$$HSO(\%) = O_{2\ fração\ in} \quad \text{(B. 22)}$$

Unidades DO (*Dissolved Oxygen*)

$$DO(mg) = DO \cdot V_{vl} \quad \text{(B. 23)}$$

$$DO(\mu g) = DO(mg) \cdot 1000 \quad \text{(B. 24)}$$

$$DO(mg/l) = DO \quad \text{(B. 25)}$$

$$DO(\mu g/l) = DO\ (mg/l) \cdot 1000 \quad \text{(B. 26)}$$

$$DO(ppb) = DO\ (mg/l) \cdot 1000 \quad \text{(B. 27)}$$

$$DO(ppm) = DO\ (mg/l) \quad \text{(B. 28)}$$

DO é o oxigénio dissolvido em mg. TPO é o oxigénio total na garrafa em mg. *HSO* é o oxigénio no headspace.

A medição de CO2 é calculada pelo *Haffmans* recorrendo à lei de Henry.

<u>Cálculo do tempo máximo de exposição ao ar para SB 0,33L</u>

$$AG = 1 \times 10^{-5} t^2 - 0{,}0075t - 0{,}3963 \quad \text{(B. 29)}$$

Na qual AG é a avaliação global (adimensional) e t é o tempo em segundos(s)

$$-1{,}4 = 1 \times 10^{-5} t^2 - 0{,}0075t - 0{,}3963$$

$$\Leftrightarrow t = 174{,}3636\ s$$

Anexo C

Desenho técnico da marisa da garrafa SB 1litro

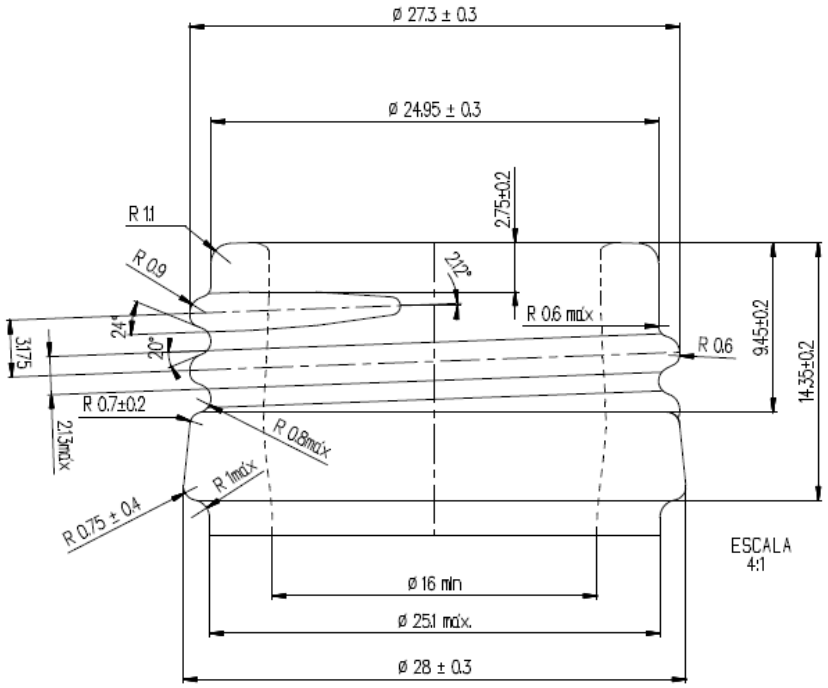


Figura C. 1-Desenho técnico da marisa utilizada pelos fabricantes de garrafas de 1 litro SuperBock.