



**Ângela Das Neves  
Esteves**

**Análise do impacto qualitativo da redução de peso de  
garrafas de vidro**

# **DISSERTAÇÃO**





**Ângela Das Neves  
Esteves**

**Análise do impacto qualitativo da redução de peso de  
garrafas de vidro**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia, ramo de Biotecnologia Alimentar, realizada sob a orientação científica da Doutora Paula Celeste da Silva Ferreira, equiparada a Investigadora Coordenadora do Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro e da Engenheira Maria Teresa Aguiar Telo de Soares Anjos, Técnica Superior do Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança da empresa Super Bock Group.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto CICECO-Instituto de Materiais de Aveiro, Ref<sup>a</sup>. FCT UID/CTM/50011/2019, financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES.



## **o júri**

presidente

**Doutor Jorge Manuel Alexandre Saraiva**  
investigador auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

**Doutora Cláudia Sofia Cordeiro Nunes**  
investigadora doutorada (nível 1) do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

**Doutora Paula Celeste da Silva Ferreira**  
equiparada a investigadora coordenadora do Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento a todos os que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Super Bock Group, pela oportunidade de estágio, que me ajudou a ter uma visão mais real de uma grande empresa e me aproximou do mundo industrial que tanto me fascina.

À Engenheira Teresa Anjos, orientadora na empresa, não só pelo apoio, dedicação e partilha de conhecimentos durante todas as etapas da elaboração desta dissertação, mas também pelas oportunidades de participar noutros projetos do departamento, que tornaram esta experiência muito mais rica.

À Doutora Paula Ferreira, orientadora na universidade de Aveiro, por toda a disponibilidade demonstrada, pela ajuda e pelas valiosas contribuições, que foram essenciais para a conclusão desta etapa com êxito.

Às empresas BA Glass Portugal S.A. e Vidrala, por todos os contributos no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os colaboradores do Super Bock Group que tive o privilégio de conhecer e que contribuíram para a minha evolução pessoal e profissional. Destaco a excelente equipa do departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança, na qual me senti totalmente integrada e acolhida. Em particular, agradeço à Ana Rita Silva, por toda a ajuda prestada e pelos conhecimentos transmitidos.

Às minhas colegas de estágio, a Rita Araújo e a Rita Antunes, pela amizade, pelo apoio, por estarem sempre disponíveis para me ajudarem e pela companhia em todos os divertidos almoços e lanches.

A todos os meus amigos, da universidade e fora dela, que sempre me acompanharam, agradeço o carinho, a força, a motivação e as ideias e sugestões para que tudo corresse melhor.

Por último, à minha família, em especial aos meus pais, irmão, avós, tios, primos e padrinhos, que estiveram sempre presentes em todos os bons e maus momentos. Este foi um ano de grandes desafios e alguns contratemplos, mas a compreensão, o incentivo incondicional, a paciência e a força por eles transmitida, foi essencial para que este trabalho fosse possível.

A todos, o meu sincero obrigado.



## **palavras-chave**

Embalagens de alimentos e bebidas, Garrafas de vidro, Redução de peso, Linha de enchimento, Ensaio industrial, Ensaio de transporte, Resistência mecânica do vidro

## **resumo**

As indústrias alimentares têm vindo a dedicar uma atenção crescente à otimização de recursos e à redução do impacto ambiental dos seus processos. Nesse sentido, a quantidade de material usado na produção de embalagens alimentares é uma preocupação das indústrias, não só por razões económicas, mas também ambientais.

As embalagens alimentares têm como objetivo a proteção dos alimentos, assegurando que as suas características organolépticas se mantêm durante o seu tempo de prateleira. O vidro é um dos materiais mais usados em embalagens destinadas ao acondicionamento de bebidas, sendo principalmente aplicado em garrafas.

A produção de garrafas aligeiradas, isto é, mais leves, consiste no desenvolvimento de processos de fabrico que permitam produzir garrafas com menor quantidade de vidro, mas que mantenham as funcionalidades e os mesmos níveis de segurança para os consumidores. No entanto, essa alteração pode influenciar a resistência das embalagens, tornando-as mais suscetíveis à quebra, quando expostas a determinadas cargas. As principais causas para a quebra de uma garrafa de vidro são a pressão interna, o choque térmico, a carga vertical e o impacto.

Com este projeto, pretendeu-se avaliar os impactos que a redução da quantidade de vidro usado na produção de garrafas pode causar na sua resistência mecânica, principalmente ao longo da linha de enchimento e do transporte. Nesse sentido, foram acompanhados ensaios industriais e de transporte, onde foram analisados vários parâmetros, em especial a existência de quebras das garrafas aligeiradas. As análises foram depois complementadas com a determinação de características dimensionais e de resistência mecânica. Os modelos em teste englobaram as garrafas de vidro de tara perdida: Super Bock 20 cL (SB20) e Pedras 25 cL (P25).

Em alguns ensaios industriais com as garrafas aligeiradas verificou-se uma quebra elevada em certas zonas das linhas de enchimento. Foram investigadas as causas subjacentes a estes acontecimentos, que prontamente foram corrigidas. Os ensaios de transporte e os parâmetros medidos demonstraram que as garrafas aligeiradas apresentavam elevada resistência mecânica e estavam de acordo com os critérios estipulados na documentação técnica.

No final, considerou-se que as garrafas aligeiradas em estudo possuíam as características essenciais ao eficiente embalamento e distribuição de produto.



**keywords**

Food and beverage packaging, Glass bottles, Weight reduction, Wadding line, Industrial essay, Transportation essay, Glass mechanical resistance

**abstract**

The food and beverage industry has been increasingly focused on the optimization of resources and reduction of the environmental impact of its processes. In this sense, the amount of material used in food and beverage packaging production is a general industrial concern, not only due to economic issues, but also for environmental reasons.

The food and beverage packaging intends to guarantee the protection of food and beverages, ensuring the preservation of their organoleptic characteristics during its shelf life. Glass is one of the most widely used packaging materials for beverages, being mostly applied in bottles.

The production of lightweight packaging consists in the development of manufacturing processes that allow the creation of bottles with less glass, while maintaining the same functionalities and the same level of safety for consumers. However, this change can influence bottle strength, making it more susceptible to breakage when exposed to certain loads. The main causes for bottle breakage are internal pressure, thermal shock, vertical load and impact.

This project was developed to evaluate the impacts of reducing the amount of glass used in bottle production on its mechanical strength, especially along the filling line and transport. For this purpose, industrial and transportation tests were performed, in which breaks associated with lightweight bottles were recorded. This analysis was, then, complemented with dimensional characteristics and mechanical strength determination. The one-way Super Bock 20 cL (SB20) and Pedras 25 cL (P25) glass bottles were tested.

Some industrial tests with lightweight bottles presented an abnormal breakage in certain areas of the filling lines. The underlying causes of these events were investigated and promptly corrected. Transportation tests and measured parameters showed that the lightweight bottles had good mechanical strength and were under the stipulated criteria in the technical documentation.

In the end, it was considered that the lightweight bottles tested had the essential characteristics for efficient packaging and product distribution.



## Índice

|                                                                        |               |
|------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Índice de Figuras .....                                                | iii           |
| Índice de Tabelas .....                                                | v             |
| Índice de Equações .....                                               | vii           |
| Lista de abreviaturas .....                                            | ix            |
| <b>CAPÍTULO I - CONTEXTUALIZAÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO .....</b>     | <b>- 1 -</b>  |
| 1. Enquadramento e objetivos do projeto .....                          | - 3 -         |
| 2. Apresentação do Super Bock Group .....                              | - 4 -         |
| 3. Organização da dissertação .....                                    | - 6 -         |
| <b>CAPÍTULO II - INTRODUÇÃO .....</b>                                  | <b>- 7 -</b>  |
| 1. Características e funções das embalagens alimentares .....          | - 9 -         |
| 2. Impacto ambiental das embalagens .....                              | - 10 -        |
| 3. Otimização de embalagens no Super Bock Group .....                  | - 12 -        |
| 4. Vidro .....                                                         | - 13 -        |
| 4.1. Produção de embalagens alimentares de vidro .....                 | - 15 -        |
| 4.1.1. Fabrico do vidro .....                                          | - 16 -        |
| 4.1.1.1. Formulação .....                                              | - 16 -        |
| 4.1.1.2. Fusão .....                                                   | - 18 -        |
| 4.1.2. Fabrico da embalagem .....                                      | - 19 -        |
| 4.1.2.1. Moldação .....                                                | - 19 -        |
| 4.1.2.2. Tratamento da superfície a quente .....                       | - 22 -        |
| 4.1.2.3. Recozimento .....                                             | - 22 -        |
| 4.1.2.4. Tratamento da superfície a frio .....                         | - 23 -        |
| 4.1.3. Controlo de qualidade .....                                     | - 23 -        |
| 4.1.4. Paletização .....                                               | - 23 -        |
| 4.2. Especificações técnicas das garrafas de vidro .....               | - 23 -        |
| 4.3. Resistência mecânica das garrafas de vidro .....                  | - 26 -        |
| 4.3.1. Análise fractográfica de garrafas de vidro .....                | - 28 -        |
| 4.3.1.1. Pressão interna .....                                         | - 29 -        |
| 4.3.1.2. Choque térmico .....                                          | - 30 -        |
| 4.3.1.3. Carga vertical .....                                          | - 32 -        |
| 4.3.1.4. Impacto .....                                                 | - 33 -        |
| 5. Processo de enchimento industrial .....                             | - 35 -        |
| 5.1. Linha de enchimento TP .....                                      | - 37 -        |
| <b>CAPÍTULO III - METODOLOGIAS APLICADAS .....</b>                     | <b>- 45 -</b> |
| 1. Proposta de redução de peso de garrafas de vidro .....              | - 47 -        |
| 2. Fases de aprovação das garrafas aligeiradas da BA .....             | - 48 -        |
| 2.1. Aprovação dos desenhos técnicos e das fichas de paletização ..... | - 48 -        |
| 2.2. Pequena produção a partir de molde protótipo .....                | - 49 -        |
| 2.3. Produção alargada a partir de molde final .....                   | - 49 -        |

|                                                         |                                                                                                                   |                |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 2.4.                                                    | Ensaio industriais .....                                                                                          | - 50 -         |
| 2.5.                                                    | Ensaio de transporte .....                                                                                        | - 52 -         |
| 2.6.                                                    | Análise de parâmetros dimensionais e de resistência mecânica .....                                                | - 54 -         |
| 2.6.1.                                                  | Parâmetros dimensionais .....                                                                                     | - 54 -         |
| 2.6.2.                                                  | Parâmetros de resistência mecânica .....                                                                          | - 59 -         |
| 3.                                                      | Fases de aprovação da garrafa aligeirada da Vidrala.....                                                          | - 62 -         |
| 3.1.                                                    | Aprovação do desenho técnico e da ficha de paletização .....                                                      | - 62 -         |
| 3.2.                                                    | Pequena produção a partir de molde protótipo .....                                                                | - 62 -         |
| 3.3.                                                    | Produção alargada a partir de molde final .....                                                                   | - 62 -         |
| 3.4.                                                    | Ensaio industriais .....                                                                                          | - 62 -         |
| 3.5.                                                    | Ensaio de transporte.....                                                                                         | - 63 -         |
| 3.6.                                                    | Análise de parâmetros dimensionais e de resistência mecânica .....                                                | - 63 -         |
| 4.                                                      | Impacto ambiental da redução de peso das garrafas em estudo .....                                                 | - 63 -         |
| <b>CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>       |                                                                                                                   | <b>- 65 -</b>  |
| 1.                                                      | Garrafa SB20 aligeirada versus garrafa SB20 atual da BA .....                                                     | - 67 -         |
| 1.1.                                                    | Análise do comportamento da garrafa SB20 aligeirada nos ensaios industriais.....                                  | - 67 -         |
| 1.2.                                                    | Análise do comportamento da garrafa SB20 aligeirada nos ensaios de transporte .....                               | - 72 -         |
| 1.3.                                                    | Análise comparativa dos parâmetros dimensionais e de resistência mecânica da garrafa SB20 aligeirada e atual..... | - 72 -         |
| 2.                                                      | Garrafa P25 aligeirada versus garrafa P25 atual da BA .....                                                       | - 79 -         |
| 2.1.                                                    | Análise do comportamento da garrafa P25 aligeirada nos ensaios industriais .....                                  | - 79 -         |
| 2.2.                                                    | Análise do comportamento da garrafa P25 aligeirada nos ensaios de transporte .....                                | - 80 -         |
| 2.3.                                                    | Análise comparativa dos parâmetros dimensionais e de resistência mecânica da garrafa P25 aligeirada e atual.....  | - 80 -         |
| 3.                                                      | Garrafa P25 aligeirada da Vidrala .....                                                                           | - 89 -         |
| 3.1.                                                    | Análise do comportamento da garrafa P25 aligeirada nos ensaios industriais .....                                  | - 89 -         |
| 3.2.                                                    | Análise dos parâmetros dimensionais e de resistência mecânica da garrafa P25 aligeirada.....                      | - 91 -         |
| 4.                                                      | Impacto ambiental da redução de peso das garrafas em estudo .....                                                 | - 95 -         |
| 5.                                                      | Atualização do caderno de encargos .....                                                                          | - 96 -         |
| 6.                                                      | Elaboração de instrução de trabalho (IT) para aprovação de uma garrafa de vidro com redução de peso .....         | - 96 -         |
| <b>CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b> |                                                                                                                   | <b>- 97 -</b>  |
| 1.                                                      | Conclusões .....                                                                                                  | - 99 -         |
| 2.                                                      | Trabalhos futuros.....                                                                                            | - 100 -        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                 |                                                                                                                   | <b>- 103 -</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                      |                                                                                                                   | <b>- 109 -</b> |

## Índice de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Figura 1:</b> Produtos comercializados pelo SBG.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 5 -  |
| <b>Figura 2:</b> Resíduos de embalagens gerados, recuperados e reciclados, na União Europeia, entre 2006 e 2015. Adaptado de referência (7). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 11 - |
| <b>Figura 3:</b> Gráfico representativo das reduções de gramagem que ocorreram, entre 1999 e 2012, em algumas garrafas do SBG. Adaptado de referência (9).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 13 - |
| <b>Figura 4:</b> Representação esquemática de: [a] rede cristalina de vidro de sílica pura e de [b] rede amorfa de vidro de sílica comum. Círculos a cheio representam os átomos de silício e os vazios são os átomos de oxigénio. No tetraedro SiO <sub>4</sub> cristalino estão apenas representados três oxigénios ligados a cada átomo de sílica, sendo que o quarto oxigénio se situa alternadamente acima ou abaixo do plano da figura. Retirado de referência (14). ..... | 14 - |
| <b>Figura 5:</b> Esquema geral dos processos envolvidos na produção de vidro para embalagens, desde a receção de matérias-primas [1], até à entrega dos produtos acabados aos clientes [8]. Retirado de referência (16).....                                                                                                                                                                                                                                                     | 16 - |
| <b>Figura 6:</b> Esquema exemplificativo de um forno regenerativo usado no processo de fusão e produção do vidro. Retirado de referência (23). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 18 - |
| <b>Figura 7:</b> Esquema do processo de moldação soprado-soprado. Adaptado de referência (25). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 20 - |
| <b>Figura 8:</b> Esquema do processo de moldação prensado-soprado. Adaptado de referência (25).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 21 - |
| <b>Figura 9:</b> Esquema do processo de moldação NNPB. Adaptado de referência (25). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 21 - |
| <b>Figura 10:</b> Nomenclatura usada para garrafas de vidro. Retirado de referência (27). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 25 - |
| <b>Figura 11:</b> Diagrama com a classificação e definição dos defeitos que podem ser encontrados em garrafas de vidro. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 25 - |
| <b>Figura 12:</b> Imagens representativas dos tipos de concentradores de stress que podem estar na origem de fraturas em garrafas de vidro. A - Dano por contacto; B - Dano por fricção; C - Dano por clivagem; D - Seda (Fissura superficial); E - Infundido (material refratário que não fundiu completamente); F - Inclusão (bolha). Adaptado de referência (32).....                                                                                                         | 27 - |
| <b>Figura 13:</b> Ilustração da reação química entre a rede amorfa do vidro e a água ambiental, que está na origem da quebra do vidro por fadiga estática. Retirado de referência (31). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 28 - |
| <b>Figura 14:</b> Esquema explicativo das quatro cargas a que uma garrafa de vidro pode estar sujeita. A - Pressão interna; B - Carga vertical, C - Choque térmico; D - Impacto. Adaptado de referência (33). .....                                                                                                                                                                                                                                                              | 29 - |
| <b>Figura 15:</b> Exemplos dos padrões de fratura em garrafas de vidro, resultantes da pressão interna. a, b e c - Fratura com origem na parede lateral; d - Fratura com origem no fundo. Retirado de referência (36). .....                                                                                                                                                                                                                                                     | 30 - |
| <b>Figura 16:</b> Esquema exemplificativo do comportamento de uma garrafa de vidro quando esta é colocada num ambiente de menor temperatura. T-temperatura. Adaptado de referência (38). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 31 - |
| <b>Figura 17:</b> Exemplo do padrão de fratura numa garrafa de vidro, devido ao choque térmico. Retirado de referência (36). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 32 - |
| <b>Figura 18:</b> Imagens ilustrativas de dois padrões de fratura provocados pela carga vertical. A - Fratura no ombro; B - Fratura no calcanhar. Retirado de referência (34). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 33 - |
| <b>Figura 19:</b> Esquema exemplificativo dos três sistemas de tensão que podem ocorrer numa garrafa de vidro quando esta é sujeita a um impacto por outro objeto. Adaptado de referência (43). .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 34 - |
| <b>Figura 20:</b> Exemplo do padrão de fratura numa garrafa de vidro, causado pelo impacto. Retirado de referência (36). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 35 - |
| <b>Figura 21:</b> Diagrama geral do processo de enchimento. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 36 - |
| <b>Figura 22:</b> Imagens ilustrativas da despaletizadora utilizada na linha 2. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 38 - |
| <b>Figura 23:</b> Imagem ilustrativa do inspetor de garrafas vazias utilizado na linha 2. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 39 - |
| <b>Figura 24:</b> Imagem da enchedora e capsuladora utilizadas na linha 2. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 40 - |
| <b>Figura 25:</b> Imagem ilustrativa do pasteurizador utilizado na linha 2. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 41 - |
| <b>Figura 26:</b> Imagem ilustrativa da rotuladora utilizada na linha 2. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 41 - |
| <b>Figura 27:</b> Imagens ilustrativas dos equipamentos de embalagem secundário utilizados na linha 2.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 42 - |
| <b>Figura 28:</b> Imagem ilustrativa da paletizadora utilizada na linha 2. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 43 - |
| <b>Figura 29:</b> Imagem ilustrativa das zonas e respetivas alturas, onde se realizaram as medições de diâmetros e espessuras: ZFG - Zona de fundo da gargantilha; ZCS - Zona de contacto superior; ZNCS - Zona de não-contacto superior; ZI - Zona intermédia; ZNCI - Zona de não-contacto inferior; ZCI - Zona de contacto inferior. ....                                                                                                                                      | 55 - |
| <b>Figura 30:</b> Imagem representativa das garrafas P25 e SB20 cortadas transversalmente, de forma a evidenciar o perfil de espessuras das mesmas. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 57 - |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Figura 31:</b> Imagens ilustrativas dos equipamentos usados nas medições dos parâmetros dimensionais: A - Balança digital para medição de peso; B – Graminho digital para medição de altura; C- Graminho digital para medição de diâmetro externo; D – Medidor digital para medição de espessuras. ....                            | - 59 - |
| <b>Figura 32:</b> Imagens ilustrativas dos equipamentos usados nos testes de resistência mecânica: A – Teste destrutivo de resistência à pressão interna; B – Teste de resistência ao impacto; C – Teste de resistência ao choque térmico. ....                                                                                       | - 61 - |
| <b>Figura 33:</b> Representação gráfica da percentagem de quebra de garrafas de vidro SB20 aligeirada e atual, obtidas em determinadas zonas da linha de enchimento 5, durante o ensaio industrial realizado. As duas últimas colunas do gráfico correspondem ao somatório da percentagem de quebra das zonas da linha avaliada. .... | - 68 - |
| <b>Figura 34:</b> Representação gráfica da percentagem de quebra de garrafas de vidro SB20 aligeirada e atual, obtidas em determinadas zonas da linha de enchimento 2, durante o ensaio industrial realizado. As duas últimas colunas do gráfico correspondem ao somatório da percentagem de quebra das zonas da linha avaliada. .... | - 69 - |
| <b>Figura 35:</b> Matriz de paletização da garrafa aligeirada (à esquerda) e da garrafa atual (à direita), sendo que cada retângulo representa uma camada de garrafas na paleta e os círculos representam as garrafas. Adaptado de referência (44).....                                                                               | - 70 - |
| <b>Figura 36:</b> Representação gráfica do peso das garrafas SB20 aligeiradas e atuais analisadas. O gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes.....                                                                                                                                                       | - 73 - |
| <b>Figura 37:</b> Representação gráfica da altura das garrafas SB20 aligeiradas e atuais analisadas. O gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes, indicando o limite inferior estabelecido (LIE) e o limite superior estabelecido (LSE). ....                                                             | - 74 - |
| <b>Figura 38:</b> Representação gráfica do volume líquido das garrafas SB20 aligeiradas e atuais analisadas. O gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes, indicando o limite inferior estabelecido (LIE) e o limite superior estabelecido (LSE).....                                                      | - 77 - |
| <b>Figura 39:</b> Representações gráficas dos pesos das garrafas P25 aligeiradas verdes (à esquerda) e P25 aligeiradas brancas (à direita) analisadas. Cada gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes.....                                                                                                | - 80 - |
| <b>Figura 40:</b> Representações gráficas das alturas das garrafas P25 aligeiradas verdes (à esquerda) e P25 aligeiradas brancas (à direita) analisadas. Cada gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes, indicando o limite inferior estabelecido (LIE) e o limite superior estabelecido (LSE). ....      | - 81 - |
| <b>Figura 41:</b> Esquema representativo do nível de enchimento numa garrafa de P25 aligeirada e atual. Adaptado de referência (45).....                                                                                                                                                                                              | - 86 - |
| <b>Figura 42:</b> Imagem representativa de uma mesa de inclinação utilizada para determinar a lubrificidade de uma garrafa. Retirado de referência (46).....                                                                                                                                                                          | - 90 - |
| <b>Figura 43:</b> Imagem representativa das zonas de recartilha das garrafas P25 aligeiradas da primeira produção (à direita) e da segunda produção (à esquerda). ....                                                                                                                                                                | - 90 - |
| <b>Figura 44:</b> Representações gráficas do peso (à esquerda) e da altura (à direita) das garrafas P25 aligeiradas analisadas. Cada gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes, sendo que na tabela relativa à altura são indicados os limites inferior (LIE) e superior (LSE) estabelecidos. ....        | - 92 - |

## Índice de Tabelas

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Tabela 1:</b> Função e proporção das matérias-primas principais de um vidro sódico-cálcico típico. Adaptado de referência (13). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | - 17 - |
| <b>Tabela 2:</b> Cargas aproximadas, em MPa, que garrafas de vidro com diferentes condições de superfície são capazes de suportar. Adaptado de referência (32). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | - 26 - |
| <b>Tabela 3:</b> Características das linhas de enchimento de garrafas de vidro e barril na unidade de Leça do Balio do SBG. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | - 37 - |
| <b>Tabela 4:</b> Características das linhas de enchimento de garrafas de vidro e PET na unidade de Pedras Salgadas do SBG. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | - 37 - |
| <b>Tabela 5:</b> Caracterização das garrafas de vidro sujeitas a uma redução de peso. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | - 47 - |
| <b>Tabela 6:</b> Ensaios industriais realizados com as garrafas aligeiradas produzidas pela BA. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | - 50 - |
| <b>Tabela 7:</b> Ensaios de transporte realizados com as garrafas aligeiradas produzidas pela BA. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | - 53 - |
| <b>Tabela 8:</b> Ensaios industriais realizados com a garrafa aligeirada produzida pela Vidrala. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | - 63 - |
| <b>Tabela 9:</b> Parâmetros analisados e respetivos resultados obtidos durante os ensaios de enchimento com a garrafa SB20 aligeirada da BA. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | - 67 - |
| <b>Tabela 10:</b> Valores de referência definidos pelo SBG para a percentagem de quebra de garrafas de vidro numa linha de enchimento comum. Adaptado de referência (30). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | - 68 - |
| <b>Tabela 11:</b> Parâmetros analisados e respetivos resultados obtidos durante os ensaios de enchimento com a garrafa SB20 aligeirada da BA. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | - 72 - |
| <b>Tabela 12:</b> Valores obtidos na determinação dos diâmetros externos, das espessuras e da distribuição do vidro nas garrafas SB20 aligeiradas e atuais. As medições foram efetuadas em seis zonas de cada garrafa: ZCS (zona de contacto superior), ZNCS (zona de não-contacto superior), ZI (Zona intermédia), ZNCI (zona de não-contacto inferior), ZCI (zona de contacto inferior) e ZFG (zona de fundo da gargantilha). Apresentam-se a média, os desvios padrão, os valores máximos e mínimos medidos em cada zona, o número de amostras analisadas, os valores alvo e os limites inferior (LIE) e superior (LSE) estabelecidos. .... | - 75 - |
| <b>Tabela 13:</b> Valores obtidos na determinação da resistência, das garrafas SB20 aligeiradas e atuais, à pressão interna, ao impacto e ao choque térmico. ZCS - Zona de contacto superior, ZCI - Zona de contacto inferior. . -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 78 -   |
| <b>Tabela 14:</b> Parâmetros analisados e respetivos resultados obtidos durante os ensaios de enchimento da garrafa P25 aligeirada, verde e branca, da BA. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | - 79 - |
| <b>Tabela 15:</b> Valores obtidos na determinação dos diâmetros externos, das espessuras e da distribuição do vidro nas garrafas P2, verdes e brancas, aligeiradas e atuais. As medições foram efetuadas em duas zonas de cada garrafa: ZCS (zona de contacto superior) e ZCI (zona de contacto inferior). Apresentam-se as médias, os desvios padrão, os valores máximos e mínimos medidos em cada zona, o número de amostras analisadas, os valores alvo e os limites inferior (LIE) e superior (LSE) estabelecidos. ....                                                                                                                    | - 83 - |
| <b>Tabela 16:</b> Valores obtidos na determinação da resistência, das garrafas P25 aligeiradas e atuais, à pressão interna, ao impacto e ao choque térmico. ZCS - Zona de contacto superior, ZCI - Zona de contacto inferior. . -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 85 -   |
| <b>Tabela 17:</b> Valores obtidos na determinação de alguns parâmetros de enchimento das garrafas P25 aligeiradas e atuais, verdes e brancas: volume de líquido, capacidade total e espaço de cabeça. São também indicados os limites inferior (LIE) e superior (LSE) estabelecidos para cada parâmetro. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | - 87 - |
| <b>Tabela 18:</b> Parâmetros analisados e respetivos resultados obtidos, durante os ensaios de enchimento da garrafa P25 aligeirada verde, produzida pela Vidrala. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | - 91 - |
| <b>Tabela 19:</b> Valores obtidos na determinação dos diâmetros externos, das espessuras e da distribuição do vidro da garrafa P25 aligeirada verde. As medições foram efetuadas em duas zonas de cada garrafa: ZCS (zona de contacto superior) e ZCI (zona de contacto inferior). Apresentam-se as médias, os desvios padrão, os valores máximos e mínimos medidos em cada zona, o número de amostras analisadas, os valores alvo e os limites inferior (LIE) e superior (LSE) estabelecidos. ....                                                                                                                                            | - 93 - |
| <b>Tabela 20:</b> Valores obtidos na determinação da resistência, das garrafas P25 aligeiradas, à pressão interna e ao choque térmico. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | - 94 - |
| <b>Tabela 21:</b> Valores obtidos na determinação de parâmetros de enchimento das garrafas P25 aligeiradas: volume de líquido, capacidade total e espaço de cabeça. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | - 95 - |



## Índice de Equações

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Equação 1:</b> Caracterização do stress produzido numa embalagem de vidro em resposta à aplicação de forças externas. O stress gerado é diretamente proporcional à magnitude da força aplicada e inversamente proporcional à área de superfície do corpo sujeito a essa força. Adaptado de referência (33). ..... | - 27 - |
| <b>Equação 2:</b> Fórmula explicativa da fratura de uma garrafa. A quebra resulta quando o stress gerado na garrafa, excede a sua capacidade de resistência, a partir das microfissuras existentes na sua superfície. Adaptado de referência (33). .....                                                             | - 28 - |
| <b>Equação 3:</b> Unidade de pasteurização para cada tipo de cerveja. Uma UP define-se pela exposição da garrafa a 60 °C por minuto.....                                                                                                                                                                             | - 41 - |
| <b>Equação 4:</b> Fórmula de cálculo usada na determinação da percentagem de quebra verificada em cada zona das linhas de enchimento. P - Peso; N - Número.....                                                                                                                                                      | - 52 - |
| <b>Equação 5:</b> Fórmula de cálculo usada na determinação da distribuição do vidro nas garrafas. ....                                                                                                                                                                                                               | - 57 - |
| <b>Equação 6:</b> Fórmula de cálculo usada na determinação do volume de líquido das garrafas com produto acabado. P – peso. ....                                                                                                                                                                                     | - 57 - |
| <b>Equação 7:</b> Fórmula de cálculo usada na determinação da capacidade das garrafas com produto acabado. P – peso. ....                                                                                                                                                                                            | - 58 - |
| <b>Equação 8:</b> Fórmula de cálculo usada na determinação do espaço de cabeça das garrafas com produto acabado. ....                                                                                                                                                                                                | - 58 - |
| <b>Equação 9:</b> Fórmula de determinação da quantidade de toneladas de vidro a produzir para dar origem ao número de garrafas que o SBG necessita para satisfazer as encomendas dos clientes. N – número; P – peso de cada garrafa. ....                                                                            | - 64 - |
| <b>Equação 10:</b> Fórmula de determinação da percentagem de redução de consumo energético resultante da produção de garrafas com redução de peso. No caso da emissão de CO <sub>2</sub> , o cálculo é similar. ....                                                                                                 | - 64 - |



## Lista de abreviaturas

|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| BA Glass Portugal S.A. | BA                     |
| NNPB                   | Narrow Neck Press-Blow |
| PS                     | Prensado-soprado       |
| SB                     | Super Bock             |
| SBG                    | Super Bock Group       |
| SS                     | Soprado-soprado        |
| TP                     | Tara perdida           |
| TR                     | Tara retornável        |



# CAPÍTULO I

## CONTEXTUALIZAÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO

1. Enquadramento e objetivos do projeto
2. Apresentação do Super Bock Group
3. Organização da dissertação



## **1. Enquadramento e objetivos do projeto**

O trabalho descrito na presente dissertação foi elaborado no âmbito do estágio curricular do último ano do mestrado em Biotecnologia - ramo alimentar, da universidade de Aveiro, entre setembro de 2018 e julho de 2019, nas instalações do Super Bock Group (SBG). O trabalho foi desenvolvido no departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança, mais especificamente na área dos Serviços Técnicos, que têm como função garantir a qualidade e melhoria contínua ao longo de toda a cadeia de valor, procurando a satisfação do cliente e o sucesso do SBG no mercado.

O crescimento da população mundial e dos padrões de qualidade de vida das sociedades provocou um aumento massivo da exploração dos recursos do planeta. A magnitude e a velocidade com que é feito o consumo destes recursos tornou-se insustentável, levando a estados de degradação muitas vezes irreversíveis, como a perda da biodiversidade e a contaminação de ecossistemas. Por estes motivos, as indústrias têm vindo a dedicar uma atenção crescente à otimização de recursos e à redução do impacto ambiental dos seus processos. No caso das indústrias alimentares, uma das suas preocupações envolve a quantidade de materiais usados no fabrico das embalagens para acondicionamento dos seus produtos. A redução desses materiais resultaria não só numa poupança económica, mas também energética, que por sua vez conduziria a uma diminuição do seu impacto ambiental.

As embalagens alimentares são responsáveis pela proteção das características organolépticas dos alimentos contidos no seu interior, permitindo que estes tenham um tempo de prateleira mais extenso. O vidro é uma das matérias-primas mais usadas no fabrico de embalagens para bebidas, como é caso de garrafas de vidro, cuja produção tem um elevado impacto ambiental associado. Por isso, quando se reduz o peso de uma garrafa, diminui-se a quantidade de vidro usada na sua produção e paralelamente minimiza-se as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo energético. Adicionalmente, o transporte de garrafas com redução de peso também resultará numa menor sobrecarga para o ambiente. Em termos económicos, as vantagens prevalecem na redução significativa dos custos de produção e logística, dado a elevada quantidade de garrafas de vidro que são anualmente produzidas e transportadas desde as empresas vidreiras até aos clientes.

É possível reduzir a quantidade de vidro numa embalagem, mantendo as propriedades da mesma e sem afetar a segurança do consumidor, através de uma distribuição mais

uniforme do vidro ao longo da garrafa, aquando do processo de moldação, permitindo obter garrafas de peso menor. No entanto, o facto de as garrafas serem constituídas por menos vidro pode ter implicações importantes na sua resistência mecânica, principalmente quando são sujeitas a cargas.

Deste modo, o principal objetivo deste projeto foi analisar o impacto que a redução de peso de garrafas de vidro provocaria na sua resistência mecânica, ao longo da linha de enchimento e durante o seu transporte. As amostras em estudo foram as garrafas de vidro de tara perdida Super Bock 20 cL (SB20) e Pedras 25 cL (P25). Durante este trabalho foram acompanhadas as principais fases de aprovação e implementação do uso de uma nova garrafa. Para isso, foram realizados ensaios industriais, nas linhas de enchimento, e ensaios de transporte, complementados com a análise de várias características estruturais e de resistência das garrafas.

Este projeto assentou numa estreita colaboração entre o SBG e as empresas vidreiras responsáveis pela produção e fornecimento de garrafas de vidro. As três empresas fornecedoras de garrafas de vidro ao SBG são a BA Glass Portugal, S.A. (BA), a Vidrala e a Verallia. Inicialmente, o projeto foi apenas desenvolvido em conjunto com a vidreira BA, que é responsável pela produção de cerca de 80% das garrafas de vidro usadas nas linhas de enchimento do SBG. No entanto, à medida que o projeto foi demonstrando resultados positivos, a redução de peso foi também estendida a uma das garrafas produzidas pela Vidrala.

## **2. Apresentação do Super Bock Group**

O SBG, anteriormente denominado Unicer – Bebidas de Portugal, S.A., é considerado o maior grupo do sector das bebidas em Portugal. Os seus principais negócios assentam na produção e comercialização de cervejas, águas engarrafadas e sidras. Para além disso, a sua atividade complementa-se ainda pelos segmentos dos vinhos, dos refrigerantes, do malte e do turismo (1). Na Figura 1 estão representados todos os produtos comercializados pelo SBG.



**Figura 1:** Produtos comercializados pelo SBG.

Esta empresa iniciou a sua atividade em 1890, quando se formou a CUF - Companhia União Fabril Portuense das Fábricas de Cerveja e Bebidas Refrigerantes - que resultou da união de sete fábricas de cerveja e cujo objetivo era permitir a comercialização e consumo da cerveja nacional ao invés da cerveja importada. A 28 de setembro de 1964 deu-se a inauguração da nova fábrica de Leça do Balio, que ainda hoje se mantém como sede da empresa. Mais tarde, em 1977, ocorreu a união de três companhias cervejeiras, a CUF, a Copeja e a Imperial, surgindo uma nova empresa designada de Unicer (União Cervejeira E.P.), que a partir de 1990 foi totalmente entregue à iniciativa privada. Em 2001, a Unicer adotou a denominação de Unicer – Bebidas de Portugal, S.A. e no ano seguinte o seu segmento de negócios aumentou com a compra dos grupos Vidago, Melgaço, Pedras Salgadas e Caféira. No ano de 2012 iniciou-se o projeto de modernização das áreas de produção e enchimento da fábrica de Leça do Balio, na qual está atualmente concentrada toda a produção de cerveja da empresa. Esta obra envolveu um dos maiores investimentos da sua história, tendo sido superior a 100 milhões de euros (2).

Atualmente, a estrutura acionista do SBG é detida em 56% pelo grupo Viacer (Carlsberg e Violas) e 44% pelo grupo Carlsberg. A empresa está presente em todo o país, com cerca de 15 estabelecimentos, onde se incluem centros de produção de cerveja, refrigerantes e vinhos; centros de captação e de engarrafamento de água; vendas e operações. Para além do principal centro de produção em Leça do Balio, o SBG conta com outros centros em Pedras Salgadas, Castelo de Vide, Envendos, Melgaço, Póvoa do Lanhoso e Poceirão (3).

Quanto a dados financeiros, a empresa, em 2018, registou um volume de vendas de 595 milhões de litros, estando presente em mais de 50 países a nível internacional (1).

### **3. Organização da dissertação**

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos. O primeiro capítulo engloba a contextualização da problemática, os objetivos definidos para o projeto e a apresentação sumária do SBG. No segundo capítulo, é feita uma introdução, na qual se encontram algumas informações relevantes sobre as embalagens alimentares; é definido o processo de fabrico do vidro e das correspondentes embalagens e é apresentado o funcionamento e organização de uma linha de enchimento comum. No terceiro capítulo descrevem-se as metodologias que foram aplicadas, enquanto no quarto capítulo se apresentam e discutem os resultados obtidos. No quinto capítulo são retiradas as conclusões do projeto e são feitas sugestões para trabalhos futuros. Por fim, são brevemente enunciados alguns dos projetos paralelos que foram acompanhados no decorrer do estágio, são listadas as referências bibliográficas consultadas e apresentados os anexos considerados pertinentes.

# **CAPÍTULO II**

## **INTRODUÇÃO**

1. Características e funções das embalagens alimentares
2. Impacto ambiental das embalagens
3. Otimização de embalagens no Super Bock Group
4. Vidro
5. Processo de enchimento industrial



## **1. Características e funções das embalagens alimentares**

Ao longo da história, o Homem sempre foi desenvolvendo embalagens para guardar e transportar os seus alimentos, como jarros para líquidos e cestos de palha para sementes e grãos. No entanto, a embalagem moderna, ou seja, mais aproximada às que hoje conhecemos, só surgiu em 1809, por Nicolas Appert, quando este desenvolveu latas para conservar os alimentos que sustentaram os vastos exércitos de Napoleão (4). O sucesso de Nicolas Appert deveu-se ao facto de este ter conseguido fechar eficientemente as latas e tê-las aquecido por um determinado período de tempo, a uma temperatura específica.

À medida que o comércio foi aumentando, as embalagens evoluíram de forma a poderem oferecer um grau cada vez mais elevado de proteção dos alimentos. Sem embalagem, a qualidade da maioria dos produtos alimentares seria inaceitável e o custo final seria muito elevado (4). Assim, por muito bom que um determinado produto alimentar seja, a sua qualidade só pode ser garantida em combinação com uma embalagem adequada. Por isso, a embalagem e o produto são indissociáveis. A cada produto está sempre associada uma embalagem e também uma tecnologia de transformação e de acondicionamento.

De um modo geral, as embalagens permitem assegurar que todas as características do produto alimentar se mantenham após o seu fabrico, possibilitando o seu transporte a longas distâncias desde o local de produção até ao consumidor final (5). As principais funções de uma embalagem passam por armazenar e transportar os alimentos; protegê-los a nível microbiológico, físico-químico, mecânico e contra perdas. As embalagens facilitam a utilização e o manuseamento do produto, fornecendo aos consumidores informações nutricionais e de confeção dos alimentos e, ainda servem como um meio de marketing, onde o design da embalagem é muitas vezes estruturado de forma a chamar a atenção do consumidor sobre a marca e o produto.

As embalagens podem ser muito diversas, tanto em relação aos materiais que as constituem como em relação à sua funcionalidade. Quanto aos materiais, estes desempenham um papel muito importante na determinação do prazo de validade de um alimento, pois a escolha apropriada dos materiais e tecnologias de embalamento mantem a qualidade e frescura dos produtos durante a sua distribuição e armazenamento. Os materiais que têm sido mais usados na produção de embalagens alimentares são o vidro, o metal (como o alumínio e o aço), o papel, o cartão e o plástico. Atualmente as embalagens alimentares combinam

vários materiais diferentes, de forma a explorar as potencialidades funcionais e estéticas de cada um, conseguindo-se, no final, uma embalagem com características ideais (5). Quanto à sua funcionalidade, uma embalagem pode ser classificada como:

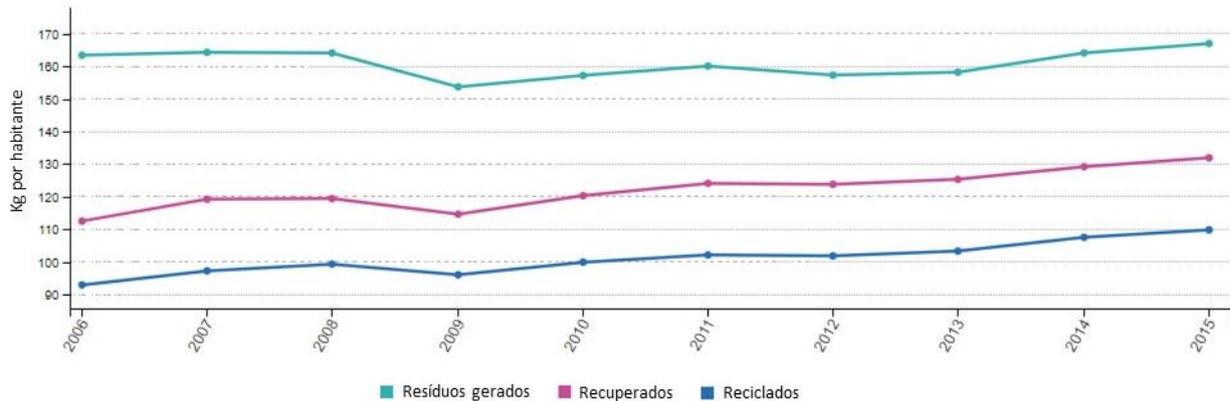
- Embalagem de venda ou embalagem primária, se está em contacto com o alimento e constitui uma unidade de venda para o consumidor no ponto de compra. Neste projeto será apenas abordado este tipo de embalagem, nomeadamente as garrafas de vidro, que estão em contacto com a cerveja ou com a água gasocarbónica que se encontram no seu interior.
- Embalagem agrupada ou embalagem secundária, se serve para conter e proteger embalagens primárias, constituindo, no ponto de compra, um grupo de um determinado número de unidades de venda, quer sejam vendidas assim ao consumidor final, quer sejam apenas usadas como melhor acomodação durante o transporte até ao ponto de venda. Este tipo de embalagem pode ser retirado sem afetar as características do produto. Utilizando como exemplo o SBG, uma embalagem secundária é a caixa de cartão normalmente usada para transportar 24 garrafas de um determinado tipo de cerveja.
- Embalagem de transporte ou embalagem terciária, se é um recipiente externo que contém várias unidades primárias e secundárias, concebido para facilitar a movimentação e transporte até ao ponto de venda, a fim de evitar danos físicos. Esta classe de embalagens não inclui os contentores para transporte rodoviário, ferroviário, marítimo e aéreo. No caso do SBG, uma possível embalagem terciária pode ser o filme estirável que é usado para envolver as paletes de embalagens secundárias, de forma a tornar o transporte mais seguro (6).

## **2. Impacto ambiental das embalagens**

Pretende-se que uma embalagem alimentar armazene os alimentos de maneira económica, mantenha a segurança alimentar e satisfaça as exigências da indústria e do consumidor. No entanto, o impacto ambiental da produção e utilização de embalagens não pode ser esquecido e deve ser minimizado.

Até aos dias de hoje foi-se assistindo a um aumento exagerado da utilização de embalagens, sendo que os resíduos dessas embalagens têm aumentado a uma taxa muito

desigual quando comparado com o correto tratamento no final do seu ciclo de vida. A Figura 2 mostra que, em 2015, os resíduos de embalagens gerados por habitante foram de 166 kg, o que foi bastante superior aos resíduos recuperados (ca. 132 kg) e reciclados (ca. 100 kg). Desse modo, é necessário encontrar um equilíbrio entre o impacto que as embalagens têm no meio ambiente e as necessidades dos consumidores, que procuram cada vez mais soluções cómodas e convenientes.



**Figura 2:** Resíduos de embalagens gerados, recuperados e reciclados, na União Europeia, entre 2006 e 2015. Adaptado de referência (7).

No caso do SBG, a empresa tem mostrado sempre uma postura de consciência e preocupação ambiental e por isso, muitos esforços têm sido tomados nesse sentido. Primeiro a implementação de embalagens de tara retornável, em que a empresa é responsável por todo o circuito de recolha após a sua utilização, tendo em vista a sua posterior reintrodução no processo de enchimento. Depois, relativamente às garrafas de tara perdida, o SBG estabeleceu um acordo com a Sociedade Ponto Verde, a qual está encarregue da recolha das embalagens em fim de vida e do seu posterior direcionamento para a reciclagem. Mais recentemente, e remetendo para o tema deste projeto, o SBG tem estado em estreita colaboração com as empresas produtoras de embalagens de vidro, no sentido de reduzir o peso dessas embalagens.

A redução do peso das embalagens consiste no desenvolvimento de processos de fabrico que permitam produzir embalagens com menor utilização de matérias-primas, mas que mantenham as funcionalidades e os níveis de segurança para os consumidores. Para além da redução da quantidade de matérias-primas usadas para fabricar a embalagem, outras medidas também podem ser adotadas pelas indústrias para minimizarem o seu impacto ambiental,

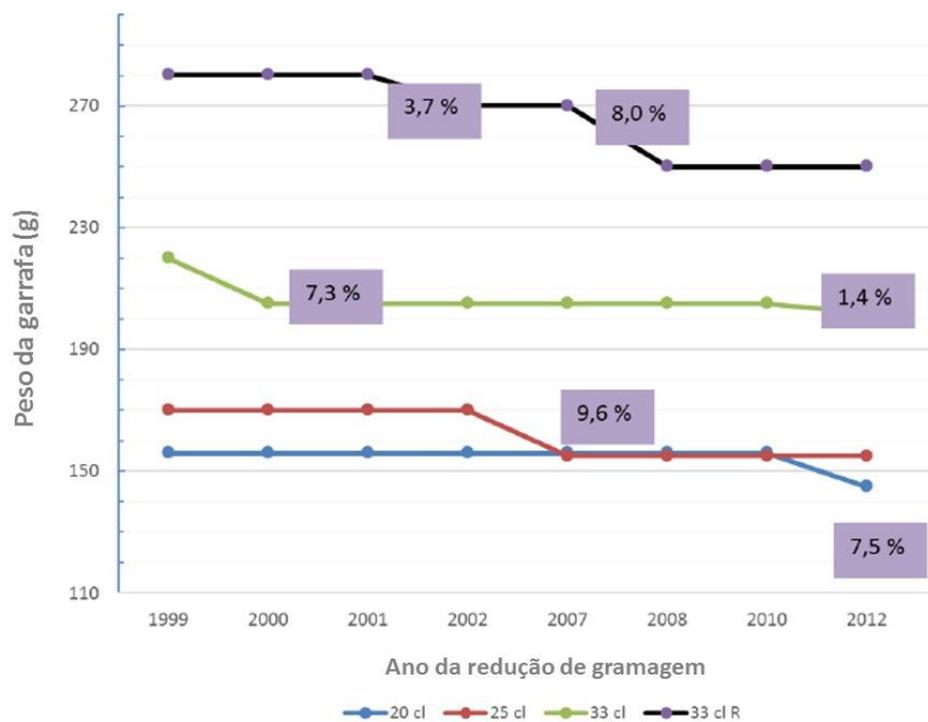
como a alteração do tamanho da embalagem e a utilização de matérias-primas alternativas que tornem as embalagens mais fáceis de reciclar (8).

Esta redução da utilização de matérias-primas, conseguida sobretudo pela diminuição das espessuras das paredes das embalagens, tem não só vantagens ambientais evidentes, mas também representa uma grande diminuição de custos para a empresa. No entanto, estas vantagens só são reais se as funções prioritárias da embalagem forem asseguradas, ou seja, se se maximizar a proteção e conservação do produto, minimizando custos e impactos ambientais (8).

### **3. Otimização de embalagens no Super Bock Group**

Ao longo dos anos, o SBG, em colaboração com os seus fornecedores, tem vindo a implementar várias alterações nas embalagens, no sentido de otimizar a sua utilização e diminuir o impacto ambiental dos seus processos. Assim, tal como pode ser observado na Figura 3, desde 1999 até 2012, as garrafas Super Bock (SB) de 20 cL, 25 cL, 33 cL de tara perdida e 33 cL de tara retornável, foram sofrendo reduções de peso, que variaram desde 1,4% a 9,6% de redução. O ano de 2012 foi o último ano em que as garrafas de vidro SB sofreram uma redução de gramagem. Por outro lado, o peso das garrafas de vidro de Pedras 25 cl não é alterado há mais de 10 anos.

Deste modo, o departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança do SBG verificou que ainda existia margem para a redução de gramagem em algumas das suas embalagens, sendo que isso não era realizado há vários anos e teria impactos positivos na economia e nos parâmetros ambientais da empresa. Portanto, a empresa propôs uma redução de gramagem nas garrafas de vidro de tara perdida Super Bock 20 cL (SB20) e Pedras 25 cL (P25). As propostas envolveram uma redução de peso de 145 g para 140 g nas garrafas SB20 e de 160 g para 155 g nas garrafas P25.



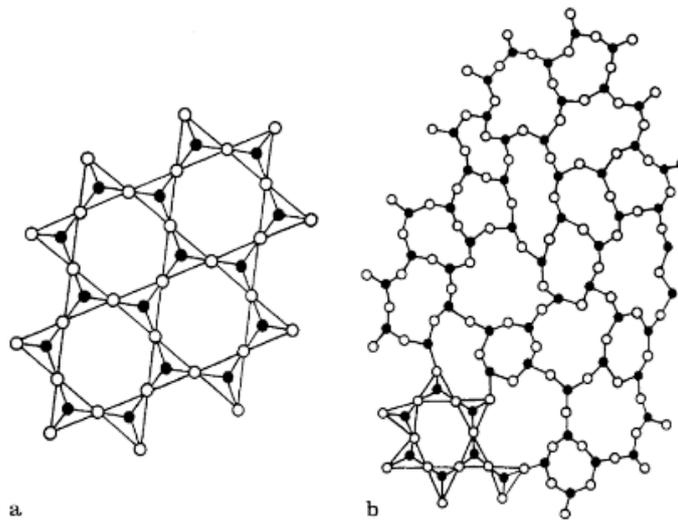
**Figura 3:** Gráfico representativo das reduções de gramagem que ocorreram, entre 1999 e 2012, em algumas garrafas do SBG. Adaptado de referência (9).

#### 4. Vidro

O vidro foi definido pela Sociedade Americana de Testes em Materiais (ASTM) como um produto amorfo e inorgânico, resultante de processos de fusão e arrefecimento, que contribuem para o seu estado rígido e sem cristalização (10). Apesar desta definição só ter sido publicada em 1965, o vidro começou a ser usado pelo homem muito antes. Investigações arqueológicas indicam que os objetos de vidro mais antigos que se conhecem, intencionalmente produzidos pelo homem, datam de aproximadamente 5000 anos a.C (11).

O vidro consiste numa rede composta por óxidos, como dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), trióxido de arsénio ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ), trióxido de boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), dióxido de germânio ( $\text{GeO}_2$ ) ou pentóxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Normalmente, os mais produzidos na indústria são os vidros constituídos essencialmente por dióxido de silício (sílica), devido à sua maior estabilidade face à hidrólise a temperaturas elevadas, o que é de extrema importância para as garrafas de vidro sujeitas a pasteurização, durante o processo de enchimento (12). Assim, o principal ingrediente da maioria dos vidros é a sílica, proveniente das areias de quartzo.

Estruturalmente, um vidro de sílica pura é constituído por unidades básicas que se repetem de forma ordenada, sendo que cada átomo de sílica está tetraedricamente coordenado com quatro átomos de oxigénio. No entanto, a maioria dos vidros não é apenas constituído por sílica, possuindo outros componentes que alteram a rede tridimensional, levando a que esta se apresente desordenada. As diferenças estruturais entre uma rede cristalina e uma rede amorfa do vidro de sílica, estão ilustradas na Figura 4. Deste modo, os vidros apresentam, no geral, uma estrutura amorfa, em que as unidades moleculares têm um arranjo desordenado, mas coesão suficiente para produzir rigidez mecânica. Embora o vidro tenha propriedades de um sólido, ele é na realidade considerado um líquido altamente viscoso (13).



**Figura 4:** Representação esquemática de: [a] rede cristalina de vidro de sílica pura e de [b] rede amorfa de vidro de sílica comum. Círculos a cheio representam os átomos de silício e os vazios são os átomos de oxigénio. No tetraedro  $\text{SiO}_4$  cristalino estão apenas representados três oxigénios ligados a cada átomo de sílica, sendo que o quarto oxigénio se situa alternadamente acima ou abaixo do plano da figura. Retirado de referência (14).

Relativamente ao acondicionamento de alimentos, em especial de bebidas, o vidro apresenta várias características vantajosas, tais como:

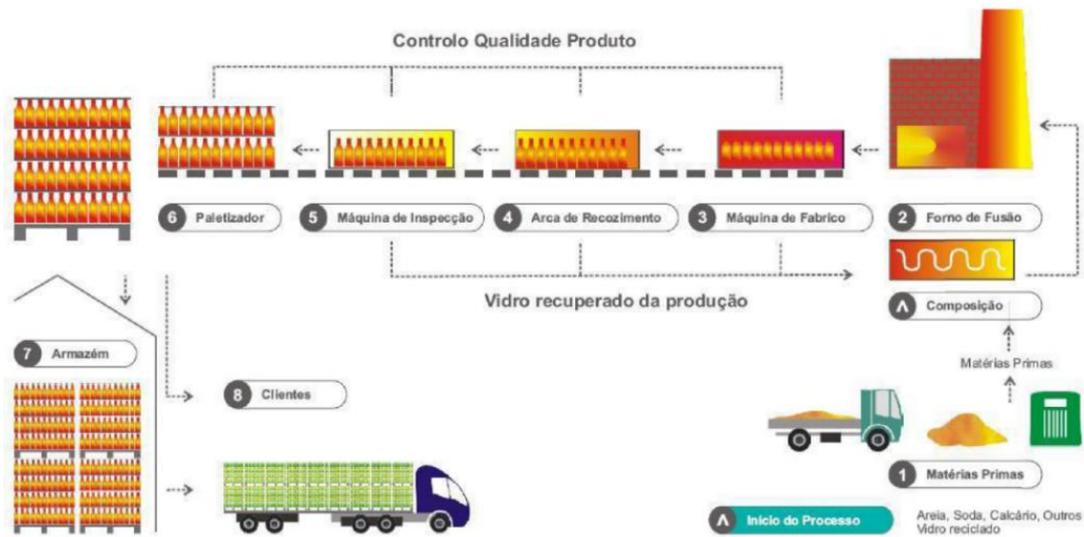
- Impermeável, nomeadamente a gases, o que é vital para que a composição gasosa das cervejas e das águas carbonatadas não seja alterada. Isto significa que o vidro impede que o dióxido de carbono saia da garrafa, mas também previne a entrada de oxigénio;

- Quimicamente resistente a todos os tipos de alimentos, sendo por isso considerado um material inerte e seguro, que permite armazenar alimentos sólidos e líquidos, por longos períodos, sem ocorrerem efeitos adversos na qualidade ou sabor do alimento;
- Termicamente estável, o que no caso dos alimentos é muito importante, uma vez que uma grande maioria passa por processos de esterilização ou pasteurização, como é o exemplo da cerveja SB;
- Fisicamente resistente, pois as embalagens de vidro conseguem suportar não só uma elevada carga vertical, como uma elevada pressão interna, o que torna o seu manuseamento ao longo da linha de enchimento, bem como a sua distribuição, mais fácil. Em relação à pressão interna, as garrafas de vidro utilizadas para o armazenamento de cerveja e águas carbonatadas têm de ser capazes de suportar as pressões que são geradas quando um líquido carbonatado é aquecido, durante a pasteurização ou transporte a elevadas temperaturas ambientais. Por outro lado, relativamente à carga vertical, o vidro é um material elástico que durante um impacto, absorve energia até um certo ponto, sendo que essa resistência pode ser melhorada por uma distribuição uniforme do vidro durante a produção da embalagem;
- É um produto com uma grande diversidade de design, já que se pode fabricar vidros com diversas cores, dependendo do tipo de matérias-primas que são usadas. A cor do vidro é muito importante nas garrafas de cerveja, uma vez que a cerveja é suscetível a degradação quando exposta diretamente à luz solar, por isso o vidro das garrafas de cerveja é normalmente de cor âmbar, de forma a preservar a qualidade do produto. Por outro lado, o vidro pode ser moldado em embalagens de diferentes formas, o que muitas vezes ajuda a dar destaque ao produto e reconhecimento à marca;
- Ambientalmente sustentável, uma vez que o vidro pode ser reutilizado e reciclado (4, 15).

#### **4.1. Produção de embalagens alimentares de vidro**

Nas indústrias vidreiras, o processo produtivo do vidro para embalagens alimentares divide-se em duas fases principais: o fabrico do vidro e o fabrico da embalagem. O fabrico do vidro engloba a formulação e a fusão das matérias-primas, enquanto o fabrico da embalagem envolve processos de moldação, tratamento de superfície e recozimento. Estas fases apresentam-se mais detalhadas na página seguinte. Na Figura 5 apresenta-se um

esquema geral dos processos de produção de vidro, desde a receção das matérias-primas até à entrega do produto acabado aos clientes.



**Figura 5:** Esquema geral dos processos envolvidos na produção de vidro para embalagens, desde a receção de matérias-primas [1], até à entrega dos produtos acabados aos clientes [8]. Retirado de referência (16).

#### 4.1.1. Fabrico do vidro

No fabrico do vidro e das correspondentes garrafas, o SBG conta com o auxílio maioritário da empresa BA. Esta empresa portuguesa, fundada em 1912, tem como principal atividade o fabrico de embalagens de vidro (garrafas, frascos e boiões) destinadas às indústrias da alimentação e bebidas, contando atualmente com 12 fábricas distribuídas por vários países (17). Paralelamente, a empresa Vidrala também é responsável pela produção de garrafas de vidro para o SBG. Esta é uma empresa de capital espanhol, cujas raízes remontam a 1965 em Llodio, sendo também uma empresa de referência na produção de embalagens de vidro (18).

##### 4.1.1.1. Formulação

Inicialmente, dá-se a receção e armazenamento das matérias-primas em silos. Nesses silos existem balanças que permitem dosear as quantidades de matérias-primas adequadas ao fabrico de diferentes tipos de vidro. Depois de homogeneizada, a mistura desses componentes é encaminhada para fornos, onde irá ocorrer o processo de fusão (16, 19).

O vidro habitualmente produzido para ser utilizado em embalagens alimentares é o vidro sódico-cálcico. Este tipo de vidro é assim designado devido aos constituintes maioritários que o compõem, nomeadamente os óxidos de sódio e cálcio. No entanto existem vidros que podem ter outras matérias-primas principais, como os chamados vidros plúmbicos ou de chumbo e vidros borosilicatados (11).

Em relação ao vidro sódico-cálcico, este é fabricado a partir de várias matérias-primas com funções distintas. Em primeiro lugar, é usada sílica, proveniente da areia, que é o óxido formador do vidro e que atua, por isso, como vitrificante. Seguidamente, a maioria das indústrias vidreiras opta por adicionar certos componentes, cuja função é baixar a elevada temperatura de fusão da sílica pura, que é cerca dos 1700 °C e que tornaria o processo muito dispendioso, com técnicas e equipamentos específicos. Esses componentes são os óxidos de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), que diminuem a força de ligação entre o átomo de sílica e os átomos de oxigénio, denominando-se de fundentes. De forma a estabilizar as reações químicas que ocorrem durante o processo de fusão, adicionam-se estabilizantes, como os óxidos de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e magnésio ( $\text{MgO}$ ). Outros componentes secundários podem ainda ser acrescentados à matéria fundente, de modo a atribuir certas características específicas ao vidro a ser produzido, como corantes, descorantes, opacificantes, etc (11, 20). Por fim, muitas vezes é ainda adicionado vidro reciclado (casco), proveniente do vidro em fim de vida tratado ou do vidro rejeitado pelas linhas e máquinas de produção, já que este aumenta a taxa de fusão e reduz significativamente a energia necessária para o processo. Por cada 10% de vidro reciclado adicionado, a necessidade energética é reduzida em 2,5%, tornando assim o processo mais sustentável e com menor impacto ambiental (21). A fórmula típica de um vidro sódico-cálcico, encontra-se descrita na Tabela 1.

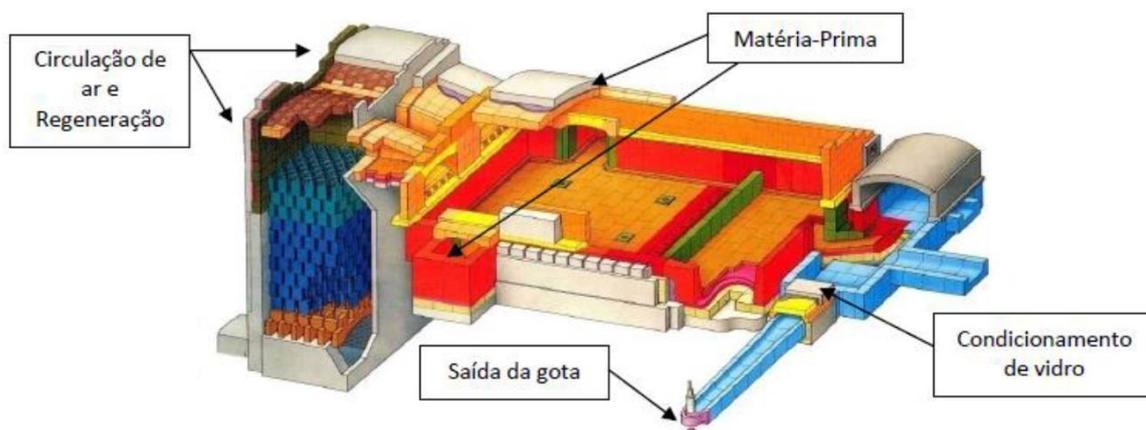
**Tabela 1:** Função e proporção das matérias-primas principais de um vidro sódico-cálcico típico. Adaptado de referência (13).

| Matéria-prima | Composto químico ativo                           | Função        | Composição (%) |
|---------------|--------------------------------------------------|---------------|----------------|
| Areia         | Dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ )            | Vitrificante  | 68 - 73        |
| Soda          | Óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ )         | Fundente      | 12 - 15        |
| Calcário      | Óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ )                 | Estabilizante | 10 - 13        |
| Feldspato     | Trióxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) | Estabilizante | 1,5 - 2        |
| Dolomite      | Óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ )               | Estabilizante | 0,3 - 3        |

#### 4.1.1.2. Fusão

O processo de fusão ocorre dentro de fornos, que são continuamente alimentados com a mistura homogênea de matérias-primas, resultando na formação de uma massa vítrea incandescente. Esses fornos são construídos em material refratário, capaz de resistir a temperaturas superiores a 1600 °C e à ação extremamente corrosiva do vidro. Na indústria vidreira, os fornos mais usados são os de tipo regenerativo, que possuem sistemas de recuperação de calor e usam como combustível o gás natural (16, 19, 20). Dividem-se essencialmente em três zonas: zona de fusão, zona de refinação e extrusor (22). A Figura 6 apresenta um esquema exemplificativo de um forno regenerativo.

À medida que a temperatura da massa em fusão vai aumentando, várias reações químicas vão ocorrendo, como a evaporação de constituintes gasosos e formação de fases líquidas. Depois da fusão, a massa vítrea passa por uma zona de canais de alimentação, onde é feita a afinagem e a homogeneização do vidro, permitindo eliminar as bolhas dissolvidas no interior da massa fundida e que podem ser prejudiciais para a qualidade do produto final. Isso é realizado por adição de agentes afinantes, como o sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), que aumenta o tamanho das bolhas, fazendo com que estas subam até à superfície ou sejam absorvidas (16, 19, 20).



**Figura 6:** Esquema exemplificativo de um forno regenerativo usado no processo de fusão e produção do vidro. Retirado de referência (23).

Antes da moldação do vidro fundido, este passa por uma máquina, onde é extrudido, por gravidade, através de um orifício de diâmetro conhecido e a uma taxa predeterminada. De

seguida, um mecanismo de tesouras corta o fio de vidro em forma de gotas, que têm peso, forma e temperatura específicas e adequadas à embalagem que se pretende produzir (15, 16, 19, 20). Cada gota irá corresponder a uma embalagem (21).

#### **4.1.2. Fabrico da embalagem**

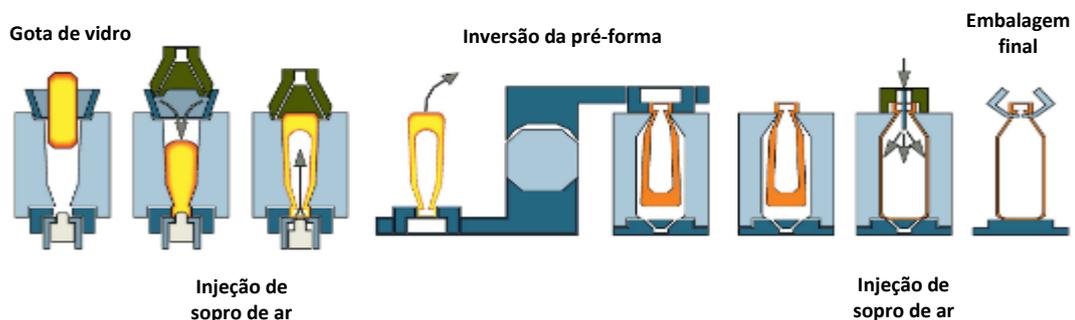
##### **4.1.2.1. Moldação**

É na etapa da moldação que a gota de massa vítrea ganha a forma da embalagem pretendida, aproveitando a propriedade que o vidro tem em ser moldável, entre as temperaturas de, aproximadamente, 1150 °C e 750 °C (20). Após o corte das gotas, referido anteriormente, estas caem, por efeito da gravidade, nas máquinas de moldação, onde são direcionadas para várias secções. Cada secção da máquina tem cavidades que correspondem ao número de gotas que podem ser recebidas e transformadas em embalagens (16, 19). São conseguidas velocidades de produção elevadas através do uso de duas, três ou até quatro gotas por cada secção da máquina de moldação (21).

De um modo geral, o processo de moldação engloba dois passos. No primeiro passo ocorre a deposição da gota de massa vítrea num molde inicial, designado de molde de principiar, onde se obtém uma pré-forma da embalagem pretendida. No segundo passo, essa pré-forma é inserida num molde final, chamado de molde de terminar, que dá o formato definitivo à garrafa. Este processo baseia-se num arrefecimento controlado, de forma a permitir uma distribuição do líquido viscoso o mais uniforme possível (16, 19, 23). Portanto, a temperatura é um fator muito importante para o sucesso da produção de embalagens de vidro, já que temperaturas mais baixas em certas zonas da gota levam a que o vidro não estire tão eficazmente, obtendo-se irregularidades na espessura da embalagem final (23). Apesar dos dois passos referidos estarem sempre associados, o processo de moldação pode variar consoante o tipo de tecnologia utilizado. Assim, existem três tecnologias de moldação distintas, cuja variação ocorre sobretudo na formação da pré-forma (24):

- Processo Soprado-Soprado ou *Blow-Blow*, Figura 7.
- Processo Prensado-Soprado ou *Press-Blow*, Figura 8.
- Processo *Narrow Neck Press-Blow* ou NNPB, Figura 9.

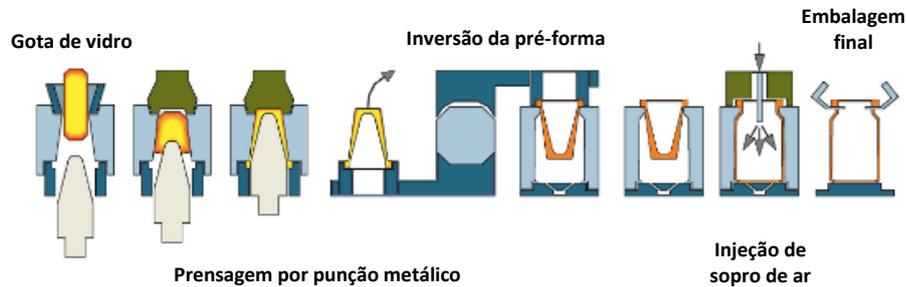
No **processo soprado-soprado**, após a colocação da gota de vidro no molde de principiar, é injetado ar comprimido, no interior do molde, que permite a formação da marisa (bocal da garrafa). Depois, a pré-forma é obtida por ação de um sopro de ar, contrário ao anterior, que estira a gota contra o molde. Em seguida, a pré-forma, presa pela marisa é invertida e transferida para o molde de terminar, onde através de um sopro final, obtém-se o formato definitivo da garrafa. Por último, o molde abre-se e a garrafa é agarrada por um mecanismo de pinças, que a coloca sobre uma placa de ventilação para que esta arrefeça (16). Este processo é normalmente usado para o fabrico de embalagens com bocal estreito, sobretudo garrafas (até 38 mm de diâmetro) (23). Na Figura 7 é possível observar um esquema deste processo de moldação. Esta tecnologia de moldação apresenta algumas limitações, nomeadamente o facto de não ser possível controlar totalmente a distribuição da massa vítrea no interior do molde, uma vez que o estiramento é feito por um mecanismo de sopro pneumático. Desse modo, pode existir uma heterogeneidade na distribuição da espessura do vidro no corpo da embalagem, o que pode comprometer a resistência da garrafa, principalmente se a espessura do vidro for menor nas zonas de maior impacto (23).



*Figura 7: Esquema do processo de moldação soprado-soprado. Adaptado de referência (25).*

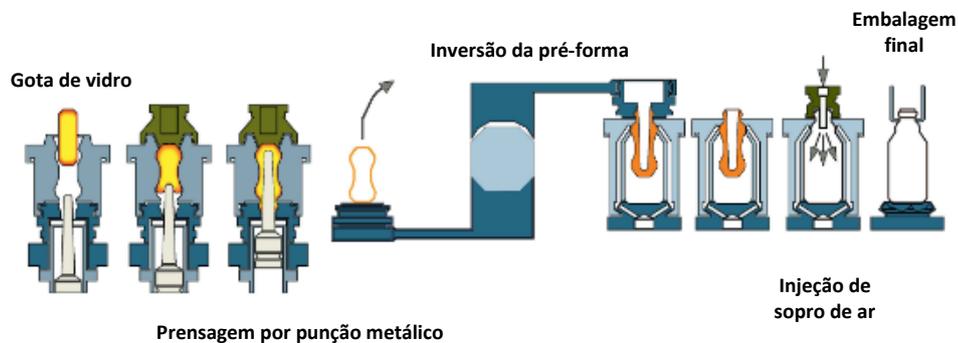
No **processo prensado-soprado**, os passos de moldação são muito semelhantes ao processo soprado-soprado, com a exceção do mecanismo usado para obter a pré-forma. No processo prensado-soprado, a gota de vidro é empurrada contra o molde de principiar pela ação de um punção metálico, que ocupa um determinado volume na massa de vidro, produzindo a chamada pré-forma. Neste processo, a marisa é a última parte da pré-forma a ser formada. Neste caso, já existe um maior controlo da distribuição do vidro pelo molde e consequentemente, da espessura da embalagem obtida. Este processo é maioritariamente

usado na produção de frascos (de 38 a 120 mm de diâmetro no bocal) (23). Na Figura 8 é possível observar uma representação esquemática deste processo de moldação.



**Figura 8:** Esquema do processo de moldação prensado-soprado. Adaptado de referência (25).

O processo **Narrow Neck Press-Blow** (NNPB) é considerado uma evolução do processo prensado-soprado, já que a pré-forma também é obtida por ação de um punção metálico. No entanto, este processo permite obter garrafas com bocais mais estreitos (de 16 a 24 mm de diâmetro) e com espessuras mais reduzidas, impossíveis de obter com os processos anteriormente referidos. Isso é conseguido devido ao uso de punções específicos, que têm uma maior capacidade de distribuir homogeneamente a massa vítrea, obtendo-se garrafas mecanicamente mais resistentes (23). Portanto, através deste processo pode-se produzir embalagens com uma melhor distribuição de vidro e conseqüentemente, com menores espessuras, conseguindo-se, geralmente, uma redução de 15-20% face ao peso das garrafas obtidas pelo processo soprado-soprado (26). Na Figura 9 é possível observar um esquema deste processo de moldação. O NNPB é o processo atualmente usado pelas indústrias vidreiras fornecedoras das garrafas de vidro ao SBG, tendo sido também o método aplicado na produção das garrafas aligeiradas em estudo.



**Figura 9:** Esquema do processo de moldação NNPB. Adaptado de referência (25).

Jaime *et al.* (26) realizaram um estudo de forma a comparar a performance de garrafas produzidas pelos processos soprado-soprado e NNPB. Desse modo, verificaram que as garrafas produzidas por NNPB tinham uma redução de peso de 17% e apresentavam uma menor heterogeneidade na distribuição da espessura, face às garrafas produzidas pelo processo soprado-soprado. Para além disso, as garrafas mais leves apresentaram uma resistência mecânica, na região do calcanhar, 33% superior.

No final do processo de moldação, as embalagens saem da máquina a uma temperatura de cerca de 600 °C, sendo que a esta temperatura as embalagens já estão suficientemente solidificadas para serem retiradas do molde e encaminhadas para os tratamentos seguintes (16).

#### **4.1.2.2. Tratamento da superfície a quente**

Após a saída das garrafas das máquinas de moldação, estas são encaminhadas para um equipamento de tratamento da superfície a quente, cujo objetivo é ajudar a manter a resistência superficial da embalagem. Nesse equipamento, as garrafas ainda quentes são pulverizadas com cloretos de estanho ou titânio, conferindo uma camada protetora à superfície do vidro (15, 23).

#### **4.1.2.3. Recozimento**

Posteriormente, as embalagens são transferidas para um forno de recozimento, onde são eliminadas as tensões internas do vidro, que inevitavelmente aparecem após o processo de moldação. O aparecimento dessas tensões explica-se pelo facto de o vidro ser um material com baixa condutividade térmica, o que provoca um arrefecimento desigual no corpo da embalagem, pois o interior da garrafa arrefece mais lentamente que o exterior. Portanto, o arrefecimento não uniforme leva ao desenvolvimento de tensões nas paredes da embalagem, o que aumenta a probabilidade da sua quebra. Desse modo, para garantir que a embalagem mantém a resistência pretendida, após a moldação e o tratamento da superfície a quente, esta é transferida para dentro de um forno, onde é reaquescida até à temperatura de relaxamento de tensões (540-570 °C), seguindo-se um arrefecimento controlado pela recirculação do ar, no final do forno, por um sistema de ventiladores (19, 21).

#### **4.1.2.4. Tratamento da superfície a frio**

O tratamento da superfície a frio é o último tratamento a que as embalagens são sujeitas. O objetivo deste tratamento é conferir lubricidade ao vidro, evitando que este fique riscado em contacto com outras embalagens ou equipamentos e ajudando o fluxo das embalagens ao longo da linha de enchimento. A aplicação dá-se por pulverização de um lubrificante no exterior da embalagem, sendo que geralmente são usados derivados de polietileno (15).

#### **4.1.3. Controlo de qualidade**

Tendo em conta os riscos que a quebra de vidro apresenta para a segurança das pessoas, todas as embalagens produzidas são inspecionadas ao longo da linha de produção e em especial antes da paletização (21). São usadas máquinas automáticas para o controlo de parâmetros dimensionais, como a altura, o peso e as espessuras e de propriedades mecânicas, como a resistência ao choque térmico, à carga vertical, à pressão interna e aos impactos. Esses parâmetros têm de estar dentro dos limites das especificações legais e dos acordados entre cada indústria vidreira e clientes, de forma a que o produto acabado vá de encontro às exigências dos clientes e também garanta a máxima segurança dos consumidores. Portanto, os inspetores automáticos rejeitam as embalagens que não cumpram um ou mais parâmetros das especificações. As embalagens rejeitadas são depois reaproveitadas como casco para a produção de novas embalagens (19).

#### **4.1.4. Paletização**

Por último, as embalagens finais são empilhadas em paletes, formando camadas intercaladas com placas de platex. Para maior segurança e proteção das embalagens, cada palete é coberto por um filme de plástico retráctil e por uma manga de cartão. A organização (matriz de paletização) e o número de embalagens na palete, bem como as dimensões e o tipo de materiais usados são cruciais, tanto para a resistência da palete durante o transporte como para a sua utilização no cliente.

### **4.2. Especificações técnicas das garrafas de vidro**

Todas as garrafas produzidas pelas indústrias vidreiras têm de estar em conformidade com as normas legais existentes. Essas normas indicam as especificações técnicas que cada tipo de garrafa deve obedecer, englobando as características dimensionais, mecânicas e visuais.

A norma NP 3548 define o vocabulário associado às características técnicas, especificações e defeitos do vidro de embalagem, de forma a facilitar a comunicação entre o vidreiro e o cliente. A Figura 10 apresenta a nomenclatura usada para garrafas de vidro e a Figura 11 mostra um diagrama com a classificação e definição dos defeitos que podem ser encontrados neste tipo de garrafas (27).

A norma NP 3315 define as características dimensionais das garrafas de vidro, como a altura, o peso, o volume, a verticalidade, os diâmetros e as espessuras (28).

A norma NP 3552 define as características de resistência das garrafas de vidro à quebra, que dependem de quatro fatores principais: resistência à pressão interna, choque térmico, carga vertical e impacto (29).

Apesar de não se encontrar normalizado, as especificações de cor de uma embalagem são definidas pelos requisitos de cada empresa, já que a cor da embalagem é uma propriedade fundamental para a conservação da qualidade do produto acondicionado. Essas especificações têm de estar de acordo com o comprimento de onda, saturação, brilho e transmitância a 550 nm (30).

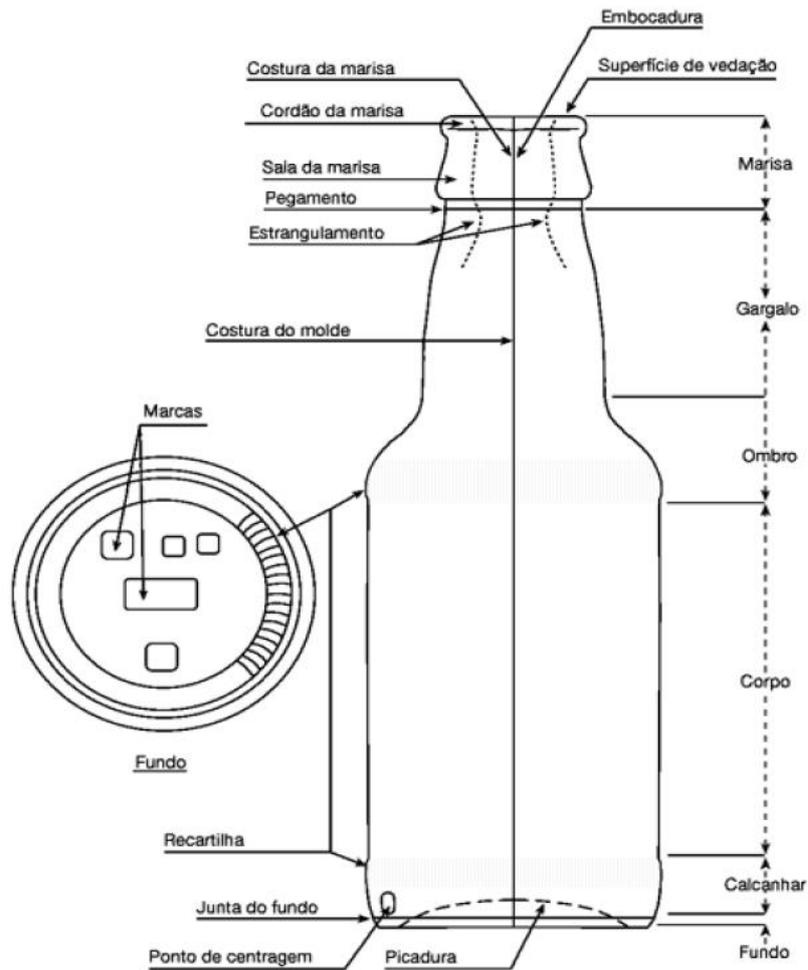


Figura 10: Nomenclatura usada para garrafas de vidro. Retirado de referência (27).

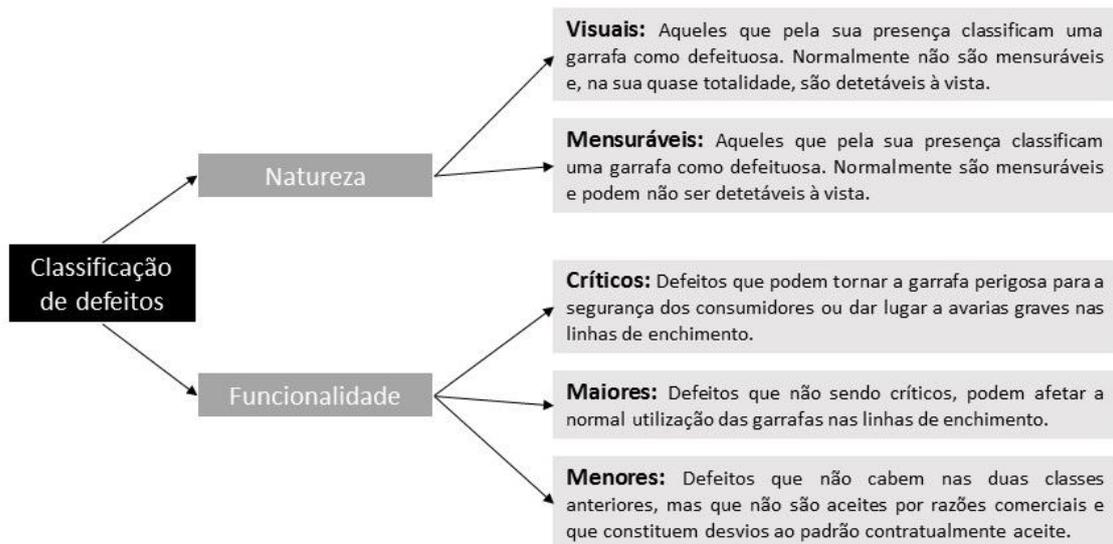


Figura 11: Diagrama com a classificação e definição dos defeitos que podem ser encontrados em garrafas de vidro.

### 4.3. Resistência mecânica das garrafas de vidro

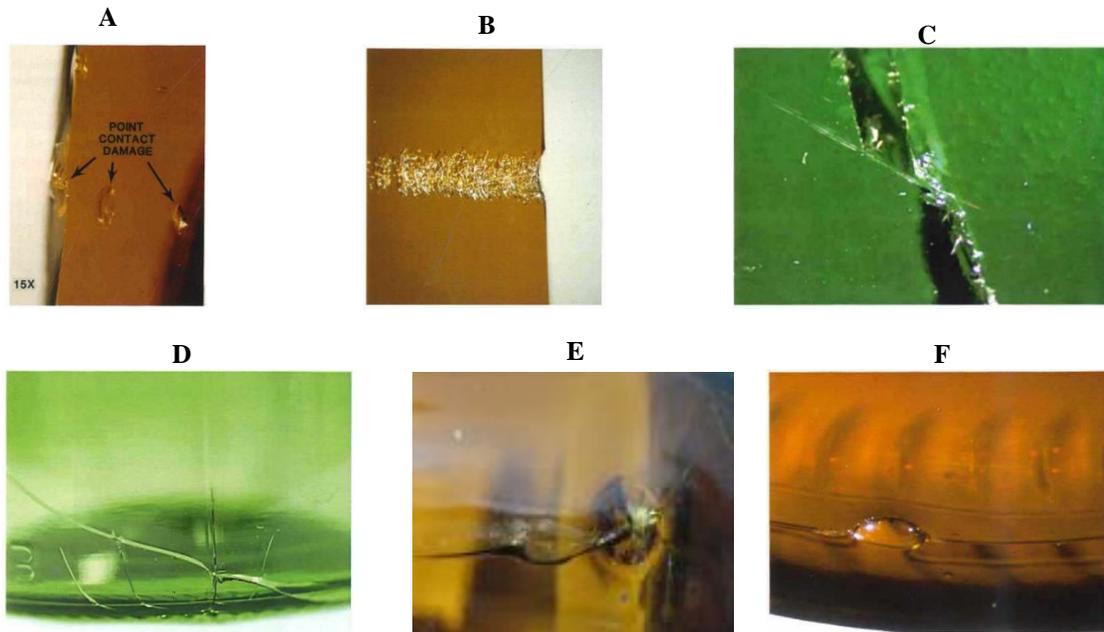
A resistência mecânica de uma embalagem de vidro é medida pela sua capacidade em resistir à quebra quando são aplicadas cargas ou forças (13). Teoricamente, estima-se que um vidro intocado, ou seja, que nunca foi sujeito a forças, consiga suportar uma carga máxima de cerca de 689,5 MPa, considerando a aplicação de uma força durante 1 milissegundo. No entanto, na prática, a resistência da maioria dos produtos de vidro, incluindo garrafas e recipientes é bastante menor, correspondendo apenas a 10% dessa carga (12, 32). A Tabela 2 indica as cargas aproximadas que garrafas de vidro com condições de superfície diferentes conseguem suportar.

**Tabela 2:** Cargas aproximadas, em MPa, que garrafas de vidro com diferentes condições de superfície são capazes de suportar. Adaptado de referência (32).

| Condição da superfície                             | Carga <1 milissegundo | Carga de 1 minuto | Carga de 20 minutos (durante pasteurização) | Carga de longa duração (durante armazenamento) |
|----------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Vidro intocado                                     | 689,5                 | 344,7             | 274,1                                       | 188,6                                          |
| Vidro moldado                                      | 275,8                 | 137,9             | 117,2                                       | 82,7                                           |
| Vidro com abrasões moderadas (linha de enchimento) | 68,9                  | 34,5              | 29,3                                        | 20,7                                           |
| Vidro com abrasões severas                         | 34,5                  | 17,2              | 14,7                                        | 11,7                                           |
| Vidro com fissuras                                 | 10,3                  | 5,2               | 4,4                                         | 3,2                                            |

Esta enorme discrepância é devida à presença de inúmeras imperfeições na superfície do vidro, desde fissuras microscópicas até arranhões e riscos visíveis a olho nu, que podem surgir durante o processo de fabrico da embalagem ou no seu subsequente manuseamento ao longo do transporte e da linha de enchimento (12). Essas discontinuidades vão-se acumulando nas superfícies interna e externa da embalagem de vidro, atuando como concentradores de *stress* e servindo como pontos de origem para as fraturas (31). Os concentradores de *stress* podem advir de danos mecânicos, em particular de danos por contacto e/ou fricção, entre garrafa-garrafa ou entre metal-garrafa, e ainda de danos por clivagem, que derivam do deslizamento de objetos duros sobre a superfície do vidro. Para além disso, os concentradores de *stress* podem resultar também de irregularidades no processo de fabrico do vidro, como sedas, infundidos e inclusões. Estes são geralmente

produzidos no forno regenerativo ou durante a operação de revestimento superficial a quente (32). A Figura 12 apresenta imagens representativas de cada um dos tipos de concentradores de *stress*.



**Figura 12:** Imagens representativas dos tipos de concentradores de *stress* que podem estar na origem de fraturas em garrafas de vidro. A - Dano por contacto; B - Dano por fricção; C - Dano por clivagem; D – Seda (Fissura superficial); E – Infundido (material refratário que não fundiu completamente); F – Inclusão (bolha). Adaptado de referência (32).

Por outro lado, quando uma força ou carga é aplicada numa embalagem, o vidro desta pode esticar, comprimir, dobrar ou torcer, sendo que o grau de deformação é normalmente reduzido e impercetível, dependendo da magnitude da carga. Em resposta às forças externas aplicadas, produzem-se forças coesivas na embalagem que mantêm, até um determinado nível, a estrutura da garrafa e são referidas como *stress*, que está caracterizado na Equação 1. As unidades tipicamente utilizadas são o psi, o kgf/cm<sup>2</sup> e o MPa. O *stress* produzido pode ser afetado pela forma da embalagem e pela variação da espessura do vidro na garrafa (33).

$$\text{Stress} = \frac{\text{Força aplicada}}{\text{Área}}$$

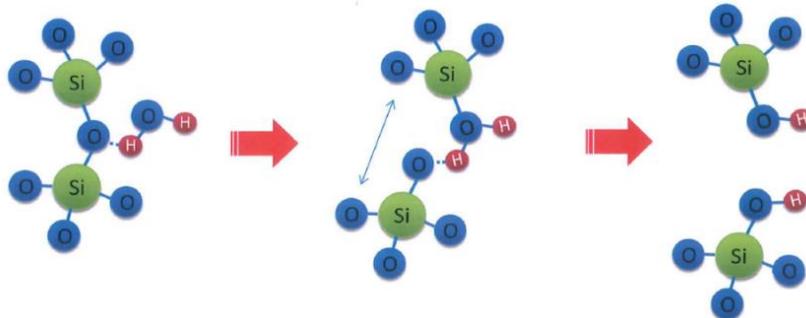
**Equação 1:** Caracterização do *stress* produzido numa embalagem de vidro em resposta à aplicação de forças externas. O *stress* gerado é diretamente proporcional à magnitude da força aplicada e inversamente proporcional à área de superfície do corpo sujeito a essa força. Adaptado de referência (33).

A quebra da embalagem dá-se quando, na presença de microfissuras/imperfeições na superfície, é aplicada uma carga superior àquela que a embalagem de vidro consegue suportar, tal como está expresso na Equação 2.

$$\text{Stress} + \text{Microfissuras} > \text{Resistência da garrafa} = \text{Fratura da garrafa}$$

**Equação 2:** Fórmula explicativa da fratura de uma garrafa. A quebra resulta quando o stress gerado na garrafa, excede a sua capacidade de resistência, a partir das microfissuras existentes na sua superfície. Adaptado de referência (33).

Para além das fissuras na superfície, o vidro é também um material suscetível a um fenómeno designado de fadiga estática. Neste caso, quando o vidro de uma embalagem está danificado, apresentando fissuras na sua superfície, isso possibilita a interação química entre as moléculas da rede amorfa do vidro e a humidade (água) ambiental, tal como está ilustrado na Figura 13. Essa interação leva à propagação das fissuras, podendo provocar uma quebra retardada da embalagem (31).



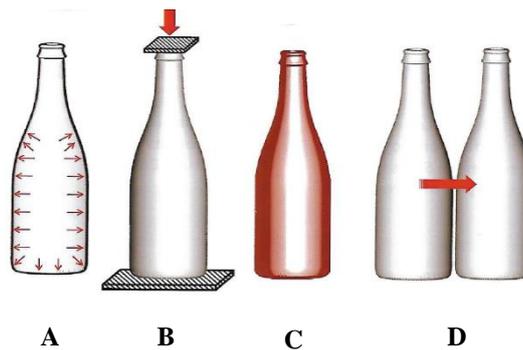
**Figura 13:** Ilustração da reação química entre a rede amorfa do vidro e a água ambiental, que está na origem da quebra do vidro por fadiga estática. Retirado de referência (31).

#### 4.3.1. Análise fractográfica de garrafas de vidro

A análise fractográfica de garrafas de vidro consiste na aplicação de certos princípios de forma a determinar a causa da quebra de uma garrafa. Para muitos, os fragmentos de uma garrafa partida podem parecer desordenados e sem significado, no entanto, esses fragmentos são muito importantes, pois podem ser religados novamente de forma a identificar a origem da fratura e a carga responsável pela quebra (34). A principal ferramenta para diagnosticar e analisar a causa de uma garrafa partida são os padrões de fratura. Como os padrões de fratura

produzidos são únicos para cada tipo de carga aplicada, a partir destes é possível identificar o tipo de carga e a zona da garrafa afetada (24).

As embalagens de vidro podem ser sujeitas a uma variedade de cargas, de diferentes intensidades, ao longo do seu tempo de vida útil. Tipicamente, as cargas a que uma garrafa de vidro é sujeita durante a sua utilização são: pressão interna, choque térmico, carga vertical e impacto (34). A Figura 14 apresenta um esquema de cada uma destas cargas.

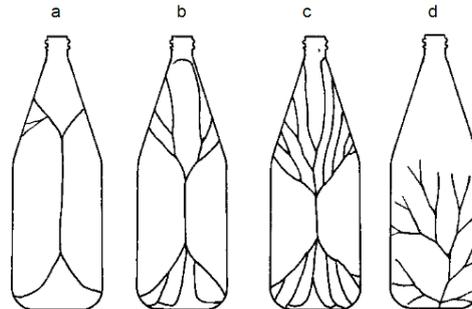


**Figura 14:** Esquema explicativo das quatro cargas a que uma garrafa de vidro pode estar sujeita. A - Pressão interna; B - Carga vertical, C - Choque térmico; D - Impacto. Adaptado de referência (33).

#### 4.3.1.1. Pressão interna

A pressão interna é muito importante em garrafas de vidro que acondicionam bebidas gaseificadas, como a cerveja e as águas carbonatadas, e que passam por processos onde a garrafa é submetida a grandes pressões, como a pasteurização (13). A pressão interna associada a este tipo de produtos é devida ao volume de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que se encontra dissolvido no volume de líquido acondicionado na garrafa e à temperatura do produto. Quanto maior o volume de  $\text{CO}_2$  dissolvido e a temperatura do produto, maior é a pressão interna exercida (34, 35). Para além disso, a pressão interna também pode ser devida a outros fatores como a pressão provocada pelo enchimento, a expansão do volume do produto acima do limite definido pelo espaço de cabeça (espaço vazio existente entre o líquido e a cápsula) e desenvolvimento de gás por decomposição do produto (34, 35).

A pressão interna gera uma carga uniforme ao longo de toda a garrafa (34). Quando surge uma pressão interna que provoca uma carga superior àquela que a garrafa consegue resistir, a garrafa quebra. Neste caso, os padrões de fratura caracterizam-se, inicialmente, pelo aparecimento de fissuras na superfície exterior, segundo o eixo vertical da garrafa, que se propagam depois por ramificações simétricas, até à superfície interior (36). Alguns exemplos dos padrões de fratura resultantes da pressão interna estão apresentados na Figura 15.



**Figura 15:** Exemplos dos padrões de fratura em garrafas de vidro, resultantes da pressão interna. *a, b e c – Fratura com origem na parede lateral; d – Fratura com origem no fundo. Retirado de referência (36).*

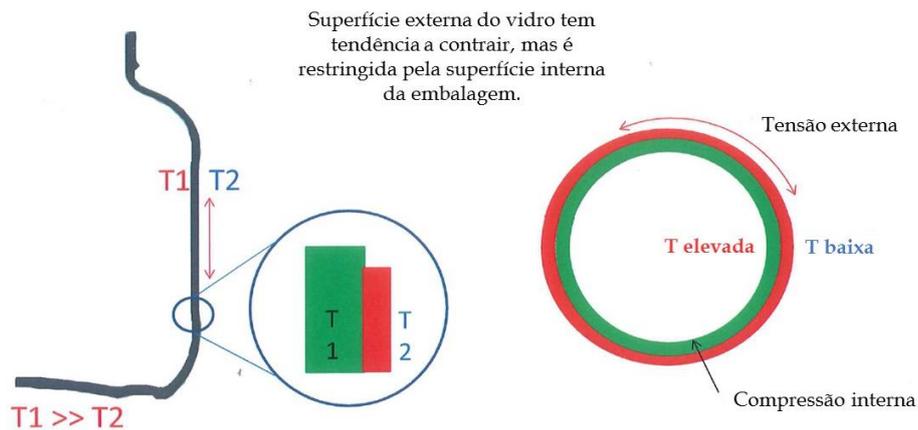
A resistência de garrafas à pressão interna pode ser determinada pelo método definido na norma NP 3550, que indica que deve ser usado um equipamento capaz de aplicar uma pressão hidrostática crescente no interior da garrafa, até um nível pré-determinado ou até ao reventamento da garrafa. Neste ensaio deve ser usado uma amostragem mínima e aleatória de 24 embalagens aprovadas na inspeção e que não foram sujeitas a outro ensaio mecânico ou térmico, passíveis de diminuir a sua resistência (37). De acordo com a norma NP 3552, as embalagens que apresentam um nível de carbonatação entre 2 a 6 g/L devem resistir a uma pressão mínima de 10 e 11 bar para garrafas de tara perdida e retornável, respetivamente (29).

#### **4.3.1.2. Choque térmico**

A exposição do vidro a variações bruscas de temperatura pode causar a sua quebra, num fenómeno designado de choque térmico. Ao longo da linha de enchimento podem existir variações abruptas da temperatura, principalmente na entrada e saída do pasteurizador (34, 38).

Quando submetido a elevadas temperaturas, o vidro dilata, mas quando exposto a baixas temperaturas, o vidro tem tendência a contrair. Assim, usando como exemplo a saída das

garrafas quentes do pasteurizador, a superfície externa da embalagem de vidro vai arrefecer rapidamente, contraindo. No entanto, como o vidro é um material com baixa condutividade térmica, a superfície interna da embalagem de vidro não arrefece à mesma velocidade que a externa, mantendo-se com a mesma dimensão, o que gera tensões e leva à quebra da garrafa (38). Na Figura 16 apresenta-se um esquema exemplificativo do comportamento de uma garrafa de vidro perante uma variação brusca de temperatura.



**Figura 16:** Esquema exemplificativo do comportamento de uma garrafa de vidro quando esta é colocada num ambiente de menor temperatura. T-temperatura. Adaptado de referência (38).

De evidenciar que o choque térmico também pode resultar da tensão gerada no interior da garrafa (choque térmico reverso), por colocação da mesma num ambiente com uma temperatura mais elevada. O choque térmico é não só proporcional ao aumento da variação de temperatura entre o interior e o exterior da garrafa, como ao aumento da espessura da parede (38). Deste modo, a espessura das paredes de uma embalagem de vidro também é um fator muito importante na resistência ao choque térmico, pois paredes mais finas tornam a garrafa mais resistente a bruscas variações de temperatura.

Relativamente ao padrão de quebra, o choque térmico, provoca normalmente fraturas no fundo da garrafa que depois se estendem longitudinalmente pela parede lateral. As fraturas térmicas apresentam poucas ou nenhuma ramificação, tal como é possível observar na Figura 17 (36, 38).



**Figura 17:** Exemplo do padrão de fratura numa garrafa de vidro, devido ao choque térmico. Retirado de referência (36).

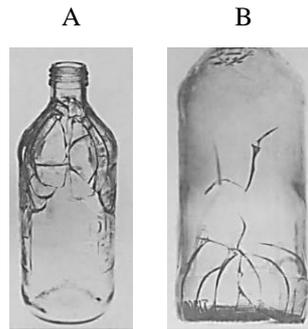
Tal como na pressão interna, também existe um método para determinar a resistência de uma embalagem de vidro ao choque térmico. O teste, definido na norma NP 3314, consiste em imergir amostras de embalagens de vidro num banho a 60 °C, durante 5 minutos. Decorrido esse tempo, as amostras são transferidas para um banho a 20 °C, durante 30 segundos (39). No final, inspeciona-se as garrafas, uma a uma, para avaliar possíveis quebras, sendo que segundo a norma NP 3552, as garrafas não devem apresentar danos visíveis aquando duma variação mínima de 40 °C (29).

#### **4.3.1.3. Carga vertical**

As garrafas de vidro podem também ser sujeitas a cargas verticais apreciáveis, nomeadamente em duas situações: na capsulagem e na paletização, quando as garrafas são empilhadas e seguem para o armazém (34). Normalmente, a carga é maior em garrafas que se desviam da verticalidade e que têm menor capacidade, dado que existe menos vidro para suportar a carga vertical (40). Quando uma garrafa é apertada na vertical, o seu corpo cilíndrico é comprimido e a superfície exterior da garrafa vai estar em tensão principalmente nas regiões do ombro e do calcanhar, onde a ação da carga causa uma dobra na parede da embalagem. Embora a tensão de tração tenha essencialmente uma componente longitudinal, a tensão principal terá uma direção circunferencial, causada pela tentativa da carga em aumentar o diâmetro do ombro e do calcanhar (34).

Quanto ao padrão de fratura, espera-se que as fissuras provocadas pela carga vertical tenham uma orientação longitudinal no ombro ou no calcanhar, ramificando-se depois em ambas as extremidades, como mostra a Figura 18 (34). O ombro e o calcanhar são regiões críticas de uma garrafa de vidro, já que são as zonas de maior contacto e por isso deve-se ter em conta o revestimento, o design e a espessura do vidro nestas zonas (40).

A norma NP 3551 define o teste a ser realizado para determinar a resistência de uma garrafa de vidro à carga vertical. Nesse teste aplica-se uma carga vertical crescente até à quebra da embalagem ou até se atingir uma carga pré-determinada (41). As cargas verticais mínimas que uma garrafa de vidro sujeita a enchimento e capsulagem deve conseguir suportar são, de acordo com a norma NP 3552, 4500 N para garrafas de tara perdida e 5000 N para garrafas de tara retornável (29).

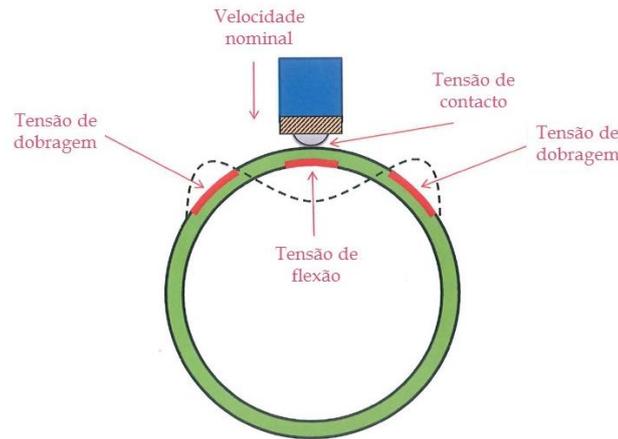


**Figura 18:** *Imagens ilustrativas de dois padrões de fratura provocados pela carga vertical. A – Fratura no ombro; B – Fratura no calcanhar. Retirado de referência (34).*

#### **4.3.1.4. Impacto**

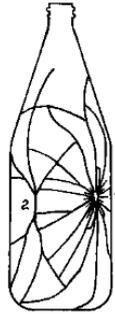
Numa linha de enchimento é frequente existirem impactos de uma garrafa com outras garrafas ou equipamentos, o que pode diminuir a sua resistência. As principais fontes de impacto numa garrafa são as elevadas velocidades na linha de enchimento, os equipamentos da linha que alteram o fluxo de garrafas, o embalamento sem divisórias e o manuseamento inadequado do consumidor (42).

De todas as cargas normalmente aplicadas às garrafas de vidro, o impacto é a carga que gera o sistema de tensões mais complexo. Durante um impacto podem-se gerar três sistemas de tensão distintos: tensão de contacto, tensão de flexão e tensão de dobragem, como mostra a Figura 19 (34, 43).



**Figura 19:** Esquema exemplificativo dos três sistemas de tensão que podem ocorrer numa garrafa de vidro quando esta é sujeita a um impacto por outro objeto. Adaptado de referência (43).

A tensão de contacto é a principal força gerada durante um impacto, pois advêm do contacto direto entre a garrafa e o objeto. Esta tensão concentra-se numa pequena área da superfície externa da garrafa e a sua magnitude aumenta em zonas que exibem maior rigidez e menor raio, como é o caso do ombro e do calcanhar (43). Devido a este impacto, geram-se outras tensões, que provocam o dobramento de zonas próximas da área de contacto. Uma delas é a tensão de flexão, que tem origem na superfície interna da garrafa, no lado oposto ao ponto de impacto e é mais comum em regiões mais flexíveis, como a parede lateral. Tipicamente, o padrão de fratura resultante tem a aparência de uma estrela, com várias ramificações desde a origem da fissura (34, 43). O dobramento da parede da garrafa devido à tensão de flexão, na superfície interna, resulta depois na formação de dobras, um pouco distantes do ponto de impacto, na superfície externa. Essas dobras são então decorrentes de tensões de dobração, que ocorrem numa área mais extensa da superfície externa, nomeadamente a cerca de  $45^\circ$ , para cada lado, da zona de impacto. Neste caso, a fratura tem a forma de uma dobra, que depois se ramifica em ambas as direções, causando a rutura da garrafa de vidro (34, 43). Na Figura 20 apresenta-se um exemplo do padrão de fratura de uma garrafa de vidro, causado por um impacto.



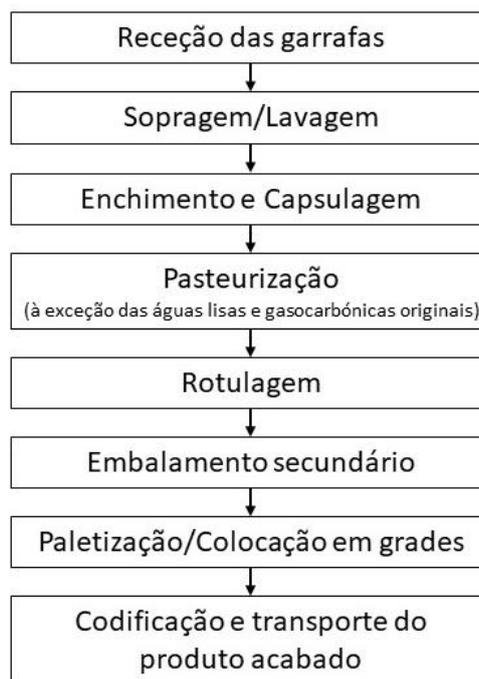
**Figura 20:** Exemplo do padrão de fratura numa garrafa de vidro, causado pelo impacto. Retirado de referência (36).

O impacto relaciona-se sobretudo com a velocidade da linha de enchimento, a rigidez da área onde a carga é aplicada e a massa das garrafas. Assim, a força de impacto aumenta com o aumento da velocidade da linha e da rigidez da área de contacto, sendo também superior em garrafas cheias, retornáveis e de maior capacidade (43).

Por fim, apesar de ainda não existir nenhuma norma específica para determinar a resistência de uma garrafa de vidro ao impacto, a maioria das indústrias vidreiras utiliza o ensaio de *Charpy*. Neste método é usado um pêndulo, que quando libertado de uma altura específica, bate na embalagem com uma determinada força de impacto. O teste é repetido várias vezes, com velocidades crescentes até ao rebentamento da garrafa (24).

## 5. Processo de enchimento industrial

Após a fase de produção de uma determinada bebida, o enchimento da embalagem é a etapa que se segue no fabrico de uma bebida, antes desta ficar disponível para armazenamento, transporte e consumo. De um modo geral, os processos de enchimento são comuns à maioria das empresas do sector das bebidas, no entanto, existem algumas diferenças nos procedimentos e equipamentos utilizados, que dependem essencialmente da embalagem a usar. Relativamente ao SBG, tanto na fábrica de Leça do Balio, onde se realiza o enchimento de todas as cervejas produzidas pela empresa, como na fábrica de Pedras Salgadas, onde ocorre a captação e o enchimento das águas gasocarbónicas, o processo de enchimento é comum, apresentando determinados procedimentos chave, que estão ilustrados na Figura 21.



**Figura 21:** Diagrama geral do processo de enchimento.

As linhas de enchimento dos vários polos da empresa podem ser classificadas como linhas dedicadas, se enchem apenas uma tara de vasilhame, ou linhas mistas, se enchem ambas as taras de vasilhame, ou seja, tara perdida (TP) e tara retornável (TR). As garrafas TP são garrafas novas que provêm do fornecedor, enquanto as garrafas TR são recolhidas pela empresa, em vários pontos de venda ao consumidor, para depois serem reintroduzidas novamente na linha de enchimento. Existem três diferenças principais no processo de enchimento, entre estes dois tipos de tara. Primeiro, na despaletização, as TP são retiradas de paletes, enquanto as TR são retiradas de grades. Depois, para as TR serem reutilizadas, elas necessitam de passar por um processo de lavagem, para remover toda a sujidade e também os rótulos e gargantilhas, ao passo que as TP apenas necessitam de um sopro de ar, para garantir a remoção de qualquer resíduo proveniente do fabrico ou transporte. E por último, no final da linha, a saída das garrafas processa-se de forma distinta, pois as TR são recolocadas em grades e as TP são embaladas em *packs* ou em caixas de cartão. Deste modo, estas diferenças levam a que seja necessária a utilização de equipamentos diferentes no enchimento de garrafas TP ou TR. Nesta dissertação, o foco incidirá sobre as garrafas e linhas TP, uma vez que apenas este tipo de garrafas foi alvo de uma redução de gramagem.

Nas instalações de Leça do Balio do SBG, existe produção e enchimento de cerveja em garrafas de vidro e barril. Neste polo existem 7 linhas de enchimento, que podem ser distinguidas conforme a tara, o tipo de vasilhame e a quantidade de produto cheio por hora, tal como se pode verificar na Tabela 3.

**Tabela 3:** Características das linhas de enchimento de garrafas de vidro e barril na unidade de Leça do Balio do SBG.

| Tipo de linha | Identificação | Tara    | Capacidade do vasilhame (L) | Velocidade nominal (garrafa/hora) |
|---------------|---------------|---------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Dedicada      | Linha 1       | TP      | 0,20/ 0,25/ 0,33            | 70 000                            |
|               | Linha 2       | TP      | 0,20/ 0,25/ 0,33            | 70 000                            |
|               | Linha 3       | TR      | 0,20/ 0,25/ 0,33            | 55 000                            |
|               | Linha 6       | TP      | 0,25/ 0,33/ 0,50/ 1         | 40 000                            |
|               | Linha Barril  | TR      | 30/ 50                      | 460 barris/hora                   |
|               | Linha ACE     | TP      | 5/ 10/ 20                   | ~120 barris/hora                  |
| Mista         | Linha 5       | TP e TR | 0,20/ 0,25/ 0,33            | 88 000                            |

Nas instalações de Pedras Salgadas do SBG, existe captação e enchimento de águas com gás originais e de sabores em garrafas de vidro e de PET. A fábrica está dividida por 3 linhas de enchimento, que se encontram caracterizadas na Tabela 4.

**Tabela 4:** Características das linhas de enchimento de garrafas de vidro e PET na unidade de Pedras Salgadas do SBG.

| Tipo de linha | Identificação | Tara          | Capacidade do vasilhame (L) | Velocidade nominal (garrafa/hora) |
|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Mista         | Linha 1       | Vidro TP e TR | 0,25                        | 42 500                            |
| Dedicada      | Linha 2       | Vidro TP      | 0,25/ 0,50                  | 36 000                            |
|               | Linha 3       | Vidro TP      | 0,75                        | 16 000                            |
|               | Linha 4       | PET           | 0,33/ 1                     | 40 000                            |

### 5.1. Linha de enchimento TP

Como o caso de estudo se centra nas garrafas e linhas TP e dado que na sua generalidade este tipo de linhas é semelhante, escolheu-se a linha 2 da fábrica de Leça do Balio, para servir de exemplo para uma explicação mais detalhada do funcionamento e dos tipos de equipamentos que uma linha de enchimento comum possui. Assim, os principais processos de uma linha de enchimento industrial são:

- **Despaletização**

O primeiro passo de uma linha TP é a despaletização. A despaletizadora (Figura 22) permite retirar as garrafas novas das paletes provenientes do fornecedor e transferi-las para os transportadores, que vão depois encaminhá-las para a etapa seguinte. Este processo inicia-se pela remoção manual da manga de cartão e do filme retrátil que envolvem a paleta. Para além disso, os técnicos geralmente também retiram as garrafas posicionadas nos cantos extremos da primeira fiada da paleta, dado que estas são as garrafas mais instáveis e mais propensas a cair. A partir desse momento, o processo é totalmente automatizado, englobando o avanço da paleta para a despaletizadora, o arrasto de fiadas completas da paleta para o transportador e a remoção, através de um sistema de ventosas, dos intercalares, que servem de divisórias entre as fiadas.



*Figura 22: Imagens ilustrativas da despaletizadora utilizada na linha 2.*

- **Inspeção de garrafas vazias**

De seguida, as garrafas vazias passam por um equipamento denominado inspetor de vazio (Figura 23). Este aparelho, possui câmaras de alta resolução, que inspecionam o fundo, o bocal e a parede de cada garrafa, comparando-os com defeitos padrão previamente introduzidos na unidade de controlo. Quando passa pelo inspetor de vazio uma garrafa que não está em conformidade com as especificações pretendidas, isto é, que apresente defeitos físicos, contenha líquidos ou objetos estranhos no seu interior ou que não corresponda à garrafa que está a ser cheia naquele momento, é rejeitada por um mecanismo de empurro na saída da máquina.



*Figura 23: Imagem ilustrativa do inspetor de garrafas vazias utilizado na linha 2.*

- **Sopragem, enchimento e capsulagem**

Antes do enchimento, o interior das garrafas é soprado, de forma a retirar todas as impurezas resultantes do fabrico, transporte ou armazenamento do vidro.

De seguida, dá-se o enchimento propriamente dito, que consiste na transferência do líquido (neste caso, cerveja), armazenado em cubas, para o interior da garrafa de vidro. Este processo é constituído por várias etapas, que garantem o sucesso do processo, permitindo uma boa cadência de enchimento e obtendo produtos em conformidade com as especificações estabelecidas. A enchedora, por um mecanismo rotacional possibilita, em primeiro lugar, a remoção de todo o oxigénio ( $O_2$ ) presente no interior das garrafas, por sucessivas evacuações e enxaguamentos com dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Na etapa de pressurização, o  $CO_2$  é adicionado de forma a garantir que a garrafa e o tanque de  $CO_2$  fiquem à mesma pressão, para adquirir velocidade de fluxo. Depois, a cerveja é injetada dentro da garrafa por meio de uma cânula, que através da sua altura no interior da garrafa, determina a quantidade de líquido que deve ser adicionado. A velocidade do enchimento é um parâmetro muito importante para as características organoléticas do produto final, por isso, inicialmente, o enchimento deve ser lento, para evitar a formação de espuma e posteriormente, a velocidade deve ir aumentando até atingir o gargalo. Quando se atinge a quantidade pretendida, a válvula da cerveja fecha e abre-se a do gás de retorno para que a pressão na garrafa baixe e não haja formação de espuma.

O enchimento e a capsulagem (Figura 24) são duas operações que estão diretamente associadas, permitindo que a garrafa cheia seja selada, logo de seguida, num curto espaço de

tempo, de modo a evitar o contacto com o O<sub>2</sub> e conseqüentemente, o desenvolvimento de sistemas microbianos e a oxidação da cerveja. No mesmo sentido, antes de ser colocada a cápsula, é libertado um jato de água que obriga a cerveja a “espumar”, impedindo a acumulação de ar no espaço de cabeça.

Após o enchimento e capsulagem, as garrafas cheias passam novamente por outro equipamento inspetor, que verifica o nível de enchimento e a presença/ausência de cápsulas.



*Figura 24: Imagem da enchedora e capsuladora utilizadas na linha 2.*

- **Pasteurização**

O processo seguinte consiste na estabilização microbiológica da cerveja, em que esta é sujeita a uma temperatura elevada específica (~65 °C), durante um certo período de tempo (~1 h), de forma a reduzir a carga microbiológica e aumentar o tempo de prateleira do produto. A conjugação da temperatura e do tempo de pasteurização constitui a unidade de pasteurização (UP), tal como está apresentado na Equação 1 e, que vai diferir dependendo do produto a ser pasteurizado. Na linha 2, é aplicada a pasteurização em túnel (Figura 25), que se caracteriza pela utilização de jatos de água quente que aumentam a temperatura do produto durante o determinado período de tempo, ao fim do qual, jatos de água fria arrefecem gradualmente o produto, evitando o choque térmico e o rebentamento das embalagens. Na saída do pasteurizador, o exterior das garrafas é seco, por um secador, para facilitar a posterior adesão da gargantilha, rótulo e contra-rótulo.

$$UP = t(\text{min}) \times 1,389^{(T(^{\circ}\text{C})-60)}$$

**Equação 3:** Unidade de pasteurização para cada tipo de cerveja. Uma UP define-se pela exposição da garrafa a 60 °C por minuto.



**Figura 25:** Imagem ilustrativa do pasteurizador utilizado na linha 2.

- **Rotulagem**

Nesta etapa, a rotuladora (Figura 26) é o equipamento encarregue de colocar a gargantilha, o rótulo e o contra-rótulo em cada garrafa, de modo a identificar o tipo de produto. Após a rotulagem, as garrafas voltam a ser inspecionadas, quanto ao volume de cerveja na garrafa e à presença/ausência de gargantilha, rótulo e contra-rótulo.



**Figura 26:** Imagem ilustrativa da rotuladora utilizada na linha 2.

- **Embalamento secundário**

Após estarem devidamente rotuladas, as garrafas são embaladas de acordo com o produto e o mercado a que se destinam. As embalagens secundárias podem dividir-se em dois tipos principais: o *pack*, que pode agrupar 4, 6, ou 10 garrafas de cada tipo e a caixa, com 15 ou 24 garrafas. Adicionalmente, quatro *packs* podem ainda ser agrupados e envoltos num filme retrátil, formando os denominados tabuleiros. A embaladora e a encartonadora (Figura 27) são os dois equipamentos responsáveis pela formação dos *packs* e das caixas, respetivamente, sendo que o princípio de funcionamento de ambas as máquinas consiste no alinhamento das garrafas e posterior envolvimento e fecho da embalagem.



**Figura 27:** *Imagens ilustrativas dos equipamentos de embalagem secundário utilizados na linha 2.*

- **Paletização**

O último processo da linha de enchimento é a paletização, que consiste no empilhamento de sucessivas fiadas de embalagens numa palete, geralmente de madeira. De forma obter uma palete o mais segura e organizada possível, aproveitando todo o espaço disponível, as embalagens têm de ser colocadas com uma disposição específica em cada fiada. Essa disposição característica de cada fiada é designada matriz de paletização, existindo normalmente a matriz par e a matriz ímpar, que são assim denominadas pois são colocadas nas fiadas pares e ímpares da palete, respetivamente. Geralmente, as fiadas pares encontram-se com uma inversão de 180° relativamente às fiadas ímpares, já que essa organização possibilita o travamento das embalagens quando empilhadas, o que aumenta a estabilidade da palete. Portanto, as embalagens chegam ao paletizador (Figura 28) por meio de tapetes e

são orientadas por ação de um batente fixo, que promove a sua rotação no sentido pretendido para a alocação na fiada. De seguida, o paletizador realiza o empilhamento automatizado das embalagens, formando primeiro uma fiada e depois colocando-a sobre a palete e as fiadas anteriormente formadas.

Posteriormente, as paletes de produto acabado são envoltas num filme estirável, por um processo automático, que garante a maior rigidez e estabilidade da paleta.

Por fim, as paletes são carregadas e transportadas para o armazém por um empilhador.



*Figura 28: Imagem ilustrativa da paletizadora utilizada na linha 2.*



## CAPÍTULO III

### METODOLOGIAS APLICADAS

1. Proposta de redução de peso de garrafas de vidro
2. Fases de aprovação das garrafas aligeiradas da BA
3. Fases de aprovação da garrafa aligeirada da Vidrala
4. Impacto ambiental da redução de peso das garrafas em estudo



## 1. Proposta de redução de peso de garrafas de vidro

A área dos Serviços Técnicos do departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança do SBG identificou, no início de 2017, a necessidade de redução de peso em algumas garrafas de vidro usadas no acondicionamento dos seus produtos. Esta redução de peso justifica-se não só pela crescente preocupação ambiental que tem marcado muito a atividade das atuais empresas, mas também pela poupança de recursos económicos.

Numa primeira fase, a BA apresentou algumas propostas acerca do tipo de vasilhame e da percentagem de redução de peso a ser aplicada. Após detalhada análise pelo SBG, a escolha recaiu nas garrafas de vidro de tara perdida Super Bock 20 cL (SB20) e Pedras 25 cL (P25). Aprovou-se uma redução de 5 g no peso de cada um dos modelos. Assim, propôs-se uma diminuição de 145 g para 140 g na garrafa SB20, que corresponde a uma percentagem de redução de 3,45%. Enquanto a garrafa P25 foi sujeita a uma alteração de 160 g para 155 g, que equivale a 3,13% de redução de peso. Este tipo de garrafas, que se encontra melhor caracterizado na Tabela 5, foi produzido pelo processo de moldação NNPB descrito no capítulo II – Introdução. Esta proposta foi mais tarde aplicada à garrafa P25 verde produzida pela empresa Vidrala.

**Tabela 5:** Caracterização das garrafas de vidro sujeitas a uma redução de peso.

| Tipo de garrafa a ser modificada | Garrafa SB20                                                   | Garrafa P25                         |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Capacidade do vasilhame          | 20 cL                                                          | 25 cL                               |
| Tara                             | Perdida                                                        | Perdida                             |
| Matéria-prima                    | Vidro                                                          | Vidro                               |
| Cor do vidro                     | Âmbar                                                          | Verde ou branco                     |
| Peso atual                       | 145 g                                                          | 160 g                               |
| Peso reduzido                    | 140 g                                                          | 155 g                               |
| Fornecedor                       | BA                                                             | BA e Vidrala                        |
| Linhas de enchimento             | 1, 2 e 5 da unidade de Leça do Balio                           | 1 e 2 da unidade de Pedras Salgadas |
| Embalamento secundário           | Caixa com 24 ou 15 garrafas <i>Six-pack</i> ou <i>ten-pack</i> | Tabuleiro com 24 garrafas           |

A decisão da alteração de peso nas garrafas SB20 e P25 deveu-se a várias razões, tais como: são um tipo de vasilhame bastante consumido, apresentam reduzida quebra em produto acabado, não têm registos de reclamações e não eram alvo de reduções de peso há algum tempo.

De forma a simplificar a comunicação, a partir deste ponto, as garrafas sem redução de peso serão designadas “SB20 atual” ou “P25 atual” e as garrafas com redução de peso serão denominadas “SB20 aligeirada” ou “P25 aligeirada”.

Qualquer alteração no material, no processo ou no equipamento pode influenciar a integridade, a segurança ou a funcionalidade de uma embalagem, seja no consumidor final, seja no seu desempenho ao longo das linhas de enchimento. Desse modo, a implementação de uma nova garrafa ou a alteração de uma garrafa já existente numa empresa alimentar, obriga a que vários testes prévios sejam realizados, de forma a verificar se a garrafa está de acordo com os requisitos estipulados e se tem um comportamento compatível com o normal funcionamento da linha.

De seguida estão descritas as várias fases de aprovação que foram aplicadas neste projeto, relativamente às garrafas SB20 aligeirada produzida pela BA; P25 aligeirada, verde e branca, fabricada pela BA e P25 aligeirada verde desenvolvida pela Vidrala.

## **2. Fases de aprovação das garrafas aligeiradas da BA**

### **2.1. Aprovação dos desenhos técnicos e das fichas de paletização**

Após a seleção do tipo de garrafas a serem alteradas, a BA iniciou o desenvolvimento dos desenhos técnicos e das fichas de paletização de cada tipo de vasilhame. O desenho técnico é um documento que ilustra ao detalhe a estrutura dimensional de uma garrafa. Enquanto a ficha de paletização apresenta a disposição específica dos artigos numa palete, que varia consoante o tipo de artigo.

Antes da aprovação pelo SBG, os documentos propostos foram criteriosamente avaliados quanto ao cumprimento das normas NP 3315 e NP 3552, que definem as características dimensionais e de resistência das garrafas de vidro; à conservação das especificações gerais face às garrafas SB20 atual e P25 atual e aos custos económicos que poderiam existir decorrentes das alterações necessárias nas linhas de enchimento.

Os principais requisitos que motivaram a aprovação dos desenhos técnicos propostos pela BA foram a ausência de impacto visual no consumidor final, ou seja, seriam visualmente imperceptíveis as modificações realizadas nas garrafas; a conservação das especificações técnicas relacionadas com a resistência mecânica da mesma – pressão interna, choque térmico, carga vertical e impacto – e a desnecessária alteração dos equipamentos das linhas de enchimento.

## **2.2. Pequena produção a partir de molde protótipo**

A fase seguinte do processo de aprovação das garrafas SB20 aligeirada e P25 aligeirada correspondeu à produção de um molde protótipo pela BA, de cada tipo de vasilhame. O molde protótipo trata-se de um molde inicial, destinado a produzir uma pequena quantidade de garrafas-teste e que vai sendo ajustado à medida que sejam detetados desvios ao que é pretendido ou defeitos críticos na garrafa.

Deste modo, foram produzidas garrafas-teste, da SB20 aligeirada e da P25 aligeirada, a partir dos moldes protótipos correspondentes. As produções ocorreram em novembro de 2017, nas instalações da fábrica da BA em Avintes e corresponderam a um conjunto de 800 e 300 garrafas de SB20 aligeirada e P25 aligeirada, respetivamente.

As garrafas-teste foram de seguida enviadas para o SBG, onde foram avaliados alguns parâmetros dimensionais, como o peso, a altura, os diâmetros, as espessuras e o volume líquido e, onde se confirmou que não existia qualquer alteração no impacto visual das garrafas. Para além disso, um pequeno conjunto de garrafas foi colocado em linha, principalmente na zona de rotulagem e embalagem, de modo a avaliar possíveis necessidades de ajustes, nomeadamente na dimensão da gargantilha ou da embalagem secundária (caixa ou *pack*) e no equipamento da linha. Estas análises foram realizadas num período anterior ao início desta dissertação, portanto os resultados não se encontram descritos na mesma. No entanto, todos os parâmetros avaliados mostraram-se de acordo com o expectável.

## **2.3. Produção alargada a partir de molde final**

Assim que as garrafas-teste apresentaram resultados positivos nas análises descritas anteriormente, o molde protótipo foi aprovado a molde final e procedeu-se a novas produções de garrafas SB20 aligeirada e P25 aligeirada. Estas foram produções mais

alargadas, pois tinham como finalidade a realização de ensaios industriais, de ensaios de transporte e a análise de parâmetros dimensionais e de resistência mecânica.

Em abril de 2018, ocorreu uma produção alargada, de cerca de 1,4 milhões da garrafa SB20 aligeirada e em maio de 2018 deu-se a produção de 1,1 milhões da garrafa P25 aligeirada, nas instalações da fábrica da BA.

#### 2.4. Ensaio industriais

Com o objetivo de avaliar o comportamento de uma quantidade significativa de garrafas aligeiradas ao longo das linhas de enchimento, realizaram-se ensaios industriais. Estes ensaios envolveram o acompanhamento presencial do enchimento de produto nas linhas, onde foram recolhidos dados relevantes em pontos estratégicos.

Relativamente às garrafas aligeiradas produzidas pela BA, foram realizados vários ensaios industriais que se encontram descritos na Tabela 6.

**Tabela 6:** Ensaio industriais realizados com as garrafas aligeiradas produzidas pela BA.

|      | Data do ensaio    | Tipo de vasilhame | Cor do vidro | Linha de enchimento | Unidade do SBG  | Nº garrafas consumidas | Produto acabado      |
|------|-------------------|-------------------|--------------|---------------------|-----------------|------------------------|----------------------|
| 2018 | 1 de outubro      | P25 aligeirada    | Verde        | 1                   | Pedras Salgadas | -                      | Pedras orig.         |
|      | 9 e 10 de outubro | SB20 aligeirada   | Âmbar        | 5                   | Leça do Balio   | 737 352                | SB orig.             |
|      | 5 e 6 de novembro | SB20 aligeirada   | Âmbar        | 2                   | Leça do Balio   | 421 344                | SB orig.             |
|      | 21 de novembro    | P25 aligeirada    | Verde        | 2                   | Pedras Salgadas | 292 600                | Pedras orig.         |
| 2019 | 7 de fevereiro    | P25 aligeirada    | Branco       | 2                   | Pedras Salgadas | 110 000                | Pedras F. Vermelhos  |
|      | 19 de fevereiro   | P25 aligeirada    | Branco       | 2                   | Pedras Salgadas | -                      | Pedras limão         |
|      | 15 de abril       | SB20 aligeirada   | Âmbar        | 2                   | Leça do Balio   | 564 096                | SB Stout<br>SB orig. |
|      | 13 e 14 de maio   | SB20 aligeirada   | Âmbar        | 1                   | Leça do Balio   | -                      | SB orig.             |

Uma das análises mais importantes, quando se trata de um ensaio industrial numa linha de enchimento, é a avaliação da quebra de garrafas ao longo da linha. A quebra de uma garrafa pode ter diversas causas associadas, sendo que tipicamente se consideram quatro cargas responsáveis: pressão interna, impacto, carga vertical e choque térmico. Por exemplo, pode ocorrer quebra de garrafas de vidro por impacto, quando estas colidem umas contra as

outras ou contra os equipamentos da linha, ou quando sofrem uma queda de uma certa altura, no despaletizador ou nos transportadores. As quedas, no despaletizador, podem estar relacionadas com matrizes de paletização desajustadas ou mau manuseamento do equipamento pelo técnico, enquanto, nos transportadores, podem resultar da instabilidade de garrafas com peso reduzido ou com tratamento de superfície inadequado. Por outro lado, na enchedora e na capsuladora podem ocorrer quebras por rebentamento, resultantes da elevada pressão interna ou da elevada carga vertical aplicada pelo pistão de enchimento. O choque térmico e a elevada pressão interna que se podem fazer sentir quando a garrafa é exposta a elevadas temperaturas, podem explicar as quebras dentro ou à saída do pasteurizador. A inadequação do equipamento de rotulagem, embalagem secundário e paletização, também pode ser responsável pela quebra de garrafas por impacto no final da linha. Portanto, quando se verifica uma quebra excessiva de garrafas na linha deve-se investigar não só as causas enunciadas anteriormente, mas também deve-se ter em consideração que a quebra acentuada pode ser indicação de alguma fragilidade numa zona da garrafa, decorrente da existência de defeitos críticos ou maiores.

A quebra de garrafas na linha, se em elevado número, acarreta várias preocupações durante o processo de enchimento, essencialmente porque representa um risco de segurança alimentar, obrigando a empresa a realizar medidas de limpeza adicionais; corresponde a uma perda de embalagens necessárias para o processo e atrasa o plano de enchimento estipulado.

Deste modo, dada a importância deste parâmetro, a quebra de garrafas ao longo das linhas foi avaliada durante os ensaios. Sabia-se à partida que as linhas da unidade de Leça do Balio geralmente apresentam uma quebra de garrafas maior do que as linhas da unidade de Pedras Salgadas. Por isso, procedeu-se à contabilização da percentagem de quebra de garrafas nas linhas de Leça do Balio, enquanto nas linhas de Pedras Salgadas, a análise de quebras foi apenas observacional.

A determinação da percentagem de quebra foi realizada segundo o seguinte procedimento:

- a) Distribuiu-se baldes em quatro locais estratégicos da linha: despaletizador, enchedora/capsuladora, pasteurizador e rotuladora/embaladora. Os baldes permaneceram na linha durante o período de tempo em que decorreu o ensaio. Cada balde tinha um peso médio de 1,2 kg.

- b) Recolheu-se os fragmentos de garrafas partidas encontrados ao longo da linha e colocou-se nos baldes correspondentes à zona de quebra.
- c) Mediu-se e registou-se o peso de cada balde, no final do ensaio.
- d) Registou-se o número de paletes de garrafas vazias que entraram na linha durante o ensaio.
- e) Calculou-se a percentagem (%) de quebra, em cada zona da linha, através da Equação 4. A segunda equação serve apenas para clarificar melhor o modo de cálculo das parcelas da primeira equação, sendo que ambas correspondem à determinação da percentagem de quebra.

$$\% \text{ de quebra} = \frac{\text{Número de garrafas partidas}}{\text{Número de garrafas que entraram na linha}} \times 100$$

$$\% \text{ de quebra} = \frac{\left( \frac{P_{\text{balde com vidro partido (g)}} - P_{\text{balde vazio (g)}}}{P_{\text{garrafa (g)}}} \right)}{(N_{\text{paletes}} \times N_{\text{garrafas por palete}})} \times 100$$

**Equação 4:** Fórmula de cálculo usada na determinação da percentagem de quebra verificada em cada zona das linhas de enchimento. P - Peso; N - Número.

Para além da contabilização das quebras, foram também analisados alguns parâmetros de enchimento habituais, como a percentagem de rebentamentos na enchedora e na capsuladora; o tempo de embalagem impróprio (TEI), ou seja, o período de tempo em que a linha de enchimento esteve parada para resolução de problemas associados às garrafas; os desvios na capsulagem e rotulagem e o funcionamento dos equipamentos. De destacar que na avaliação destes parâmetros e das quebras de garrafas foi essencial o *feedback* dos operadores das linhas, que pelo seu frequente acompanhamento dos enchimentos, identificaram com maior facilidade a existência ou não de anomalias nas linhas.

Para efeitos de comparação foram também recolhidas informações acerca da quebra das garrafas SB20 atual e P25 atual, verde e branca, em todas as linhas onde foram executados os ensaios com as garrafas aligeiradas.

## 2.5. Ensaio de transporte

Durante este projeto foram realizados ensaios de transporte, cuja finalidade consistiu na avaliação do comportamento das garrafas aligeiradas face aos impactos e cargas

normalmente aplicados durante o transporte. Nestes ensaios, primeiramente, as paletes de produto acabado com garrafas aligeiradas foram transportadas entre instalações do SBG. Os ensaios realizados, que decorreram nas semanas posteriores aos ensaios industriais, encontram-se descritos na Tabela 7.

**Tabela 7:** Ensaios de transporte realizados com as garrafas aligeiradas produzidas pela BA.

| Data do ensaio |           | Tipo de vasilhame | Cor do vidro | Linha de enchimento | Percurso do transporte                            | Tipo de transporte    | Número de paletes |
|----------------|-----------|-------------------|--------------|---------------------|---------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 2018           | Outubro   | P25 aligeirada    | Verde        | 1                   | Pedras Salgadas – Leça do Balio – Luanda          | Rodoviário e marítimo | 11                |
|                | Outubro   | SB20 aligeirada   | Âmbar        | 5                   | Leça do Balio – Santarém – Leça do Balio          | Rodoviário            | 15                |
|                | Novembro  | SB20 aligeirada   | Âmbar        | 2                   | Leça do Balio – Santarém – Leça do Balio          | Rodoviário            | 15                |
|                | Novembro  | P25 aligeirada    | Verde        | 2                   | Pedras Salgadas – Leça do Balio – Pedras Salgadas | Rodoviário            | 10                |
| 2019           | Fevereiro | P25 aligeirada    | Branco       | 2                   | Pedras Salgadas – Leça do Balio                   | Rodoviário            | 10                |

De seguida, nos armazéns, as paletes de produto acabado foram inspeccionadas quanto à existência de garrafas partidas e de caixas ou *packs* danificados. A análise foi apenas observacional, na medida em que, nenhuma paleta começou por ser desfardada. O desfardamento de paletes consiste em retirar cada caixa ou *pack* da paleta colocando-os num outro estrado, conforme a sua posição na matriz. Desta forma, está-se a desfazer a paleta com produto não-conforme e, em simultâneo, a construir uma nova, sem quebras. No entanto, neste caso, como não era esperado que existissem quebras no produto acabado por carga vertical, impacto ou fadiga estática, este procedimento não foi tomado como ponto de partida na análise. Assim, na avaliação de quebras no produto acabado foi aplicado o seguinte protocolo:

- a) Colocou-se as paletes em estudo num local amplo e livre de outros materiais.
- b) Observou-se cuidadosamente cada uma das quatro faces de cada paleta, procurando evidências de quebra de garrafas, como fragmentos de vidro, *packs* ou caixas danificadas e/ou molhadas e ressuado no filme estirável que envolve a paleta.
- c) Procedeu-se ao corte do filme estirável e ao desfardamento da paleta, caso existissem suspeitas de alguma quebra. Recolheu-se o máximo possível de fragmentos da garrafa

partida e colocou-se num copo de plástico. Identificou-se o copo e selou-se com parafilme. Enviou-se os fragmentos para o fornecedor de vidro, de forma a que estes fossem sujeitos a uma análise fractográfica.

d) Desbloqueou-se a palete para mercado, caso não existissem evidências de quebras de garrafas.

## **2.6. Análise de parâmetros dimensionais e de resistência mecânica**

A redução de peso numa garrafa de vidro só é possível graças às atuais técnicas de produção que as indústrias vidreiras dispõem, nomeadamente o processo de NNPB. Contudo, o uso de uma menor quantidade de vidro na produção de uma garrafa influencia a resistência da mesma, tornando-a mais suscetível à quebra, quando exposta a determinadas cargas. Assim, a avaliação dos possíveis impactos na resistência mecânica de uma garrafa de vidro aligeirada é imperativa no processo de desenvolvimento e aprovação da mesma. Para além disso, também é pertinente a análise de alguns aspetos dimensionais, já que estes parâmetros estão muitas vezes associados ao comportamento da garrafa na linha de enchimento.

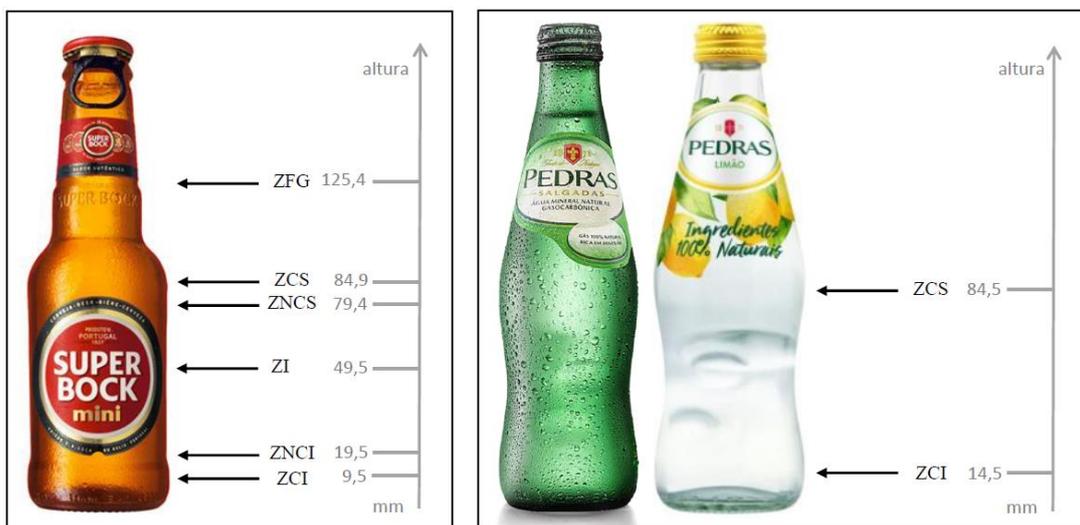
Deste modo, durante este projeto procedeu-se à medição de alguns parâmetros dimensionais e de resistência mecânica, de forma a poder caracterizar mais detalhadamente as garrafas aligeiradas e verificar se os valores medidos se encontravam dentro das especificações estipuladas. Adicionalmente, foram realizadas as mesmas medições nas garrafas atuais (sem redução de peso), para se estabelecer uma comparação entre os dois tipos de garrafas.

### **2.6.1. Parâmetros dimensionais**

Nas garrafas aligeiradas e atuais foram medidos oito parâmetros dimensionais. Em cada medição foi usada uma amostra de 20 garrafas, por cada tipo de vasilhame analisado. Os parâmetros capacidade e espaço de cabeça foram apenas determinados nas garrafas de P25, enquanto os restantes parâmetros foram medidos para ambos os tipos de garrafas, SB20 e P25. Em seguida, apresentam-se os vários parâmetros dimensionais determinados:

- **Peso:** Mediu-se, em g, numa balança de precisão digital.

- **Altura:** Mediu-se, em mm, em quatro pontos equidistantes na marisa da garrafa. Para realizar a medição, colocou-se a garrafa, na vertical, numa superfície plana e depois, usando um graminho digital, determinou-se a altura da mesma.
- **Diâmetro externo:** Mediu-se, em mm, em seis zonas da garrafa SB20 e em duas zonas da garrafa P25, a determinadas alturas: zona de contacto inferior (ZCI), zona de não-contacto inferior (ZNCI), zona intermédia (ZI), zona de não-contacto superior (ZNCS), zona de contacto superior (ZCS) e zona de fundo da gargantilha (ZFG), tal como está ilustrado na Figura 29. Para realizar a medição, colocou-se cada garrafa na horizontal, numa superfície plana e depois, usando um graminho digital, determinou-se os diâmetros externos nas referidas zonas.



**Figura 29:** Imagem ilustrativa das zonas e respetivas alturas, onde se realizaram as medições de diâmetros e espessuras: ZFG – Zona de fundo da gargantilha; ZCS – Zona de contacto superior; ZNCS – Zona de não-contacto superior; ZI – Zona intermédia; ZNCI – Zona de não-contacto inferior; ZCI – Zona de contacto inferior.

- **Espessuras:** Mediu-se, em mm, nas mesmas zonas que os diâmetros externos, com recurso a um medidor de espessuras digital do tipo MiniTest 7200 FH/ sensor FH4. Este equipamento realiza uma medição não-destrutiva de espessuras, sendo constituído por um sensor, um mostrador digital, umas esferas de referência e por padrões de calibração. Para realizar uma medição, a esfera de referência adequada é colocada no interior da garrafa de vidro, enquanto a ponta do sensor é colocada na superfície externa da garrafa, do lado oposto ao da esfera. O funcionamento deste aparelho baseia-se no princípio magneto-estático, uma vez que o sensor está equipado com um campo magnético forte,

que atrai e mantém a esfera de referência sobre a ponta do sensor. A presença da esfera altera o campo magnético do sensor, sendo que essa alteração é maior quanto menor for a distância entre os dois. Adicionalmente, o sensor incorpora um transdutor de sinal que capta a alteração do campo magnético e a traduz numa espessura. Deste modo, com base na alteração do campo magnético que a distância entre a esfera de referência e o sensor provoca, é possível determinar-se as espessuras das paredes de uma garrafa de vidro. Este tipo de equipamento dispõe de dois modos de leitura: o modo numérico, em que é recolhida apenas uma medição num ponto específico da garrafa e o modo gráfico, em que são realizadas várias leituras ao longo do tempo, obtendo-se valores máximo e mínimo de espessura dentro de um conjunto de medições.

De seguida descreve-se o procedimento usado na medição de espessuras nas garrafas de vidro aligeiradas e atuais:

- a) Escolheu-se a esfera de referência adequada para a medição. Neste caso, como as espessuras iriam variar entre 1 e 2,5 mm, optou-se por usar a esfera de diâmetro 2,5 mm.
- b) Ligou-se o medidor e selecionou-se o modo de leitura gráfico.
- c) Calibrou-se o aparelho com uma calibração de ponto zero, que fornece uma precisão de medição média.
- d) Posicionou-se a garrafa na horizontal, sobre o suporte do sensor, com a esfera de referência no interior, de modo que a esfera e a ponta do sensor estivessem junto do local a medir.
- e) Iniciou-se a medição e girou-se lentamente a garrafa, tendo o cuidado de o sensor estar a medir à volta da garrafa, mas sempre à mesma altura.
- f) Terminou-se a medição após uma volta completa à garrafa e registou-se o valor mínimo de espessura obtido para aquela altura.
- g) Repetiu-se o procedimento para as outras alturas correspondentes às zonas de medição pretendidas.

De forma a evidenciar o perfil de espessuras das garrafas P25 e SB20 apresenta-se a Figura 30, representativa de um corte transversal das garrafas.



**Figura 30:** Imagem representativa das garrafas P25 e SB20 cortadas transversalmente, de forma a evidenciar o perfil de espessuras das mesmas.

- **Distribuição do vidro:** Calculou-se a distribuição do vidro ao longo da parede das garrafas, nomeadamente nas zonas medidas, a partir da Equação 5. Este parâmetro é muito importante pois a distribuição uniforme do vidro ao longo de uma garrafa dita a sua maior resistência a cargas e impactos.

$$\text{Distribuição do vidro} = \frac{\text{espessura máxima}}{\text{espessura mínima}}$$

**Equação 5:** Fórmula de cálculo usada na determinação da distribuição do vidro nas garrafas.

- **Volume de líquido:** Corresponde à quantidade de produto que é colocado no interior da garrafa no processo de enchimento. Pesou-se a garrafa com produto acabado sem cápsula e a garrafa vazia sem cápsula. Seguidamente, o volume de líquido foi determinado a partir da diferença entre os dois pesos, tendo em conta a densidade média do produto a 20°C, de acordo com a Equação 6.

$$\text{Volume de líquido (mL)} = \frac{P_{\text{garrafa cheia com produto (g)}} - P_{\text{garrafa vazia (g)}}}{\text{Densidade média do produto a 20°C (g/mL)}}$$

**Equação 6:** Fórmula de cálculo usada na determinação do volume de líquido das garrafas com produto acabado. *P* – peso.

- **Capacidade total:** Corresponde à quantidade máxima de produto que a garrafa consegue suportar. Pesou-se a garrafa cheia, sem cápsula, com produto até ao topo da marisa e a garrafa vazia sem cápsula. Calculou-se a diferença entre os pesos medidos, tendo em conta a densidade média do produto a 20°C, como está descrito na Equação 7.

$$\text{Capacidade total (mL)} = \frac{P_{\text{garrafa cheia com produto até topo da marisa (g)}} - P_{\text{garrafa vazia (g)}}}{\text{Densidade média do produto a 20°C (g/mL)}}$$

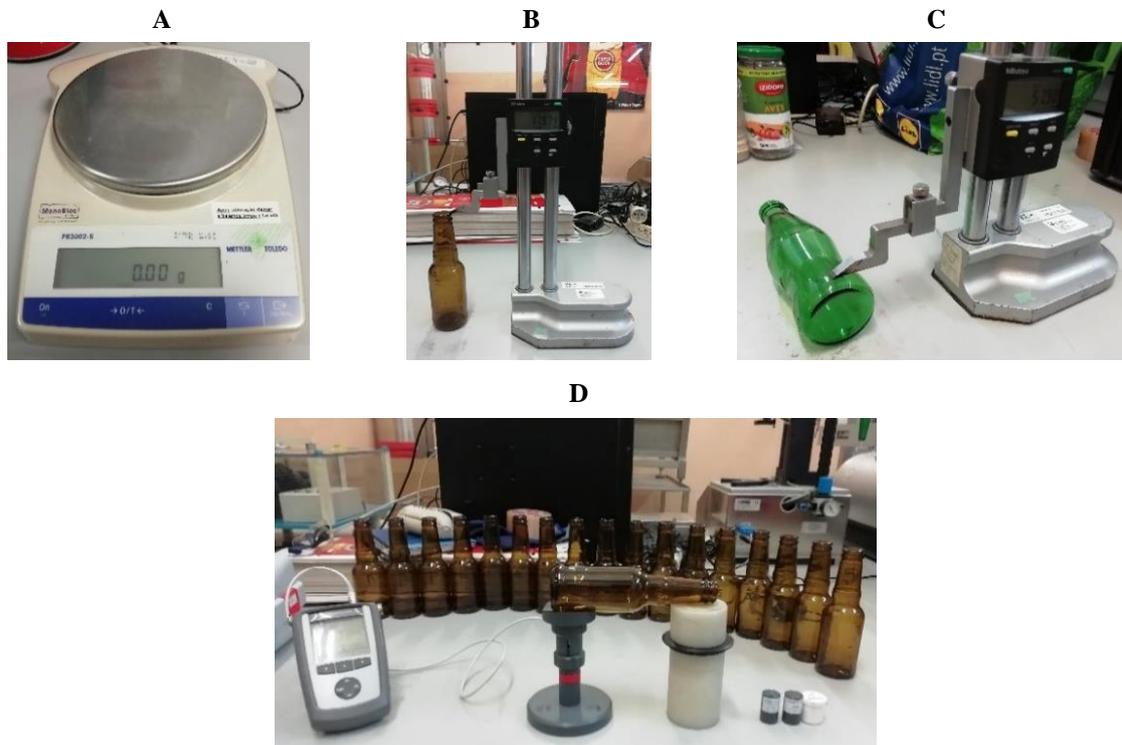
*Equação 7: Fórmula de cálculo usada na determinação da capacidade das garrafas com produto acabado. P – peso.*

- **Espaço de cabeça:** É definido como a percentagem de espaço livre existente entre o produto contido na embalagem e o topo da embalagem. Calculou-se a partir do volume de líquido e da capacidade total anteriormente mencionadas (Equação 8).

$$\text{Espaço de cabeça (\%)} = \frac{\text{Capacidade total (mL)} - \text{Volume de líquido (mL)}}{\text{Capacidade total (mL)}} \times 100$$

*Equação 8: Fórmula de cálculo usada na determinação do espaço de cabeça das garrafas com produto acabado.*

Na figura 31 estão apresentados os aparelhos usados na medição dos parâmetros dimensionais.



**Figura 31:** *Imagens ilustrativas dos equipamentos usados nas medições dos parâmetros dimensionais: A - Balança digital para medição de peso; B – Graminho digital para medição de altura; C- Graminho digital para medição de diâmetro externo; D – Medidor digital para medição de espessuras.*

### 2.6.2. Parâmetros de resistência mecânica

Nas garrafas aligeiradas e atuais foram medidos três parâmetros de resistência mecânica. Nas medições de resistência à pressão interna e ao choque térmico usou-se amostras de 24 garrafas para cada tipo de vasilhame analisado. Contudo, na medição da resistência ao impacto utilizou-se uma amostra de 20 garrafas por cada modelo, tendo sido utilizadas 10 garrafas para o embate do pêndulo no ombro e as restantes 10 para o embate no calcanhar. Realça-se que dada a falta de equipamento no SBG para realizar a medição de resistência ao impacto, o teste foi efetuado pela empresa vidreira BA, que gentilmente forneceu os resultados obtidos, tornando possível a sua posterior análise neste projeto. Posteriormente, são apresentados os parâmetros de resistência mecânica medidos:

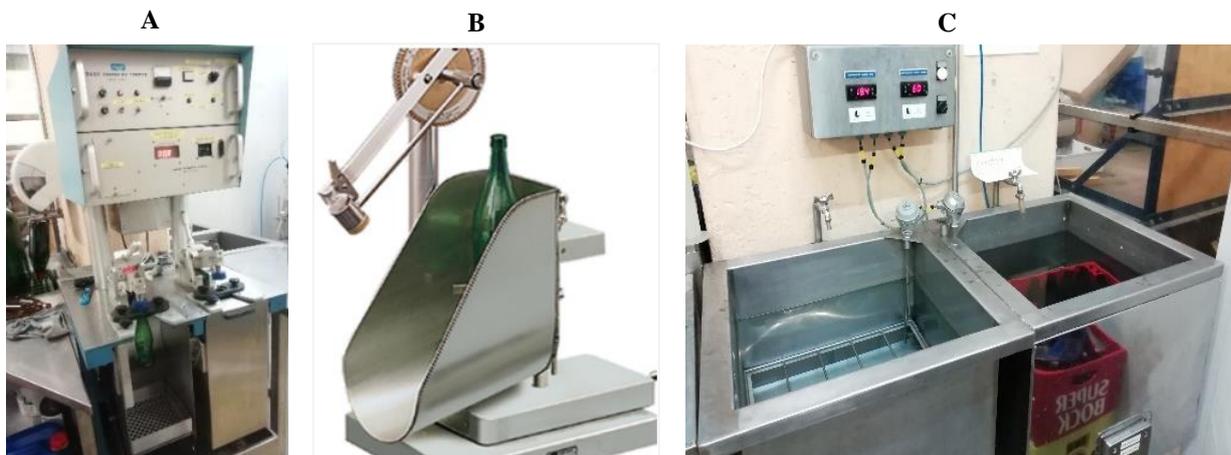
- **Pressão interna:** Realizou-se um teste destrutivo de resistência à pressão interna, no qual cada garrafa foi sujeita a uma pressão crescente até um máximo de 40 kgf/cm<sup>2</sup>, durante um minuto. O equipamento que foi usado era constituído por um manípulo que vedava a marisa da garrafa e introduzia água no seu interior, criando dessa forma uma pressão crescente no seu interior, que terminava quando se atingisse os 40 kgf/cm<sup>2</sup> ou ocorresse o rebentamento da garrafa. As garrafas usadas no teste foram cuidadosamente transportadas até ao local de análise e não foram sujeitas a nenhum outro ensaio mecânico ou térmico que pudesse reduzir a sua resistência.

O procedimento usado nesta medição encontra-se enunciado de seguida:

- a) Ligou-se o equipamento de teste de pressão interna, 15 minutos antes de iniciar a medição.
  - b) Encheu-se a garrafa a testar com água da rede geral.
  - c) Afinou-se o manípulo em função da altura da marisa, usando os anéis de aperto.
  - d) Colocou-se a garrafa no suporte, baixou-se o manípulo e fechou-se a porta de proteção, dando início ao teste.
  - e) O equipamento parou à pressão máxima estipulada ou à pressão de rebentamento da garrafa.
  - f) Registou-se o valor de pressão obtido.
  - g) Levantou-se o manípulo, abriu-se a porta de proteção e retirou-se a garrafa ou os seus fragmentos.
  - h) Repetiu-se o mesmo procedimento para as restantes garrafas.
- **Choque térmico:** Analisou-se a resistência ao choque térmico das garrafas aligeiradas e atuais em estudo, expondo-as a uma diferença de temperatura, de quente para frio, de cerca de 40 °C e verificando a existência de possíveis quebras ou fissuras. Para isso, teve-se em conta a subsequente metodologia:
    - a) Preparou-se dois banhos de água em tanques adequados, um a 60 °C e outro a 20 °C.
    - b) Mergulhou-se uma grade de garrafas de vidro, previamente aprovadas visualmente, no banho a 60 °C, até estas estarem completamente cheias.

- c) Ao fim de 5 minutos, retirou-se as garrafas cheias e transferiu-se para o banho a 20 °C durante 30 segundos, tendo em atenção que o tempo de transferência teria de estar compreendido entre 15 e 60 segundos.
- d) No final, retirou-se as garrafas do banho, despejou-se a água das mesmas e inspeccionou-se uma a uma, procurando por possíveis fissuras ou quebras.
- **Impacto:** Avaliou-se a resistência ao impacto das garrafas em estudo a partir de um equipamento específico, constituído por um pêndulo e um suporte de proteção. A força de impacto foi medida nas zonas de contacto superior (ZCS) ou ombro e nas zonas de contacto inferior (ZCI) ou calcanhar das garrafas, que são as zonas mais suscetíveis a quebras por impacto. O pêndulo, em repouso, a uma determinada altura, possui uma energia potencial que, quando é libertado, realiza trabalho pela força da gravidade. Este trabalho é absorvido pela embalagem sob a forma de impacto. O teste iniciou-se pelo uso de uma força de 50 cm/s, sendo que o pêndulo embateu oito vezes em cada zona, à medida que a garrafa era rodada, para não se repetir o embate no mesmo local. O teste foi repetido várias vezes, com velocidades crescentes até ao rebenamento da garrafa.

A Figura 32 apresenta os equipamentos usados na medição dos parâmetros de resistência mecânica.



**Figura 32:** *Imagens ilustrativas dos equipamentos usados nos testes de resistência mecânica: A – Teste destrutivo de resistência à pressão interna; B – Teste de resistência ao impacto; C – Teste de resistência ao choque térmico.*

### **3. Fases de aprovação da garrafa aligeirada da Vidrala**

Após os resultados favoráveis obtidos nos ensaios com as garrafas SB20 e P25 aligeiradas produzidas pela vidreira BA, o SBG decidiu estender a redução de peso às garrafas também produzidas pela empresa Vidrala. Nesse sentido, a garrafa de vidro de tara perdida de Pedras 25 cL (P25), de cor verde, fabricada pela Vidrala, foi a escolhida para prosseguir com o projeto. O processo de aprovação desta garrafa foi bastante semelhante ao aplicado nas garrafas aligeiradas da BA, tal como se pode comprovar de seguida.

#### **3.1. Aprovação do desenho técnico e da ficha de paletização**

O desenho técnico e a ficha de paletização da garrafa P25 aligeirada da Vidrala foi desenvolvido e prontamente aprovado pelo SBG, em junho de 2018.

#### **3.2. Pequena produção a partir de molde protótipo**

Ocorreu a produção de uma pequena quantidade de garrafas-teste a partir do molde protótipo, cerca de 400, em julho de 2018, nas instalações da Vidrala na Marinha Grande.

À semelhança do que ocorreu com as garrafas aligeiradas da BA, as garrafas-teste da Vidrala passaram também por uma breve análise de alguns parâmetros dimensionais e em linha, de forma a avaliar a existência de impacto visual no consumidor ou a necessidade de alterações na rotulagem e nos equipamentos da linha.

#### **3.3. Produção alargada a partir de molde final**

Depois do molde protótipo ser aprovado a molde final, produziu-se cerca de 1 milhão de garrafas P25 aligeirada verde, em fevereiro de 2019, nas instalações da Vidrala na Marinha Grande.

#### **3.4. Ensaaios industriais**

Durante o decorrer deste projeto foram realizados dois ensaios industriais com a garrafa P25 aligeirada da Vidrala, que se encontram caracterizados na Tabela 8. Nestes ensaios acompanhou-se presencialmente o enchimento de produto ao longo da linha e avaliou-se as quebras, a percentagem de rebentamentos na enchedora e capsuladora, o TEI, os desvios na capsulagem e rotulagem e o funcionamento dos equipamentos.

**Tabela 8:** Ensaio industriais realizados com a garrafa aligeirada produzida pela Vidrala.

| Data do ensaio |             | Tipo de vasilhame | Cor do vidro | Linha de enchimento | Unidade do SBG  | Nº garrafas consumidas | Produto acabado |
|----------------|-------------|-------------------|--------------|---------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| 2019           | 19 de março | P25 aligeirada    | Verde        | 1                   | Pedras Salgadas | 217 360                | Pedras orig.    |
|                | 1 de abril  | P25 aligeirada    | Verde        | 1                   | Pedras Salgadas | 326 040                | Pedras orig.    |

### 3.5. Ensaio de transporte

Dado que já existiam informações positivas relativamente aos ensaios de transporte realizados com as garrafas P25 aligeiradas da BA, não se considerou relevante realizar novamente estes ensaios com a garrafa P25 aligeirada da Vidrala.

### 3.6. Análise de parâmetros dimensionais e de resistência mecânica

Por último, a garrafa P25 aligeirada da Vidrala também foi sujeita a uma avaliação de certos parâmetros dimensionais e de resistência mecânica. A metodologia aplicada na determinação de cada um desses parâmetros foi em tudo semelhante à usada nas garrafas da BA, podendo por isso ser consultada nas páginas 55 a 61 desta dissertação. De ressaltar que esta análise apenas foi executada nas garrafas aligeiradas, dada a indisponibilidade de garrafas P25 atuais da Vidrala.

## 4. Impacto ambiental da redução de peso das garrafas em estudo

A produção de uma garrafa de vidro acarreta consumos a nível de matérias-primas, combustíveis e energia. Portanto, quando se produz uma garrafa de vidro com peso reduzido, ou seja, com uma menor quantidade de vidro, é expectável que o dispêndio energético e as emissões de gases com efeito de estufa associados à produção dessa garrafa sejam significativamente menores.

Nesse sentido achou-se pertinente realizar um balanço sumário do impacto ambiental que a redução de 5 g de vidro, em cada uma das garrafas estudadas, irá provocar.

Para isso, considerou-se a quantidade de garrafas SB20 e P25 que será necessário produzir em 2019 para fazer face às encomendas dos clientes do SBG e determinou-se o número de toneladas de vidro correspondente, quer para as garrafas aligeiradas quer para as garrafas atuais. De seguida, sabendo o consumo energético médio, em kcal/tonelada de vidro

fundido e a emissão de CO<sub>2</sub> média, em toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de vidro fundido, previstas pela BA para o corrente ano, foi possível chegar a uma percentagem de redução de consumo energético e de emissão de CO<sub>2</sub>, conseguida pela produção de garrafas de vidro com redução de peso. As Equações 9 e 10 explicitam mais detalhadamente os cálculos realizados, cujos valores obtidos estão descritos no final do Capítulo IV: Resultados e Discussão.

$$\begin{aligned} & \textit{Toneladas de vidro a produzir} \\ & = (N_{\textit{garrafas SB20}} \times P_{\textit{garrafa SB20}}) + (N_{\textit{garrafas P25}} \times P_{\textit{garrafa P25}}) \end{aligned}$$

**Equação 9:** *Fórmula de determinação da quantidade de toneladas de vidro a produzir para dar origem ao número de garrafas que o SBG necessita para satisfazer as encomendas dos clientes. N – número; P – peso de cada garrafa.*

$$\begin{aligned} & \% \textit{ de redução de consumo energético} \\ & = \frac{\textit{kcal da garrafa atual} - \textit{kcal da garrafa aligeirada}}{\textit{kcal da garrafa atual}} \times 100 \end{aligned}$$

**Equação 10:** *Fórmula de determinação da percentagem de redução de consumo energético resultante da produção de garrafas com redução de peso. No caso da emissão de CO<sub>2</sub>, o cálculo é similar.*

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Garrafa SB20 aligeirada versus garrafa SB20 atual da BA
2. Garrafa P25 aligeirada versus garrafa P25 atual da BA
3. Garrafa P25 aligeirada da Vidrala
4. Impacto ambiental da redução de peso das garrafas em estudo
5. Atualização do caderno de encargos
6. Elaboração de instrução de trabalho (IT) para aprovação de uma garrafa de vidro com redução de peso



## 1. Garrafa SB20 aligeirada versus garrafa SB20 atual da BA

### 1.1. Análise do comportamento da garrafa SB20 aligeirada nos ensaios industriais

Durante os ensaios industriais realizados com a garrafa SB20 aligeirada, na unidade de Leça do Balio, avaliou-se certos parâmetros de enchimento e calculou-se a percentagem de quebra de garrafas ao longo das linhas.

Todos os parâmetros de enchimento avaliados demonstraram resultados de acordo com os critérios habituais do SBG e em relação à garrafa atual (Tabela 9). Excetua-se a percentagem de quebra de garrafas na linha, uma vez que, tanto no ensaio da linha 5, como no ensaio da linha 2, esta apresentou valores superiores aos desejados.

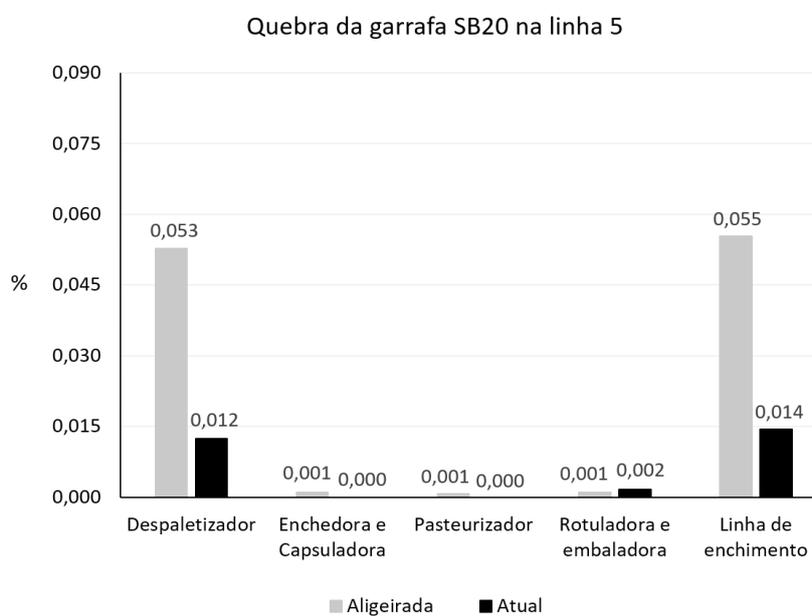
**Tabela 9:** Parâmetros analisados e respetivos resultados obtidos durante os ensaios de enchimento com a garrafa SB20 aligeirada da BA.

| Parâmetros analisados ao longo do enchimento         | Resultados obtidos |               |
|------------------------------------------------------|--------------------|---------------|
|                                                      | Linha 5            | Linha 2       |
|                                                      | 9 e 10/10/2018     | 5 e 6/11/2018 |
| Rejeição de garrafas nos inspetores de vazio         | OK                 | OK            |
| Rebentamentos de garrafas na enchedora e capsuladora | OK                 | OK            |
| TEI (Tempo de embalagem impróprio)                   | OK                 | OK            |
| Desvios de capsulagem e rotulagem                    | OK                 | OK            |
| Funcionamento dos equipamentos                       | OK                 | OK            |
| Quebra de garrafas ao longo da linha                 | NOK                | NOK           |

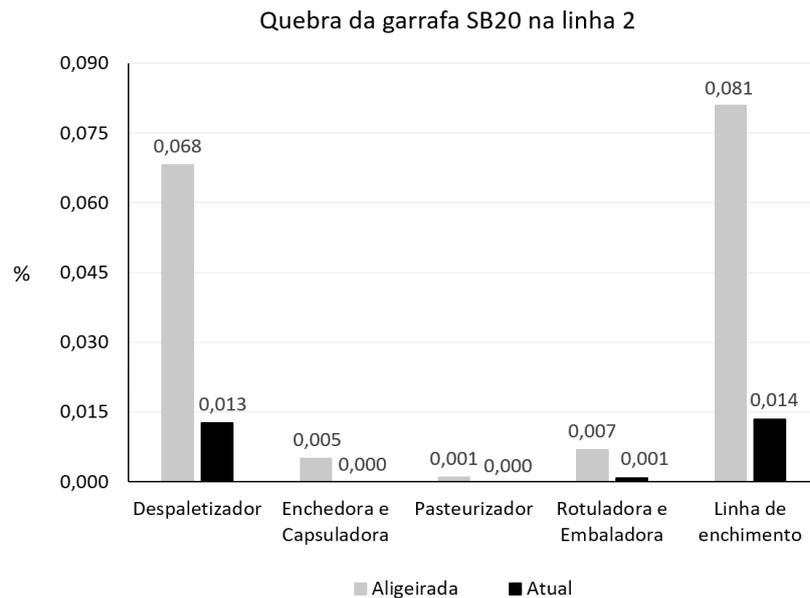
Na Tabela 10 estão indicados os valores de referência do SBG para a percentagem de quebra de garrafas de vidro em certas zonas de uma linha de enchimento. Por outro lado, nas Figuras 33 e 34 são apresentados os gráficos de barras com as percentagens de quebra da garrafa SB20 aligeirada obtidas durante os ensaios nas linhas 5 e 2, respetivamente. Nestes gráficos é ainda possível observar as percentagens de quebra da garrafa SB20 atual, em ambas as linhas testadas.

**Tabela 10:** Valores de referência definidos pelo SBG para a percentagem de quebra de garrafas de vidro numa linha de enchimento comum. Adaptado de referência (30).

| Local da linha          | % de quebra de referência |
|-------------------------|---------------------------|
| Despaletizador          | 0,010                     |
| Enchedora e capsuladora | 0,045                     |
| Pasteurizador           | 0,020                     |
| Rotuladora e embaladora | 0,010                     |
| Linha de enchimento     | 0,050                     |



**Figura 33:** Representação gráfica da percentagem de quebra de garrafas de vidro SB20 aligeirada e atual, obtidas em determinadas zonas da linha de enchimento 5, durante o ensaio industrial realizado. As duas últimas colunas do gráfico correspondem ao somatório da percentagem de quebra das zonas da linha avaliada.



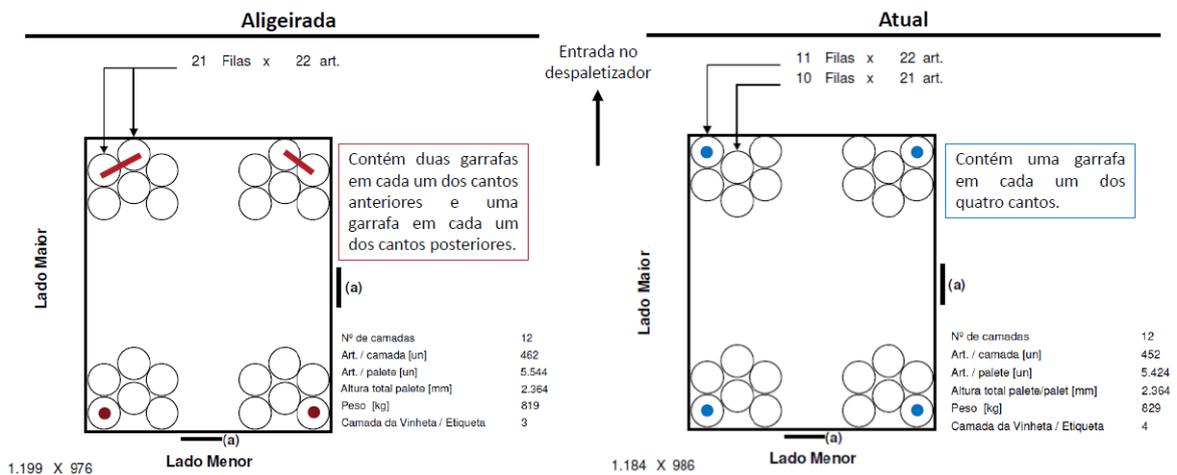
**Figura 34:** Representação gráfica da percentagem de quebra de garrafas de vidro SB20 aligeirada e atual, obtidas em determinadas zonas da linha de enchimento 2, durante o ensaio industrial realizado. As duas últimas colunas do gráfico correspondem ao somatório da percentagem de quebra das zonas da linha avaliada.

Pela análise dos dois gráficos anteriores, é possível verificar que, na enchedora e capsuladora, no pasteurizador e na rotuladora e embaladora, as percentagens de quebra registadas foram bastante similares entre a garrafa SB20 aligeirada e a garrafa SB20 atual. Para além disso, todos estes locais das linhas apresentaram percentagens de quebra bastante inferiores aos valores de referência correspondentes, quer para a garrafa aligeirada, quer para a garrafa atual. Quer isto dizer, que a nível de quebras, a garrafa SB20 aligeirada não demonstrou problemas, nas referidas zonas das duas linhas.

No entanto, o mesmo não aconteceu na zona do despaletizador, uma vez que a garrafa SB20 aligeirada exibiu uma percentagem de quebra de 0,053% na linha 5 e de 0,068% na linha 2. Estes valores são bastante superiores, tanto ao valor de referência (0,010%), como aos 0,012% da linha 5 e 0,013% da linha 2 para a garrafa atual. Consequentemente, o mesmo se refletiu na percentagem de quebra na totalidade de cada uma das linhas, registando-se para a garrafa aligeirada, 0,055% na linha 5 e 0,081% na linha 2, sendo estes valores superiores à percentagem de quebra dos ensaios com a garrafa atual (0,014% em ambas as linhas).

Desta forma, a percentagem de quebra da garrafa aligeirada nos despaletizadores das linhas 5 e 2, foi considerada significativa, exigindo por isso uma avaliação das causas

subjacentes a este acontecimento. Vários motivos podem explicar esta ocorrência, como a utilização de uma matriz de paletização na garrafa aligeirada diferente da usada na garrafa atual. Esta nova matriz pode gerar mais oscilação no momento de transladação das garrafas das camadas superiores da paleta para os transportadores, o que pode ainda ser agravado pelo facto de as garrafas serem mais leves e, portanto, teoricamente mais instáveis. A utilização de uma nova matriz de paletização nas garrafas aligeiradas justificou-se pelo facto de, ao reduzir o peso e o diâmetro das garrafas, passou a existir mais espaço na paleta. Portanto, dado as vantagens a nível de logística e custos, decidiu-se aumentar o número de garrafas em cada paleta, sendo que isso exigiu a alteração da matriz de paletização. Cada paleta da garrafa SB20 aligeirada contém mais 120 garrafas do que a paleta da garrafa SB20 atual. A Figura 35 revela as diferenças entre a matriz de paletização da garrafa aligeirada e da garrafa atual.



**Figura 35:** Matriz de paletização da garrafa aligeirada (à esquerda) e da garrafa atual (à direita), sendo que cada retângulo representa uma camada de garrafas na paleta e os círculos representam as garrafas. Adaptado de referência (44).

Porém, a elevada quebra de garrafas nos despaletizadores também pode ser explicada pela repaletização que as garrafas aligeiradas foram sujeitas nas instalações da empresa vidreira. Após a produção, a BA detetou um número significativo de garrafas aligeiradas com sedas (defeito do vidro) e como este defeito pode acarretar problemas de resistência mecânica, optou-se por inspecionar novamente as garrafas produzidas em equipamentos automáticos desenhados para esse efeito. Por questões de logística, a repaletização das

garrafas inspecionadas e aprovadas, foi realizada num paletizador semi-automático, que não demonstra a mesma eficácia de paletização que um equipamento automático. Isso fez com que as paletes da garrafa aligeirada, resultantes da primeira produção alargada, estivessem desalinhas, o que pode justificar a elevada quebra desta garrafa nos despaletizadores.

Assim, de modo a identificar qual das duas causas possíveis era a responsável pela percentagem de quebra anormal nos despaletizadores das linhas 2 e 5, realizaram-se mais dois ensaios industriais. Primeiro, efetuou-se um segundo ensaio na linha 2, no dia 15 de abril de 2019, já que foi nesta linha que se verificou a maior percentagem de quebra de garrafas. Neste ensaio, optou-se por utilizar paletes de garrafas aligeiradas com uma matriz de paletização igual à matriz das garrafas atuais e que foram paletizadas num equipamento automático. Em segundo lugar, realizou-se um ensaio na linha 1 do SBG, nos dias 13 e 14 de maio de 2019, com o objetivo de completar os ensaios industriais em todas as linhas onde a garrafa SB20 TP é normalmente utilizada e também de recolher mais informações acerca da quebra anómala verificada nos despaletizadores dos ensaios referidos anteriormente. Para isso, neste ensaio usou-se paletes de garrafas aligeiradas com a nova matriz de paletização e paletizadas num equipamento automático. Por último, verificaram-se resultados positivos em ambos os ensaios, uma vez que não existiram quebras significativas de garrafas SB20 aligeiradas ao longo das linhas, inclusive nos despaletizadores e, todos os outros parâmetros avaliados apresentaram resultados satisfatórios (Tabela 11). É de salientar que no início do ensaio da linha 1 se verificou a dificuldade do fecho adequado das caixas pela embaladora. Esta anomalia exigiu a intervenção da equipa de manutenção, que melhorou o problema, excluindo-se a possibilidade de ser a própria estrutura da garrafa a causa do mesmo.

Em suma, estes resultados permitem concluir que as elevadas quebras de garrafas nos despaletizadores registadas nos dois primeiros ensaios com a garrafa SB20 aligeirada, resultaram da repaletização a que as paletes foram sujeitas nas instalações do vidreiro e que diminuiu a estabilidade das mesmas.

**Tabela 11:** Parâmetros analisados e respectivos resultados obtidos durante os ensaios de enchimento com a garrafa SB20 aligeirada da BA.

| Parâmetros analisados ao longo do enchimento         | Resultados obtidos |                 |
|------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|
|                                                      | Linha 2            | Linha 1         |
|                                                      | 15/04/2019         | 13 e 14/05/2019 |
| Rejeição de garrafas nos inspetores de vazio         | OK                 | OK              |
| Rebentamentos de garrafas na enchedora e capsuladora | OK                 | OK              |
| TEI (Tempo de embalagem impróprio)                   | OK                 | OK              |
| Desvios de capsulagem e rotulagem                    | OK                 | OK              |
| Funcionamento dos equipamentos                       | OK                 | OK              |
| Quebra de garrafas ao longo da linha                 | OK                 | OK              |

### 1.2. Análise do comportamento da garrafa SB20 aligeirada nos ensaios de transporte

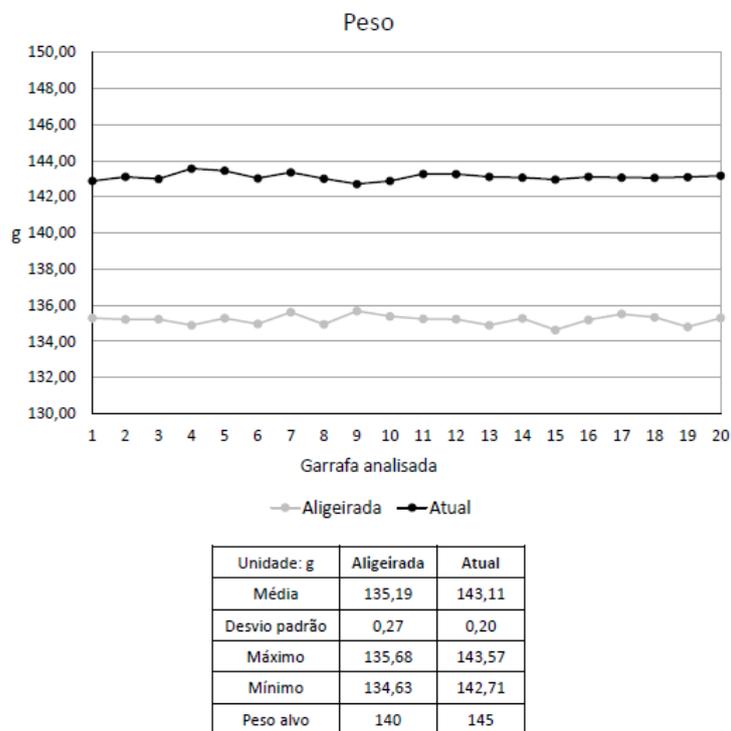
Através da análise observacional de algumas paletes após o seu transporte rodoviário entre instalações do SBG, foi possível avaliar o comportamento das garrafas SB20 aligeiradas nas paletes de produto acabado. Constatou-se que as garrafas aligeiradas resistiram eficazmente às forças aplicadas aquando do transporte, não se verificando nenhuma garrafa partida nem caixas/packs de produto acabado danificados, nas paletes analisadas.

### 1.3. Análise comparativa dos parâmetros dimensionais e de resistência mecânica da garrafa SB20 aligeirada e atual

A garrafa SB20 aligeirada foi sujeita a um conjunto de medições, de forma a verificar se as características dimensionais e de resistência mecânica desta se encontravam dentro dos parâmetros estipulados, tanto pelo SBG como pela vidreira BA. Para meios de comparação, as mesmas medições foram aplicadas na garrafa SB20 atual.

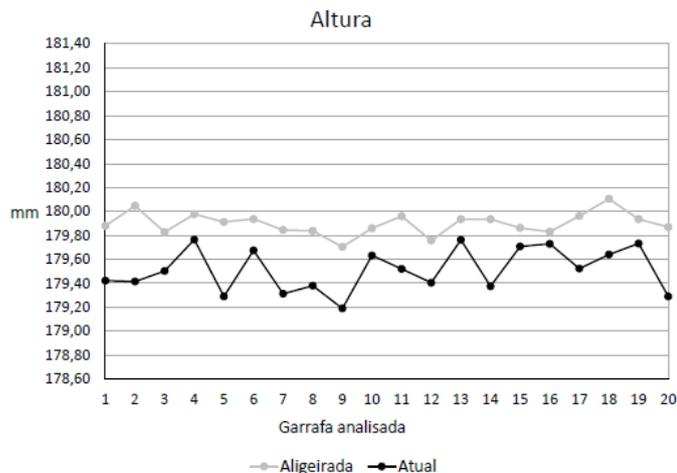
O peso médio das garrafas aligeiradas e atuais determinado encontra-se representado graficamente na Figura 36. Verificou-se que as garrafas aligeiradas detinham um peso médio de  $135,19 \pm 0,27$  g, enquanto as garrafas atuais apresentaram um peso médio de  $143,11 \pm 0,20$  g. Apesar de o peso alvo das garrafas aligeiradas ser de, aproximadamente, 140 g e o das garrafas atuais ser de 145 g, considera-se que os pesos medidos vão de encontro ao pretendido, já que geralmente quando existe a produção de novos moldes, o peso das

primeiras garrafas a serem produzidas tende a ser menor, para compensar o desgaste que o molde vai sofrendo ao longo do tempo.



**Figura 36:** Representação gráfica do peso das garrafas SB20 aligeiradas e atuais analisadas. O gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes.

Em relação à altura da garrafa aligeirada, cujos resultados se encontram apresentados na Figura 37, procurava-se que esta se mantivesse igual à da garrafa atual, garantido a mesma capacidade do vasilhame, evitando a necessidade de alteração dos equipamentos e da embalagem secundária e principalmente, mantendo a redução de peso visualmente impercetível ao consumidor. Constatou-se que este requisito foi cumprido, pois as alturas médias determinadas para as garrafas aligeiradas e atuais foram de  $179,90 \pm 0,09$  mm e  $179,51 \pm 0,18$  mm, respetivamente. Para além das alturas das garrafas aligeiradas serem semelhantes às das garrafas atuais, todas as garrafas analisadas tinham uma altura que se enquadrava dentro dos limites inferior (178,6 mm) e superior (181,4 mm) estipulados.



| Unidade: mm   | Aligeirada | Atual  |
|---------------|------------|--------|
| Média         | 179,90     | 179,51 |
| Desvio padrão | 0,09       | 0,18   |
| Máximo        | 180,11     | 179,77 |
| Mínimo        | 179,71     | 179,19 |
| Altura alvo   | 180        |        |
| LIE           | 178,6      |        |
| LSE           | 181,4      |        |

**Figura 37:** Representação gráfica da altura das garrafas SB20 aligeiradas e atuais analisadas. O gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes, indicando o limite inferior estabelecido (LIE) e o limite superior estabelecido (LSE).

A Tabela 12 apresenta os valores resultantes da determinação dos diâmetros externos e espessuras médios medidos em seis zonas características das garrafas aligeiradas e atuais SB20. Adicionalmente, apresentam-se também os valores obtidos pelo cálculo da distribuição de vidro ao longo das zonas medidas. É de referir que os valores de espessura apresentados correspondem à média dos valores mínimos determinados em cada garrafa, através do modo gráfico do medidor de espessuras usado.

**Tabela 12:** Valores obtidos na determinação dos diâmetros externos, das espessuras e da distribuição do vidro nas garrafas SB20 aligeiradas e atuais. As medições foram efetuadas em seis zonas de cada garrafa: ZCS (zona de contacto superior), ZNCS (zona de não-contacto superior), ZI (Zona intermédia), ZNCI (zona de não-contacto inferior), ZCI (zona de contacto inferior) e ZFG (zona de fundo da gargantilha). Apresentam-se a média, os desvios padrão, os valores máximos e mínimos medidos em cada zona, o número de amostras analisadas, os valores alvo e os limites inferior (LIE) e superior (LSE) estabelecidos.

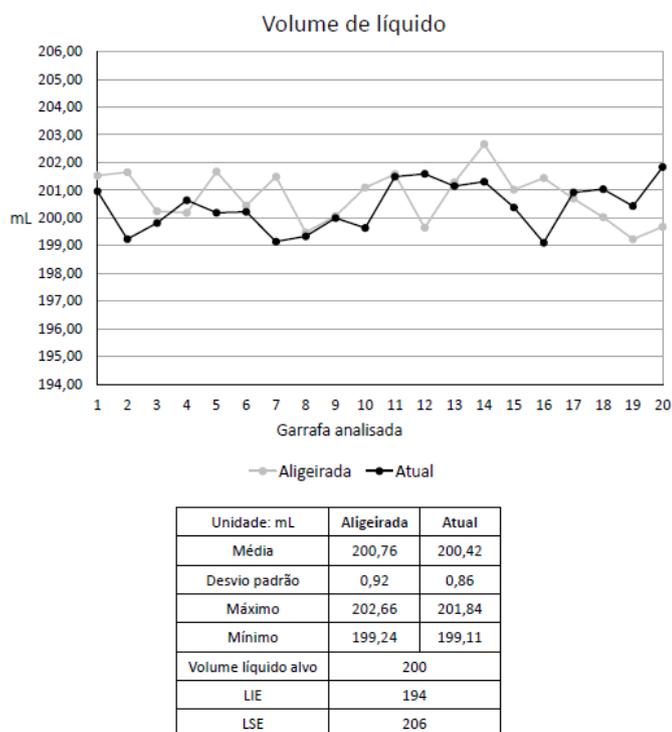
| Parâmetros dimensionais | Garrafa SB20 âmbar |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
|-------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
|                         | Aligeirada         |      |      |      |      |      | Atual |      |      |      |      |      |
|                         | ZCS                | ZNCS | ZI   | ZNCI | ZCI  | ZFG  | ZCS   | ZNCS | ZI   | ZNCI | ZCI  | ZFG  |
| Diâmetros externos (mm) |                    |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
| Média                   | 53,1               | 53,1 | 52,7 | 52,5 | 53,2 | 32,2 | 53,6  | 53,6 | 53,0 | 52,8 | 53,5 | 31,8 |
| Desvio padrão           | 0,1                | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1   | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  |
| Máximo                  | 53,2               | 53,2 | 52,8 | 52,7 | 53,3 | 32,4 | 54,1  | 54,0 | 53,2 | 53,1 | 53,7 | 32,1 |
| Mínimo                  | 52,9               | 52,9 | 52,4 | 52,3 | 53,0 | 32,0 | 53,4  | 53,4 | 52,9 | 52,6 | 53,3 | 31,6 |
| Número de amostras      | 20                 |      |      |      |      |      | 20    |      |      |      |      |      |
| Alvo                    | 53,3               | 52,9 | -    | 51,8 | 53,3 | 32,3 | 53,8  | 53,4 | -    | 52,3 | 53,8 | 31,8 |
| LIE                     | 52,1               | -    | -    | -    | 52,1 | -    | 52,6  | -    | -    | -    | 52,6 | -    |
| LSE                     | 54,5               | -    | -    | -    | 54,5 | -    | 55,0  | -    | -    | -    | 55,0 | -    |
| Espessuras (mm)         |                    |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
| Média                   | 1,7                | 1,7  | 1,7  | 1,8  | 1,7  | 2,0  | 1,6   | 1,8  | 1,6  | 1,7  | 1,6  | 1,9  |
| Desvio padrão           | 0,1                | 0,1  | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,1  | 0,2   | 0,2  | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,2  |
| Máximo                  | 1,9                | 1,9  | 1,9  | 2,1  | 2,3  | 2,2  | 2,1   | 2,3  | 1,9  | 2,3  | 2,0  | 2,2  |
| Mínimo                  | 1,4                | 1,4  | 1,4  | 1,4  | 1,2  | 1,7  | 1,4   | 1,4  | 1,3  | 1,0  | 1,3  | 1,6  |
| Número de amostras      | 20                 |      |      |      |      |      | 20    |      |      |      |      |      |
| Tolerância              | ≥1                 | ≥0,9 | ≥0,9 | ≥0,9 | ≥1   | ≥0,9 | ≥1    | ≥0,9 | ≥0,9 | ≥0,9 | ≥1   | ≥0,9 |
| Distribuição do vidro   |                    |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
| Média                   | 1,4                | 1,4  | 1,4  | 1,6  | 1,9  | 1,2  | 1,6   | 1,5  | 1,5  | 1,7  | 1,8  | 1,4  |
| Desvio padrão           | 0,2                | 0,2  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,1  | 0,1   | 0,1  | 0,2  | 0,4  | 0,4  | 0,1  |
| Alvo                    | Até 1,8            |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |

Relativamente aos diâmetros externos, verificou-se que em todas as zonas medidas, à exceção da ZFG, os diâmetros médios das garrafas aligeiradas eram inferiores aos das garrafas atuais, tal como era esperado. Mais especificamente que, entre as garrafas atuais e as aligeiradas, ocorreu uma redução de 0,5 mm no diâmetro médio das ZCS e ZNCS, enquanto nas ZI, ZNCI e ZCI ocorreu uma redução de apenas 0,3 mm. Considerando que a redução de diâmetro estipulada pelo desenho técnico era de 0,5 mm nestas zonas, justificava-se que a sua menor redução nas zonas intermédia e inferiores da garrafa seja devida à necessidade de ajustes aos novos moldes, podendo existir variações no processo produtivo e erros inerentes ao método de medição. Por outro lado, identificou-se que a ZFG exibiu um diâmetro médio superior nas garrafas aligeiradas, tendo sofrido um aumento de cerca de 0,4 mm em relação às garrafas atuais. As especificações técnicas definiam que esse aumento seria de 0,5 mm, portanto as razões enunciadas anteriormente podem também justificar esta discrepância. Apesar disso, os valores de diâmetro medidos estão dentro dos limites inferior e superior estipulados para estas zonas das garrafas.

A espessura das paredes das garrafas é dos um parâmetros mais importantes neste estudo, pois a redução de 5 g em cada garrafa foi conseguida pela diminuição da quantidade de vidro em certas zonas da parede da garrafa atual, sendo assim esperado uma consequente diminuição das espessuras das garrafas aligeiradas comparativamente às garrafas atuais. Porém, ao invés disso, observou-se que nas zonas medidas, à exceção da ZNCS, as espessuras médias das garrafas aligeiradas não eram inferiores às das garrafas atuais. Apesar de parecer um contrassenso, isto pode ser explicado pelo facto de as zonas medidas terem sido insuficientes e a redução de espessura estar presente noutras zonas. Seria então necessário proceder-se à determinação do perfil de espessuras das paredes das garrafas. Adicionalmente, a elevada proximidade entre os valores de espessura das garrafas aligeiradas e atuais dificulta a perceção das zonas que sofreram redução de espessura, evidenciando que possivelmente o método de medição usado não era o mais adequado para o efeito. Por último, o número de amostras analisadas também pode ter influenciado os resultados, uma vez que entre os diferentes moldes e fabricos as espessuras não se mantêm sempre lineares, por isso seria necessário realizar medições num número muito mais significativo de garrafas. Não obstante, todos os valores de espessura determinados mostraram estar de acordo com a especificação estipulada, isto é, todas as zonas registaram uma espessura superior a 1 ou 0,9 mm.

No final, foi ainda calculada a distribuição do vidro ao longo das zonas medidas nas garrafas aligeiradas e atuais. Os resultados obtidos revelaram que ambos os tipos de garrafa SB20 detinham uma distribuição do vidro adequada, uma vez que apresentaram valores próximos e até 1,8 na distribuição do vidro, tal como está especificado.

Na Figura 38 apresenta-se a representação gráfica do volume de líquido determinado nas garrafas SB20 aligeiradas e atuais. Observou-se uma grande similaridade entre o volume de líquido médio das garrafas aligeiradas e das garrafas atuais, tendo-se obtido  $200,76 \pm 0,92$  mL e  $200,42 \pm 0,86$  mL, respetivamente. Note-se que todos os valores de volume de líquido medidos se encontram dentro dos limites inferior (194 mL) e superior (206 mL) estabelecidos. Quer isto dizer, que a redução de peso da garrafa SB20, como seria de esperar, não provocou alterações no volume de líquido do produto acabado.



**Figura 38:** Representação gráfica do volume líquido das garrafas SB20 aligeiradas e atuais analisadas. O gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes, indicando o limite inferior estabelecido (LIE) e o limite superior estabelecido (LSE).

No que diz respeito aos três parâmetros de resistência medidos (Tabela 13), a garrafa SB20 aligeirada demonstrou resultados bastante positivos. Obteve-se uma média de resistência à pressão interna para a garrafa aligeirada de  $31,7 \pm 7,8$  kgf/cm<sup>2</sup>, que é próximo do valor obtido para a garrafa atual ( $33,8 \pm 7,6$  kgf/cm<sup>2</sup>) e muito superior ao valor mínimo

admitido ( $\geq 10 \text{ kgf/cm}^2$ ). Quanto ao impacto, a garrafa aligeirada resistiu até uma força média de  $136 \pm 21 \text{ cm/s}$  na zona de contacto superior e de  $150 \pm 31 \text{ cm/s}$  na zona de contacto inferior, o que apesar de ter sido inferior à garrafa atual, que resistiu até uma força média de  $176 \pm 35 \text{ cm/s}$  na zona de contacto superior e de  $165 \pm 33 \text{ cm/s}$  na zona de contacto inferior, são valores superiores ao mínimo estipulado ( $\geq 90 \text{ cm/s}$ ). Era esperado que o impacto das garrafas aligeiradas fosse inferior ao das garrafas atuais, na medida em que a menor espessura em determinadas zonas afeta a sua resistência mecânica. Por fim, nas garrafas aligeiradas sujeitas a um teste de resistência ao choque térmico, com uma variação de temperatura de aproximadamente  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , não se registou nenhuma quebra, tal como se verificou também nas garrafas atuais. Assim sendo, considera-se que as garrafas SB20 aligeiradas medidas demonstraram uma excelente resistência mecânica, evidenciando não existir uma influência significativa da redução de peso de  $5 \text{ g}$  na sua resistência.

**Tabela 13:** Valores obtidos na determinação da resistência, das garrafas SB20 aligeiradas e atuais, à pressão interna, ao impacto e ao choque térmico. ZCS - Zona de contacto superior, ZCI - Zona de contacto inferior.

| Parâmetros de resistência mecânica | Garrafa SB20 aligeirada               |                           |     |                | Garrafa SB20 atual                    |                           |     |                |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----|----------------|---------------------------------------|---------------------------|-----|----------------|
|                                    | Pressão interna ( $\text{kgf/cm}^2$ ) | Impacto ( $\text{cm/s}$ ) |     | Choque térmico | Pressão interna ( $\text{kgf/cm}^2$ ) | Impacto ( $\text{cm/s}$ ) |     | Choque térmico |
|                                    |                                       | ZCS                       | ZCI |                |                                       | ZCS                       | ZCI |                |
| Média                              | 31,7                                  | 136                       | 150 | 0 quebras      | 33,8                                  | 176                       | 165 | 0 quebras      |
| Desvio padrão                      | 7,8                                   | 21                        | 31  | -              | 7,6                                   | 35                        | 33  | -              |
| Máximo                             | 40,0                                  | 180                       | 200 | -              | 40,0                                  | 240                       | 240 | -              |
| Mínimo                             | 18,8                                  | 100                       | 120 | -              | 17,5                                  | 120                       | 120 | -              |
| Número de amostras                 | 20                                    | 20                        |     | 24             | 20                                    | 20                        |     | 24             |
| Tolerância                         | $\geq 10$                             | $\geq 90$                 |     | 0 quebras      | $\geq 10$                             | $\geq 90$                 |     | 0 quebras      |

## 2. Garrafa P25 aligeirada versus garrafa P25 atual da BA

### 2.1. Análise do comportamento da garrafa P25 aligeirada nos ensaios industriais

À semelhança do que aconteceu com a garrafa SB20, os mesmos parâmetros foram analisados durante os ensaios industriais de enchimento realizados com a garrafa P25. Este tipo de vasilhame apresenta duas cores distintas, verde e branco, que são produzidas em unidades fabris diferentes, pertencentes à vidreira BA. Por isso, dado as variações que podem existir durante o processo de produção de uma embalagem em fábricas diferentes, considerou-se pertinente a realização de ensaios e medições para as duas garrafas. Efetuou-se dois ensaios industriais para cada uma das garrafas, onde se avaliaram os parâmetros descritos na Tabela 14.

**Tabela 14:** Parâmetros analisados e respectivos resultados obtidos durante os ensaios de enchimento da garrafa P25 aligeirada, verde e branca, da BA.

| Parâmetros analisados ao longo do enchimento | Resultados obtidos   |                       |                      |                       |
|----------------------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
|                                              | Garrafa P25 Verde    |                       | Garrafa P25 Branca   |                       |
|                                              | Linha 1<br>1/10/2018 | Linha 2<br>21/11/2018 | Linha 2<br>7/02/2019 | Linha 2<br>19/02/2019 |
| Rejeição de garrafas nos inspetores de vazio | OK                   | OK                    | OK                   | OK                    |
| Rebentamentos de garrafas na enchedora e     | OK                   | OK                    | OK                   | OK                    |
| TEI (Tempo de embalagem impróprio)           | OK                   | OK                    | OK                   | OK                    |
| Desvios de capsulagem e rotulagem            | OK                   | OK                    | OK                   | OK                    |
| Funcionamento dos equipamentos               | OK                   | OK                    | OK                   | OK                    |
| Quebras de garrafas ao longo da linha        | OK                   | OK                    | OK                   | OK                    |

Todos os parâmetros avaliados estavam em conformidade com as especificações estipuladas e com os registos habituais da garrafa P25 atual. De salientar apenas que no início do ensaio com a garrafa P25 aligeirada verde, na linha 2, existiu a queda de algumas garrafas no transportador adjacente ao despaletizador. Essa queda sugeria um desalinhamento nas régua do equipamento, portanto foi requisitada a intervenção da equipa de manutenção, que prontamente melhorou o fluxo das garrafas.

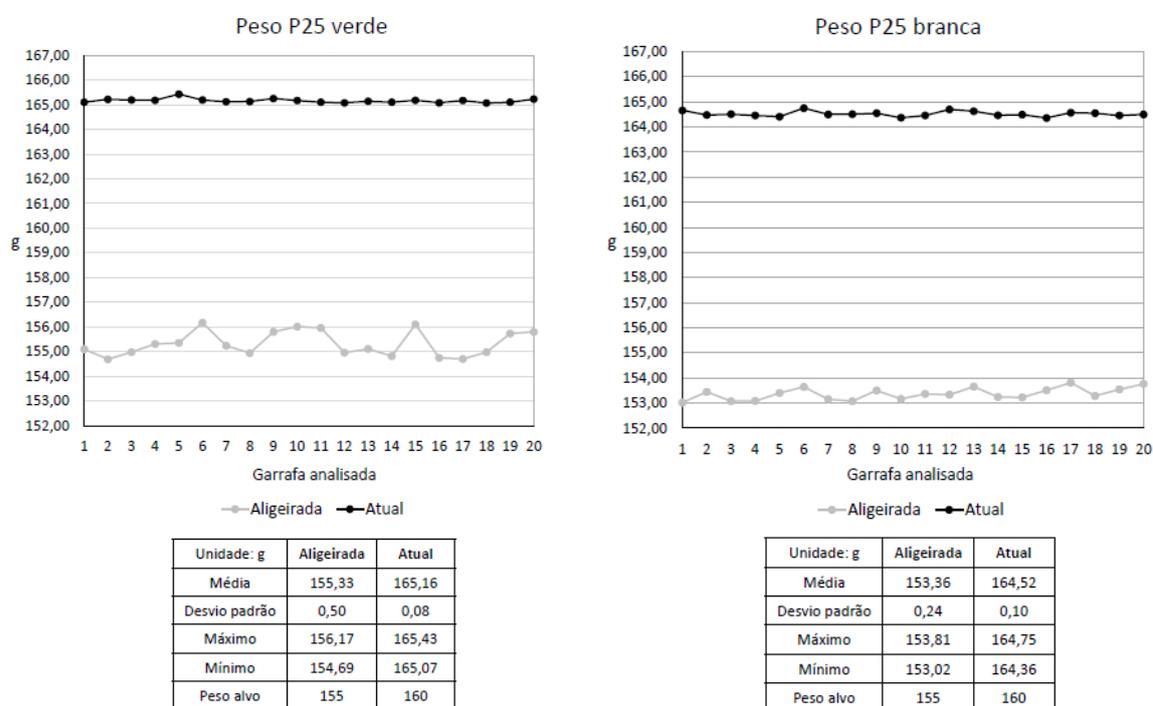
## 2.2. Análise do comportamento da garrafa P25 aligeirada nos ensaios de transporte

O produto acabado, constituído por garrafas P25 aligeiradas verdes, resultante do ensaio de enchimento do dia 1 de outubro de 2018 e o produto acabado, constituído por garrafas P25 aligeiradas brancas, resultante do ensaio de enchimento do dia 7 de fevereiro de 2019, foram sujeitos a ensaios de transporte. Não se detetaram garrafas partidas nem *packs* danificados nas paletes analisadas, ou seja, as garrafas P25 aligeiradas verdes e brancas demonstraram ser resistentes ao transporte.

## 2.3. Análise comparativa dos parâmetros dimensionais e de resistência mecânica da garrafa P25 aligeirada e atual

No final de cada ensaio industrial, foram recolhidas amostras de garrafas P25 aligeiradas e atuais após o despaletizador, para serem enviadas para o laboratório central da unidade de Leça do Balio, onde foi efetuado um conjunto de medições.

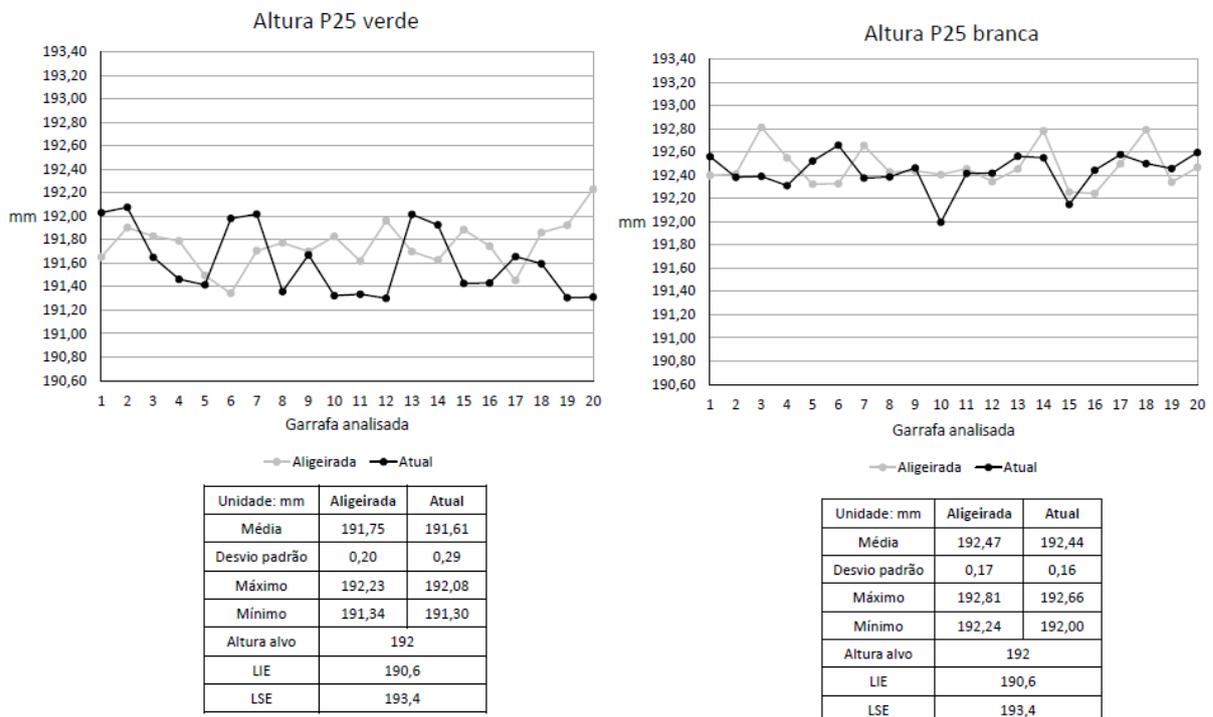
Primeiramente, as garrafas começaram por ser pesadas numa balança digital, tendo-se obtido os resultados apresentados na Figura 39.



**Figura 39:** Representações gráficas dos pesos das garrafas P25 aligeiradas verdes (à esquerda) e P25 aligeiradas brancas (à direita) analisadas. Cada gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes.

Quanto à garrafa P25 verde, verificou-se que o peso médio da garrafa aligeirada era de  $155,33 \pm 0,50$  g e o da garrafa atual era de  $165,16 \pm 0,08$  g. Já a garrafa P25 branca demonstrou um peso médio de  $153,36 \pm 0,24$  g para a garrafa aligeirada e de  $164,52 \pm 0,10$  g para a garrafa atual. Apesar de bastante próximos dos pesos alvo, isto é, aproximadamente 155 g para a garrafa aligeirada e 160 g para a garrafa atual, considera-se que o peso médio das garrafas atuais é cerca de 5 g superior ao peso especificado. Esta variação explica-se pelo desgaste dos moldes a partir dos quais as garrafas são produzidas, uma vez que ao longo do tempo os moldes vão perdendo espessura nas suas paredes, permitindo que uma maior quantidade de vidro fundido seja acomodada no seu interior e conseqüentemente haja a produção de garrafas com maior peso. Comparando as garrafas P25 verde com as garrafas P25 branca, constata-se que as diferenças de peso não são significativas, estando de acordo com o expectável.

De seguida, mediu-se a altura das garrafas P25, cujos resultados estão apresentados na Figura 40.



**Figura 40:** Representações gráficas das alturas das garrafas P25 aligeiradas verdes (à esquerda) e P25 aligeiradas brancas (à direita) analisadas. Cada gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes, indicando o limite inferior estabelecido (LIE) e o limite superior estabelecido (LSE).

A garrafa P25 verde exibiu uma altura média de  $191,75 \pm 0,20$  mm para a garrafa aligeirada e de  $191,61 \pm 0,29$  mm para a garrafa atual. Em relação à garrafa P25 branca, esta apresentou uma altura média de  $192,47 \pm 0,17$  mm para a garrafa aligeirada e de  $192,44 \pm 0,16$  mm para a garrafa atual. A partir destes resultados é possível verificar que as alturas das garrafas aligeiradas, verdes e brancas, estão bastante próximas das alturas das garrafas atuais, encontrando-se também dentro dos limites inferior (190,6 mm) e superior (193,4 mm) estipulados. Para além disso, as diferenças de altura entre as garrafas P25 verde e P25 branca não são significativas.

Na Tabela 15 estão expressos os valores resultantes da determinação dos diâmetros externos, das espessuras e da distribuição do vidro, em duas zonas características das garrafas aligeiradas e atuais P25 verdes e brancas. De destacar que, contrariamente às garrafas P25 brancas, não foi possível medir as espessuras mínimas das garrafas P25 verdes, aligeiradas e atuais, através do modo gráfico do medidor de espessuras. Portanto, os valores apresentados correspondem à média dos valores determinados pelo modo numérico do espessímetro, nomeadamente quatro valores em redor da garrafa, para cada zona.

**Tabela 15:** Valores obtidos na determinação dos diâmetros externos, das espessuras e da distribuição do vidro nas garrafas P2, verdes e brancas, aligeiradas e atuais. As medições foram efetuadas em duas zonas de cada garrafa: ZCS (zona de contacto superior) e ZCI (zona de contacto inferior). Apresentam-se as médias, os desvios padrão, os valores máximos e mínimos medidos em cada zona, o número de amostras analisadas, os valores alvo e os limites inferior (LIE) e superior (LSE) estabelecidos.

| Parâmetros dimensionais | Garrafa P25 Verde |      |       |      | Garrafa P25 Branca |      |       |      |
|-------------------------|-------------------|------|-------|------|--------------------|------|-------|------|
|                         | Aligeirada        |      | Atual |      | Aligeirada         |      | Atual |      |
|                         | ZCS               | ZCI  | ZCS   | ZCI  | ZCS                | ZCI  | ZCS   | ZCI  |
| Diâmetros externos (mm) |                   |      |       |      |                    |      |       |      |
| Média                   | 58,2              | 58,0 | 58,3  | 58,3 | 58,2               | 57,8 | 57,7  | 58,0 |
| Desvio padrão           | 0,2               | 0,2  | 0,3   | 0,2  | 0,3                | 0,3  | 0,3   | 0,2  |
| Máximo                  | 58,6              | 58,3 | 58,8  | 58,8 | 58,8               | 58,4 | 58,4  | 58,4 |
| Mínimo                  | 57,9              | 57,6 | 57,4  | 57,9 | 57,7               | 57,4 | 57,3  | 57,6 |
| Número de amostras      | 20                |      | 20    |      | 20                 |      | 20    |      |
| Alvo                    | 58,0              |      |       |      |                    |      |       |      |
| LIE                     | 56,8              |      |       |      |                    |      |       |      |
| LSE                     | 59,2              |      |       |      |                    |      |       |      |
| Espessuras (mm)         |                   |      |       |      |                    |      |       |      |
| Média                   | 1,9               | 2,0  | 2,1   | 2,1  | 1,6                | 1,6  | 1,8   | 1,6  |
| Desvio padrão           | 0,1               | 0,1  | 0,2   | 0,1  | 0,2                | 0,2  | 0,2   | 0,3  |
| Máximo                  | 2,0               | 2,2  | 2,6   | 2,4  | 1,9                | 1,9  | 2,6   | 2,3  |
| Mínimo                  | 1,8               | 1,9  | 1,8   | 1,8  | 1,1                | 1,2  | 1,5   | 1,2  |
| Número de amostras      | 20                |      | 20    |      | 20                 |      | 20    |      |
| Tolerância              | ≥1                |      |       |      |                    |      |       |      |
| Distribuição do vidro   |                   |      |       |      |                    |      |       |      |
| Média                   | -                 | -    | -     | -    | 1,4                | 1,6  | 1,4   | 1,6  |
| Desvio padrão           | -                 | -    | -     | -    | 0,2                | 0,4  | 0,1   | 0,3  |
| Alvo                    | Até 1,8           |      |       |      |                    |      |       |      |

As especificações técnicas da BA definiram que os diâmetros externos das garrafas P25 não seriam alterados com a redução de peso. Nesse sentido, verificou-se que não existia uma diferença significativa entre os diâmetros externos das garrafas aligeiradas e atuais, quer nas P25 verdes, quer nas P25 brancas. Apesar disso, o intervalo de variação correspondeu a [0,1-0,5] mm, que pode ser devido a desajustes nos moldes, variações ao longo do processo de produção ou erros inerentes ao método de medição. Comparando as garrafas P25 verdes com as garrafas P25 brancas não se detetaram variações consideráveis e todos os valores de

diâmetro medidos estão dentro dos limites inferior (56,8 mm) e superior (59,2 mm) estipulados para estas zonas.

Em relação às espessuras das paredes das garrafas, observou-se que a maioria das garrafas P25 aligeiradas, verdes e brancas, apresentaram uma espessura média inferior à das garrafas atuais. Mesmo que esta verificação esteja de acordo com o esperado, não se pode efetivamente concluir que foi nas zonas medidas, ZCS e ZCI, que ocorreu uma redução de espessura. Era necessário realizar uma determinação mais exaustiva em inúmeras zonas das paredes e o número de garrafas analisadas deveria ter sido superior, de forma a tornar mais significativa a diferença entre as espessuras das garrafas aligeiradas e atuais. Contudo, todos os valores de espessura determinados mostraram estar de acordo com a especificação estipulada, isto é, todas as zonas registaram uma espessura superior a 1 mm. Não foi possível estabelecer uma comparação entre as espessuras das garrafas P25 verdes e P25 brancas, uma vez que os métodos de medição usados foram distintos.

Adicionalmente, foi ainda calculada a distribuição média do vidro nas zonas medidas nas garrafas P25 brancas. O mesmo não foi aplicado às garrafas P25 verdes pois o método de determinação usado não permitiu obter os valores mínimos e máximos de espessura, requeridos para o cálculo da distribuição do vidro. De qualquer modo, os resultados obtidos revelaram que as garrafas P25 brancas, aligeiradas e atuais, demonstraram uma distribuição do vidro adequada, dado os valores similares e menores que 1,8, tal como está especificado.

Quanto à análise dos parâmetros de resistência, obteve-se os valores apresentados na Tabela 16. As garrafas aligeiradas P25 verdes e brancas apresentaram valores médios de resistência à pressão interna de cerca de  $34,9 \pm 5,9$  kgf/cm<sup>2</sup> e  $31,9 \pm 5,9$  kgf/cm<sup>2</sup>, respetivamente. Estes valores são muitos superiores ao valor mínimo admitido ( $\geq 10$  kgf/cm<sup>2</sup>) e próximos dos obtidos para as garrafas atuais ( $30,0 \pm 6,9$  kgf/cm<sup>2</sup> para a garrafa P25 verde e  $32,7 \pm 6,3$  kgf/cm<sup>2</sup> para a garrafa P25 branca). Relativamente à resistência ao impacto, apenas foi possível ter acesso aos valores da garrafa P25 verde, tendo-se verificado que as garrafas aligeiradas conseguiram resistir até uma força média de  $180 \pm 34$  cm/s na ZCS e  $134 \pm 28$  cm/s na ZCI. Já as garrafas atuais, como seria de esperar suportaram uma força um pouco superior, de  $207 \pm 32$  cm/s na ZCS e  $178 \pm 24$  cm/s na ZCI. Em ambos os casos, a tolerância mínima de resistência ao impacto ( $\geq 90$  cm/s) foi ultrapassada. Por fim, em nenhum dos testes de choque térmico a que as várias garrafas foram submetidas se verificou a sua quebra. Deste modo, é possível concluir que as garrafas P25 aligeiradas, apesar de

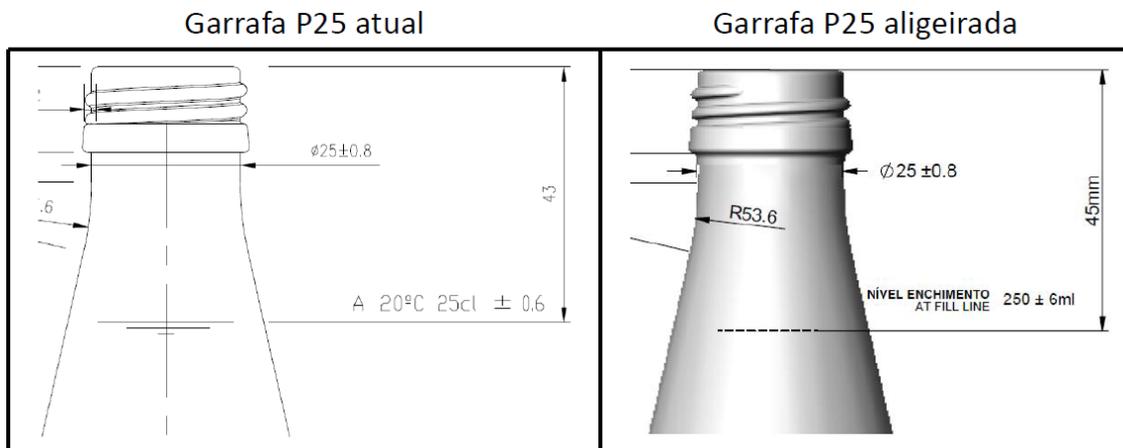
conterem uma quantidade menor de vidro, apresentam uma boa resistência mecânica, equivalente à das garrafas atuais.

**Tabela 16:** Valores obtidos na determinação da resistência, das garrafas P25 aligeiradas e atuais, à pressão interna, ao impacto e ao choque térmico. ZCS - Zona de contacto superior, ZCI - Zona de contacto inferior.

| Parâmetros de resistência mecânica | Garrafa aligeirada                     |                |     |                | Garrafa atual                          |                |     |                |
|------------------------------------|----------------------------------------|----------------|-----|----------------|----------------------------------------|----------------|-----|----------------|
|                                    | Pressão interna (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Impacto (cm/s) |     | Choque térmico | Pressão interna (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | Impacto (cm/s) |     | Choque térmico |
|                                    |                                        | ZCS            | ZCI |                |                                        | ZCS            | ZCI |                |
| Garrafa P25 verde                  |                                        |                |     |                |                                        |                |     |                |
| Média                              | 34,9                                   | 180            | 134 | 0 quebras      | 30,0                                   | 207            | 178 | 0 quebras      |
| Desvio padrão                      | 5,9                                    | 34             | 28  | -              | 6,9                                    | 32             | 24  | -              |
| Máximo                             | 40,0                                   | 240            | 180 | -              | 40,0                                   | 240            | 220 | -              |
| Mínimo                             | 22,4                                   | 120            | 100 | -              | 16,8                                   | 140            | 140 | -              |
| Número de amostras                 | 20                                     | 20             |     | 24             | 20                                     | 20             |     | 24             |
| Tolerância                         | ≥10                                    | ≥90            |     | 0 quebras      | ≥10                                    | ≥90            |     | 0 quebras      |
| Garrafa P25 branca                 |                                        |                |     |                |                                        |                |     |                |
| Média                              | 31,9                                   | -              | -   | 0 quebras      | 32,7                                   | -              | -   | 0 quebras      |
| Desvio padrão                      | 5,9                                    | -              | -   | -              | 6,3                                    | -              | -   | -              |
| Máximo                             | 40,0                                   | -              | -   | -              | 40,0                                   | -              | -   | -              |
| Mínimo                             | 22,3                                   | -              | -   | -              | 21,2                                   | -              | -   | -              |
| Número de amostras                 | 20                                     | 20             |     | 24             | 20                                     | 20             |     | 24             |
| Tolerância                         | ≥10                                    | ≥90            |     | 0 quebras      | ≥10                                    | ≥90            |     | 0 quebras      |

No caso das garrafas P25 foram também realizadas outras medições, mais relacionadas com o enchimento de produto. Isso aconteceu porque, para além das alterações no peso e nas espessuras da garrafa, ocorreram modificações no nível de enchimento. O nível de enchimento corresponde à altura desde o topo da marisa da garrafa até à interface de líquido contido no seu interior (Figura 41). Nas enchedoras existem cânulas de enchimento cujo funcionamento tem por base a introdução de produto no interior da garrafa até uma altura pré-definida, sendo no caso da garrafa P25 atual cerca de 43 mm. Este valor foi assim definido pois é o que permite o enchimento do volume de líquido especificado, ou seja, 25 cL. No entanto, a redução de peso da garrafa, conseguida pela diminuição de espessuras em certas zonas, provocou um aumento no nível de enchimento, passando este a ser de 45 mm,

para o mesmo volume de produto. Isto explica-se pelo facto de a diminuição de espessuras em certas zonas dar mais espaço à acomodação do líquido no interior da garrafa, aumentando a distância entre o topo da marisa e a interface do líquido. Apesar de se ter conhecimento desta situação e dado que ainda se estava em fase de testes, não se procedeu à atualização das cânulas de enchimento, de forma a colmatar esta diferença. Portanto, era expectável que as garrafas aligeiradas testadas apresentassem um volume de líquido e uma capacidade total superiores ao das garrafas atuais. Como o espaço de cabeça é um parâmetro importante nas bebidas gasocarbónicas e pode sofrer alterações devido ao nível de enchimento, este também foi avaliado.



**Figura 41:** Esquema representativo do nível de enchimento numa garrafa de P25 aligeirada e atual. Adaptado de referência (45).

Na Tabela 17 apresentam-se os valores obtidos na determinação do volume de líquido, da capacidade total e do espaço de cabeça das garrafas P25 aligeiradas e atuais, verdes e brancas.

**Tabela 17:** Valores obtidos na determinação de alguns parâmetros de enchimento das garrafas P25 aligeiradas e atuais, verdes e brancas: volume de líquido, capacidade total e espaço de cabeça. São também indicados os limites inferior (LIE) e superior (LSE) estabelecidos para cada parâmetro.

| Outros parâmetros de enchimento | Garrafa aligeirada     |                       |                      | Garrafa atual          |                       |                      |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
|                                 | Volume de líquido (mL) | Capacidade total (mL) | Espaço de cabeça (%) | Volume de líquido (mL) | Capacidade total (mL) | Espaço de cabeça (%) |
| <b>Garrafa P25 verde</b>        |                        |                       |                      |                        |                       |                      |
| Média                           | 257,50                 | 267,83                | 3,86                 | 255,53                 | 265,20                | 3,65                 |
| Desvio padrão                   | 1,11                   | 0,54                  | 0,44                 | 1,36                   | 0,91                  | 0,55                 |
| Máximo                          | 259,26                 | 268,92                | 4,86                 | 257,66                 | 267,01                | 4,80                 |
| Mínimo                          | 254,91                 | 266,80                | 3,16                 | 252,71                 | 263,24                | 2,77                 |
| Número de amostras              | 24                     |                       |                      | 24                     |                       |                      |
| Alvo                            | 250                    | 267                   | 6,4                  | 250                    | 265                   | 5,66                 |
| LIE                             | 244                    | 261                   | -                    | 244                    | 259                   | -                    |
| LSE                             | 256                    | 273                   | -                    | 256                    | 271                   | -                    |
| <b>Garrafa P25 branca</b>       |                        |                       |                      |                        |                       |                      |
| Média                           | 257,35                 | 268,96                | 4,32                 | 254,10                 | 266,70                | 4,72                 |
| Desvio padrão                   | 1,17                   | 0,51                  | 0,40                 | 0,86                   | 0,49                  | 0,35                 |
| Máximo                          | 259,61                 | 270,12                | 4,99                 | 256,52                 | 267,47                | 5,39                 |
| Mínimo                          | 255,45                 | 268,18                | 3,48                 | 252,80                 | 265,66                | 3,69                 |
| Número de amostras              | 24                     |                       |                      | 24                     |                       |                      |
| Alvo                            | 250                    | 267                   | 6,4                  | 250                    | 265                   | 5,66                 |
| LIE                             | 244                    | 261                   | -                    | 244                    | 259                   | -                    |
| LSE                             | 256                    | 273                   | -                    | 256                    | 271                   | -                    |

Verificou-se que o volume de líquido médio registado para a garrafa P25 verde aligeirada foi de  $257,50 \pm 1,11$  mL, ao passo que para a garrafa atual obteve-se  $255,53 \pm 1,36$  mL. Já na garrafa P25 branca, observou-se um volume de líquido médio de  $257,35 \pm 1,17$  mL para a garrafa aligeirada e de  $254,10 \pm 0,86$  mL para a garrafa atual. Estes valores encontram-se de acordo com o esperado, uma vez que as garrafas aligeiradas apresentam um volume de líquido cerca de 2 a 3 mL superior ao das garrafas atuais. Embora os volumes de líquido médios das garrafas aligeiradas ultrapassem o limite superior estabelecido, isto é, 256 mL, não se considera esta ocorrência motivo de preocupação para a estabilidade da embalagem

que garante a segurança do consumidor. Foi verificado que paralelamente ao aumento do volume de líquido, também se verificou um aumento da capacidade do vasilhame. Todavia, com a aprovação da nova garrafa P25 aligeirada, o SBG pretende proceder à substituição das cânulas de enchimento nas linhas da unidade de Pedras Salgadas, de modo a reduzir o volume de líquido para os 250 mL, evitando assim custos adicionais. De referir ainda que todos os volumes de líquido medidos se encontram acima do valor alvo (250 mL), estando em congruência com as normas legais.

Como já foi dito também era esperado um aumento da capacidade total da garrafa P25 aligeirada face à atual, o que se confirmou pois a garrafa P25 verde revelou uma capacidade total média de  $267,83 \pm 0,54$  mL na aligeirada e de  $265,20 \pm 0,91$  mL na atual, enquanto a garrafa P25 branca demonstrou uma capacidade total média de  $268,96 \pm 0,51$  mL na aligeirada e  $266,70 \pm 0,49$  mL na atual. Proporcionalmente ao volume de líquido, a capacidade total evidenciou um aumento de 2 a 3 mL nas garrafas aligeiradas em comparação com as garrafas atuais. Todos os valores de capacidade total medidos encontram-se dentro dos intervalos de especificação previamente definidos.

O espaço de cabeça, que corresponde ao espaço vazio existente entre o topo da embalagem e o líquido no seu interior, é um parâmetro muito importante, principalmente nas bebidas gasocarbónicas, pois vai influenciar a resistência de uma garrafa à pressão interna. Assim, o espaço de cabeça médio determinado na garrafa P25 verde aligeirada foi de  $3,86 \pm 0,44$  % e na garrafa atual foi de  $3,65 \pm 0,55$  %. Na garrafa P25 branca aligeirada, o espaço de cabeça médio foi de  $4,32 \pm 0,40$  % e na garrafa atual foi de  $4,72 \pm 0,35$  %. Tal como se pode perceber não existem diferenças significativas entre o espaço de cabeça da garrafa aligeirada e o da atual, tanto na garrafa P25 verde como branca. Quer isto dizer que o aumento de volume de líquido é compensado pelo aumento de capacidade total, na garrafa aligeirada, não constituindo assim uma potencial causa de quebra da garrafa por excessiva pressão interna. As garrafas P25 brancas apresentaram um espaço de cabeça superior às garrafas P25 verdes, o que provavelmente resulta das variações que existem entre as linhas testadas. Por último, verificou-se que o espaço de cabeça das garrafas aligeiradas e das garrafas atuais medidas era inferior ao valor recomendado pelas industriais vidreiras (6,4 %). Apesar desta diferença não representar um motivo de preocupação, dado que não se têm verificado quebras por pressão interna nas linhas do SBG, pretende-se no futuro corrigir este fator através da substituição das cânulas de enchimento.

### 3. Garrafa P25 aligeirada da Vidrala

#### 3.1. Análise do comportamento da garrafa P25 aligeirada nos ensaios industriais

Foram realizados dois ensaios industriais, ambos na linha 1 da unidade de Pedras Salgadas, com a garrafa P25 aligeirada produzida pela Vidrala. Nestes ensaios foram analisados certos parâmetros de enchimento, que estão evidenciados na Tabela 18.

No primeiro ensaio, todos os parâmetros avaliados mostraram-se conforme as especificações estipuladas e os registos habituais da garrafa P25 atual. Porém, observou-se que nos transportadores, entre o despaletizador e a enchedora, existiu uma queda acentuada de garrafas, principalmente nas zonas curvas e de maior acumulação de garrafas. Este comportamento sugeria um elevado atrito entre as embalagens, provocado pelo insuficiente tratamento de superfície a frio. O tratamento de superfície a frio é o último tratamento a ser aplicado na garrafa aquando da sua produção e tem como objetivo conferir lubricidade, evitando que o vidro fique riscado pelo contacto com outras garrafas ou equipamentos e facilitando o seu fluxo ao longo da linha (15).

A lubricidade de uma garrafa é proporcional à quantidade de tratamento de superfície a frio que esta possui, sendo normalmente determinada através um teste específico. Este teste engloba a disposição de três garrafas, em configuração piramidal, numa mesa de inclinação, tal como está representado na Figura 42. Assim que o equipamento é acionado o ângulo de inclinação da mesa aumenta gradualmente, até este ser capaz de superar as forças de atrito entre as garrafas, provocando o deslize da garrafa no topo (46). Está especificado que o ângulo de inclinação de uma garrafa deve estar compreendido entre 10 a 20°. No entanto, existem outros fatores igualmente importantes para a lubricidade de uma garrafa, como a temperatura de aplicação do tratamento, que influencia a sua adesão à garrafa e a distribuição da aplicação, devendo existir pequenos pontos na garrafa sem tratamento de modo a garantir o atrito da mesma.



**Figura 42:** Imagem representativa de uma mesa de inclinação utilizada para determinar a lubrificidade de uma garrafa. Retirado de referência (46).

A garrafa P25 aligeirada da Vidrala, utilizada no primeiro ensaio industrial apresentava um ângulo de inclinação de cerca de  $18,4^\circ$ . No entanto, este ângulo demonstrou uma quantidade de tratamento de superfície a frio insuficiente, que levou ao atrito entre as garrafas e as calhas dos transportadores, provando a queda de garrafas e interrupções na linha. Além disso, verificou-se também que a recartilha no fundo das garrafas era estreita e pouco vincada, o que pode também ter influenciado a estabilidade da garrafa aligeirada.

Por estas razões decidiu-se proceder a uma nova produção de garrafas P25 aligeiradas da Vidrala com duas modificações, um ângulo de inclinação menor ( $13^\circ$ ), isto é, garrafas com mais tratamento de superfície a frio e com estrias na zona da recartilha mais extensas e salientes. A Figura 43 demonstra as diferenças na zona da recartilha entre as garrafas P25 aligeiradas obtidas na primeira e na segunda produção.



**Figura 43:** Imagem representativa das zonas de recartilha das garrafas P25 aligeiradas da primeira produção (à direita) e da segunda produção (à esquerda).

No segundo ensaio realizado com este tipo de garrafa foram avaliados os mesmos parâmetros que no primeiro ensaio, que estão expressos na Tabela 18 e cujos resultados foram positivos.

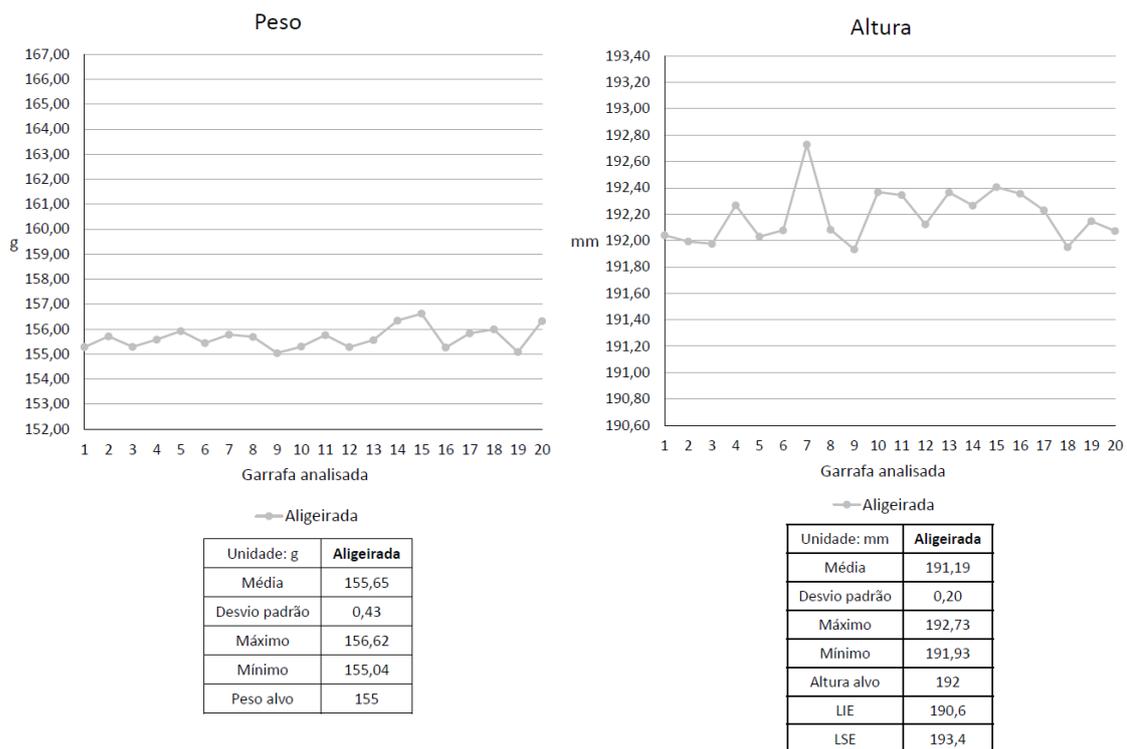
**Tabela 18:** Parâmetros analisados e respectivos resultados obtidos, durante os ensaios de enchimento da garrafa P25 aligeirada verde, produzida pela Vidrala.

| Parâmetros analisados ao longo do enchimento         | Resultados obtidos    |                      |
|------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|
|                                                      | Garrafa P25 Verde     |                      |
|                                                      | Linha 1<br>19/03/2019 | Linha 1<br>1/04/2019 |
| Rejeição de garrafas nos inspetores de vazio         | OK                    | OK                   |
| Rebentamentos de garrafas na enchedora e capsuladora | OK                    | OK                   |
| TEI (Tempo de embalagem impróprio)                   | OK                    | OK                   |
| Desvios de capsulagem e rotulagem                    | OK                    | OK                   |
| Funcionamento dos equipamentos                       | OK                    | OK                   |
| Quebras de garrafas ao longo da linha                | NOK                   | OK                   |

### 3.2. Análise dos parâmetros dimensionais e de resistência mecânica da garrafa P25 aligeirada

As garrafas P25 aligeiradas produzidas pela Vidrala também foram sujeitas a medições dimensionais e de resistência mecânica, já que o mesmo tipo de vasilhame produzido por empresas vidreiras distintas pode apresentar algumas diferenças. Neste caso, não foi possível ter acesso às garrafas P25 atuais da Vidrala, por isso não existem resultados nem discussão relativos a essas garrafas.

A Figura 44 apresenta os resultados obtidos relativamente ao peso e à altura das garrafas P25 aligeiradas. Obteve-se um peso médio de  $155,65 \pm 0,43$  g e uma altura média de  $191,19 \pm 0,20$  mm. Estes valores encontram-se bastante próximos dos valores alvo, ou seja, 155 g e 192 mm, sendo que as alturas medidas se encontram também dentro dos limites inferior (190,6) e superior (193,4) estipulados. Comparando estes valores com os obtidos nas garrafas P25 aligeiradas produzidas pela BA, conclui-se que tanto o peso como a altura demonstram elevada similaridade.



**Figura 44:** Representações gráficas do peso (à esquerda) e da altura (à direita) das garrafas P25 aligeiradas analisadas. Cada gráfico é acompanhado por uma tabela de dados estatísticos relevantes, sendo que na tabela relativa à altura são indicados os limites inferior (LIE) e superior (LSE) estabelecidos.

Relativamente aos diâmetros externos e às espessuras, os valores determinados estão expressos na Tabela 18. Obteve-se um diâmetro médio de  $57,3 \pm 0,1$  mm na ZCS e de  $57,9 \pm 0,2$  mm na ZCI. Apesar destes diâmetros estarem dentro dos limites inferior (56,8 mm) e superior (59,2 mm) estabelecidos, verificou-se uma ligeira diferença entre o diâmetro nas duas zonas, ZCS e ZCI, de cerca de 0,6 mm, que pode ser devida a erros de medição e/ou desajustes no molde de produção. Comparativamente às garrafas do mesmo modelo produzidas pela BA, detetou-se uma variação significativa nos diâmetros médios da ZCS, existindo uma variação de cerca de 0,9 mm entre as garrafas produzidas pelas duas empresas vidreiras. As unidades fabris distintas, com pequenas variações ao longo da linha de produção e com moldes diversos, pode estar na base desta ocorrência.

Por outro lado, registaram-se espessuras mínimas médias de  $1,4 \pm 0,1$  mm na ZCS e  $1,6 \pm 0,2$  mm na ZCI. Estes valores são superiores a 1 mm de espessura, que é o valor mínimo admitido nas zonas de contacto. Não é possível estabelecer uma comparação da espessura

destas garrafas com as produzidas pela BA, uma vez que nestas últimas foi aplicado o método de medição numérico, ao invés do modo gráfico.

**Tabela 19:** Valores obtidos na determinação dos diâmetros externos, das espessuras e da distribuição do vidro da garrafa P25 aligeirada verde. As medições foram efetuadas em duas zonas de cada garrafa: ZCS (zona de contacto superior) e ZCI (zona de contacto inferior). Apresentam-se as médias, os desvios padrão, os valores máximos e mínimos medidos em cada zona, o número de amostras analisadas, os valores alvo e os limites inferior (LIE) e superior (LSE) estabelecidos.

| Parâmetros dimensionais | Garrafa P25 verde aligeirada |      |                 |     |                       |     |
|-------------------------|------------------------------|------|-----------------|-----|-----------------------|-----|
|                         | ZCS                          | ZCI  | ZCS             | ZCI | ZCS                   | ZCI |
|                         | Diâmetros externos (mm)      |      | Espessuras (mm) |     | Distribuição do vidro |     |
| Média                   | 57,3                         | 57,9 | 1,4             | 1,6 | 1,5                   | 1,6 |
| Desvio padrão           | 0,1                          | 0,2  | 0,1             | 0,2 | 0,1                   | 0,3 |
| Máximo                  | 57,4                         | 58,3 | 1,6             | 1,9 | -                     | -   |
| Mínimo                  | 57,1                         | 57,5 | 1,3             | 1,3 | -                     | -   |
| Número de amostras      | 20                           |      | 20              |     | 20                    |     |
| Alvo                    | 58,0                         |      | ≥1              |     | Até 1,8               |     |
| LIE                     | 56,8                         |      |                 |     | -                     | -   |
| LSE                     | 59,2                         |      |                 |     | -                     | -   |

À semelhança do que foi realizado com as outras garrafas testadas, a resistência à pressão interna e ao choque térmico também foram avaliados, cujos resultados estão descritos na Tabela 19. A garrafa P25 aligeirada da Vidrala indicou uma resistência média à pressão interna de  $27,1 \pm 6,0$  kgf/cm<sup>2</sup> e não foram registadas quebras aquando do teste de choque térmico. Estes resultados estão de acordo com o expectável, embora no caso da resistência à pressão interna, a média destas garrafas seja ligeiramente inferior à média obtida para as garrafas P25 da BA ( $34,9 \pm 5,9$  kgf/cm<sup>2</sup> para a garrafa verde e  $31,9 \pm 5,9$  kgf/cm<sup>2</sup> para a garrafa branca). Esta situação pode ser explicada pela maior intensidade e frequência de impactos que as garrafas da Vidrala possam ter sido sujeitas antes da realização do teste, gerando um maior número de microfissuras e conseqüentemente diminuindo a sua resistência à pressão interna. Ressalva-se que não foram facultados resultados dos testes de resistência ao impacto executados pela Vidrala, por isso estes não são apresentados nem discutidos nesta dissertação.

**Tabela 20:** Valores obtidos na determinação da resistência, das garrafas P25 aligeiradas, à pressão interna e ao choque térmico.

| Parâmetros de resistência mecânica | Garrafa P25 verde aligeirada           |                |
|------------------------------------|----------------------------------------|----------------|
|                                    | Pressão interna (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Choque térmico |
| Média                              | 27,1                                   | 0 quebras      |
| Desvio padrão                      | 6,0                                    | -              |
| Máximo                             | 37,0                                   | -              |
| Mínimo                             | 17,7                                   | -              |
| Número de amostras                 | 20                                     | 24             |
| Tolerância                         | ≥10                                    | 0 quebras      |

Por fim, a Tabela 20 exprime os resultados obtidos na determinação de alguns parâmetros de enchimento. O volume de líquido, a capacidade total e o espaço de cabeça apresentam valores médios de cerca de  $256,22 \pm 1,70$  mL,  $264,77 \pm 1,03$  mL e  $3,23 \pm 0,47\%$ , respectivamente. Os três valores referidos são inferiores aos obtidos para as garrafas P25 aligeiradas, verdes e brancas, da BA, o que evidencia que a garrafa da Vidrala tem uma capacidade total menor, cerca de 3 ou 4 mL, o que tem impacto direto no volume de líquido acondicionado no interior da garrafa e na percentagem de espaço de cabeça. Salvo a percentagem de espaço de cabeça, que apresenta um valor cerca de 2 vezes inferior ao valor recomendado, os outros parâmetros analisados, estão em conformidade com os limites inferior e superior estabelecidos.

**Tabela 21:** Valores obtidos na determinação de parâmetros de enchimento das garrafas P25 aligeiradas: volume de líquido, capacidade total e espaço de cabeça.

| Outros parâmetros de enchimento | Garrafa P25 verde aligeirada |                       |                      |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|
|                                 | Volume de líquido (mL)       | Capacidade total (mL) | Espaço de cabeça (%) |
| Média                           | 256,22                       | 264,77                | 3,23                 |
| Desvio padrão                   | 1,70                         | 1,03                  | 0,47                 |
| Máximo                          | 258,67                       | 266,67                | 4,75                 |
| Mínimo                          | 252,56                       | 261,76                | 2,56                 |
| Número de amostras              | 24                           |                       |                      |
| Alvo                            | 250                          | 267                   | 6,8                  |
| LIE                             | 244                          | 261                   | -                    |
| LSE                             | 256                          | 273                   | -                    |

#### 4. Impacto ambiental da redução de peso das garrafas em estudo

Tal como foi explicado no capítulo III: Metodologias desenvolvidas, pretendeu-se avaliar o impacto que a redução de 5 g no peso das garrafas de vidro de SB20 e P25 teria no meio ambiente, relativamente ao consumo energético e à emissão de CO<sub>2</sub>. Para isso considerou-se as seguintes informações:

- Será necessário produzir 74 milhões de garrafas P25 verde, 26 milhões de garrafas P25 branca e 255 milhões de garrafas SB20, de modo a cumprir com as encomendas exigidas pelos clientes do SBG em 2019.
- Nos primeiros quatro meses de 2019, verificou-se um consumo energético de 908 kcal por tonelada de vidro fundido e uma emissão de 0,29 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de vidro fundido. Projetou-se os mesmos rácios para os restantes meses de 2019.

Recorrendo às fórmulas enunciadas no final do capítulo III: Metodologias desenvolvidas e a partir das considerações anteriores, obteve-se os seguintes resultados:

- Redução de 3,35% de kcal consumidas/ tonelada de vidro fundido (consumo energético);
- Redução de 3,35% de toneladas CO<sub>2</sub> emitido/ tonelada de vidro fundido (emissão de CO<sub>2</sub>).

- Poupança de 1775 toneladas de vidro produzido em 2019, com a implementação das garrafas aligeiradas SB20 e P25.

Estes resultados demonstram os efeitos ambientais positivos que a redução de peso em garrafas de vidro pode gerar, reduzindo o impacto ambiental que a produção destes produtos acarreta. Os valores obtidos estão em conformidade com a percentagem de redução de vidro a que cada garrafa foi sujeita, correspondendo a 3% do peso total das garrafas atuais.

## **5. Atualização do caderno de encargos**

O caderno de encargos do SBG é um documento que contém um conjunto de orientações, obrigações e condições técnicas que os fornecedores das garrafas de vidro devem seguir durante o processo produtivo e de transporte das embalagens até ao cliente. Dado que este caderno não era devidamente atualizado há algum tempo e como foram sendo efetuadas alterações nas garrafas SB20 e P25, nomeadamente em relação ao seu peso, achou-se pertinente a revisão e melhoramento do mesmo. Foram modificados temas que englobam as especificações técnicas do material, desde parâmetros dimensionais, de resistência e de tratamento de superfície. O documento atualizado encontra-se em análise para posterior aprovação pelo departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança do SBG.

## **6. Elaboração de instrução de trabalho (IT) para aprovação de uma garrafa de vidro com redução de peso**

A ISO 9001 é um Sistema de Gestão de Qualidade (SGQ) concebido para as empresas melhorarem o seu desempenho, garantido a otimização dos seus processos e o desenvolvimento de produtos de elevada qualidade. Um dos documentos importantes da ISO 9001 é a instrução de trabalho (IT), que contém a descrição do modo correto de executar uma determinada atividade. Dado que não existia nenhuma IT no SBG para aprovação de uma garrafa sujeita a redução de peso, considerou-se relevante a sua elaboração. A versão atual desta referida IT pode ser consultada nos Anexos desta dissertação.

# **CAPÍTULO V**

## **CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS**

1. Conclusões
2. Trabalhos futuros



## 1. Conclusões

Nesta dissertação foi proposto analisar o impacto que a redução de peso em garrafas de vidro teria nas suas propriedades mecânicas, influenciando diretamente a performance das linhas de enchimento e do transporte do SBG. Decorrida a realização de ensaios industriais e de transporte, complementados com a determinação de alguns parâmetros dimensionais e de resistência mecânica, para ambos os tipos de vasilhame estudados, SB20 e P25, concluiu-se que os objetivos do projeto foram atingidos.

A garrafa SB20 aligeirada produzida pela BA demonstrou resultados positivos, quer nos ensaios industriais, quer nos ensaios de transporte. Apesar de nos dois primeiros ensaios industriais, nas linhas 5 e 2 da unidade de Leça do Balio, se terem verificado quebras no despaletizador superiores ao esperado, constatou-se que isso seria devido à repaletização no equipamento semi-automático, que originou paletes desalinhadas e potenciou a queda de garrafas nas linhas. Com a utilização de um paletizador automático no fornecedor, a queda de garrafas na linha, principalmente no despaletizador, diminuiu significativamente. Em relação aos parâmetros determinados, verificou-se que todas as especificações técnicas exigidas foram cumpridas. Deste modo, a garrafa SB20 aligeirada demonstrou que possui todas as características dimensionais e de resistência mecânica essenciais ao eficiente embalamento e distribuição de cerveja. No entanto, esta garrafa ainda não foi aprovada oficialmente pelo SBG, uma vez que se aguarda a realização de mais ensaios de transporte, nomeadamente para o exigente mercado chinês. O transporte de produto acabado para a China apresenta vários desafios, devido sobretudo à duração do transporte e às variações de temperatura a que o produto é sujeito.

Do mesmo modo, a garrafa P25 aligeirada, verde e branca, produzida pela BA apresentou resultados favoráveis. Não se verificaram quebras anormais de garrafas nos ensaios industriais e de transporte e todos os parâmetros medidos estavam de acordo com os critérios estipulados. Assim sendo, esta garrafa já foi alvo de aprovação pelo SBG, estando a ser usada nas linhas de enchimento de Pedras Salgadas e encontra-se disponível no mercado, em substituição da garrafa P25 atual. O mesmo se verifica com a garrafa P25 verde aligeirada, fabricada pela Vidrala, que dado os resultados positivos em todos os parâmetros analisados, foi aprovada e disponibilizada no mercado.

Para terminar, é importante salientar que a redução de vidro numa garrafa não pode ser aplicada continuamente. Mesmo que todas as especificações, definidas pelas indústrias vidreiras e pelas empresas alimentares, sejam cumpridas e, teoricamente uma garrafa aligeirada ofereça uma resistência mecânica elevada e semelhante às garrafas sem redução de peso, não existem garantias absolutas de que essa garrafa tenha um comportamento eficiente nas linhas de enchimento e durante o transporte. É necessária uma avaliação integral dos vários fatores que podem influenciar a resistência de uma garrafa e é indispensável a realização de ensaios práticos, que permitam perceber a performance da garrafa durante as várias fases de enchimento e distribuição. Para além disso, o acompanhamento da garrafa não deve ser só aplicado no início da sua implementação, mas deve ser seguido ao longo de um período de tempo extenso, uma vez que no começo os processos de produção e enchimento são bastante controlados e feitos em menor escala. Adicionalmente, considerando que se trata de um material cuja função é armazenar e proteger um produto alimentar, devem ser tomadas precauções acrescidas, de forma a garantir acima de tudo a segurança e satisfação do cliente.

Posto isto, a implementação de uma garrafa de vidro aligeirada numa empresa alimentar é uma ação a considerar quando se pretende reduzir os custos e o impacto ambiental dos seus processos. Porém, devem ser estudados e tomados em consideração todos os fatores que influenciam a eficácia de uma embalagem alimentar.

## **2. Trabalhos futuros**

Futuramente, existem várias ações que devem ser aplicadas no sentido de oferecer uma melhoria contínua dos processos do SBG.

Por um lado, as cânulas das linhas 1 e 2 da unidade de Pedras Salgadas devem ser substituídas por cânulas ajustadas ao nível de enchimento das garrafas P25 aligeiradas, que neste caso corresponde a 45 mm. As novas cânulas irão permitir que sejam colocados no interior de cada garrafa cerca de 250 mL de produto, que é o valor que está estipulado na descrição técnica do produto, ao invés dos 257 mL que estão neste momento a ser fornecidos ao consumidor. Esta ação trará vantagens em termos de poupança de custos ao SBG.

Por outro lado, pretende-se terminar os ensaios necessários à aprovação oficial das garrafas aligeiradas SB20 da BA e P25 da Vidrala. Tal como foi explicado anteriormente, o processo de implementação de uma garrafa aligeirada numa empresa alimentar deve ser

acompanhado durante um período considerável. Assim, numa perspectiva futura, o SBG deve continuar a monitorizar de perto o enchimento e distribuição das garrafas aligeiradas implementadas, tendo em atenção quebras anormais destas garrafas, quer na linha quer em produto acabado, bem como a existência de problemas no funcionamento dos equipamentos, possivelmente causados por estas garrafas.

Por último, o SBG ambiciona estender a redução de peso de garrafas de vidro a outros tipos de vasilhame, como é o caso das garrafas de vidro de Super Bock TP 25 cL e Super Bock TP 33 cL, contribuindo em larga escala para a redução do seu impacto ambiental e dispêndio económico.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



1. SGB. Super Bock Group [Internet]. Leça do Balio: Super Bock Group; 2018 [citado 21/10/2018]. Disponível em: <https://intranet.superbockgroup.com/Pages/SBG.aspx>.
2. SBG. Sobre o grupo: história [Internet]. Leça do Balio: Super Bock Group; 2017 [citado 21/10/2018]. Disponível em: <https://www.superbockgroup.com/historia/>.
3. SBG. Sobre o grupo: o grupo e os negócios [Internet]. Leça do Balio: Super Bock Group; 2017 [citado 21/10/2018]. Disponível em: <https://www.superbockgroup.com/detalhe/sobre-o-grupo/>.
4. Priest FG, Stewart GG. Handbook of Brewing. 2ª ed. Estados Unidos: CRC Press; 2006. 872 p.
5. Marsh K, Bugusu B. Food packaging—roles, materials, and environmental issues. J Food Sci. 2007 Mar 31;72(3):R39-R55.
6. Silva D. Estudo das quebras de embalagem nas linhas de produção em tara perdida: o caso da UNICER [tese de mestrado] [Aveiro]: Universidade de Aveiro; 2008. 152 p.
7. Eurostat. Packaging waste statistics [Internet]. [S.I.: s.n.] 2018 [citado 18/12/2018]. Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging_waste_statistics).
8. Interfileiras. Informação sobre a evolução do peso unitário das embalagens [Internet]. [S.I.: s.n.] 2012 [citado 18/11/2018]. Disponível em: [http://interfileiras.pt/files/8013/6967/8542/Evolucao\\_dos\\_Pesos\\_embalagens.pdf](http://interfileiras.pt/files/8013/6967/8542/Evolucao_dos_Pesos_embalagens.pdf).
9. SBG. Retrospectiva da redução de peso de garrafa SB [Internet]. Leça do Balio: Super Bock Group; 2018 [citado 18/11/2018]. Disponível em: <https://intranet.superbockgroup.com>.
10. ASTM. Standard Definition of Terms Relating to Glass Products. Pensilvânia: American Society for Testing and Materials 1965.
11. Fernandes M. Introdução à Ciência e Tecnologia do Vidro. 1ª ed. Lisboa: Universidade Aberta; 1999. 143 p.
12. Ropp R. Handbook of glass fractography. 1ª ed. Estados Unidos da América: AuthorHouse; 2008. 652 p.
13. Robertson GL. Food packaging: principles and practice: CRC press; 1998. 618 p.
14. Vogel W. Glass chemistry. 2ª ed. Berlim: Springer Science & Business Media; 1994. 484 p.
15. Girling P. Packaging of food in glass containers. Food packaging technology London, UK: Blackwell Publishing, CRC Press p. 2003:152-73.
16. Azinheira V. Controlo de qualidade e ambiente ao nível de uma indústria vidreira [tese de mestrado]. [Coimbra]: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra; 2014. 101 p.
17. BA. BA vidro: história [Internet] [S.I.: s.n.] 2018 [citado 20/12/2018]. Disponível em: <http://www.bavidro.com/pt/historia.php>.

18. Vidrala. About us: history [Internet]. [S.I.: s.n.] 2019 [citado 20/12/2018]. Disponível em: <http://www.vidrala.com/en/vidrala/about-us/history/>.
19. Santos N. Análise e propostas de melhoria para o sector da manutenção de uma empresa de fabricação de vidro de embalagem [tese de mestrado]. [Coimbra]: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra; 2014. 99p.
20. Lagido PC. O vidro como material de embalagem para a indústria alimentar. In: Castro AG, Pouzada AS, editors. Embalagens para a Indústria Alimentar. Trás-Os-Montes e Alto Douro, Portugal: Gondomar Intelecto; 1991. p. 27-79.
21. Emblem A, Emblem H. Packaging technology: Fundamentals, materials and processes. 1ª ed. Reino Unido: Woodhead Publishing Limited; 2012. 600 p.
22. AGR. Overview of bottle manufacturing. No seminário: Fracture 1 - Testing and breakage diagnosis of glass containers. 2018.
23. Manoel J. Análise de processos fabris na BA Vidro [tese de mestrado]. [Porto]: Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto; 2010. 55 p.
24. Esteves R. Análise de causas da quebra de garrafas de vidro em linhas de enchimento de cerveja [tese de mestrado]. [Braga]: Escola de Engenharia, Universidade do Minho; 2012. 64 p.
25. Glass BE. The forming process [Internet]. Suíça: Bucher Emhart Glass; 2012 [ citado 20/12/2018]. Disponível em: <https://www.emhartglass.com/products/container-forming/process-products/the-forming-process>.
26. Jaime S, Ortiz S, Dantas T, Damasceno C. A comparison of the performance of lightweight glass containers manufactured by the P&B and B&B processes. Packag Technol Sci. 2002 Jun 28;15(4):225-30.
27. IPQ. NP 3548. Vidro de embalagem: Vocabulário. Lisboa: Instituto Português da Qualidade; 1988.
28. IPQ. NP 3315. Vidro de embalagem: Garrafas de vidro de fabricação normal Relacionamento dimensional e tolerâncias. Lisboa: Instituto Português da Qualidade; 1988.
29. IPQ. NP 3552. Vidro de embalagem: Características de resistência das garrafas. Lisboa: Instituto Português da Qualidade; 1988.
30. SBG. Ficha técnica: materiais de embalagem - garrafas de vidro [Internet]. Leça do Balio: Super Bock Group; 2018 [citado 23/12/2018]. Disponível em: <https://intranet.superbockgroup.com>.
31. AGR. Strength of glass. No seminário: Testing and fracture diagnosis of glass bottles. 2017.
32. AGR. Stress concentrators. No seminário: Fracture 1 -Testing and breakage diagnosis of glass containers. 2018.
33. AGR. Loads, stresses and fracture equation. No seminário: Fracture 1 -Testing and breakage diagnosis of glass containers. 2018.

34. Bradt R, Tressler R. Fractography of glass. 1ª ed. Estados Unidos da América: Springer US; 1994. 305 p.
35. AGR. Internal pressure. No seminário: Testing and fracture diagnosis of glass bottles. 2017.
36. Quinn GD. Fractography of ceramics and glasses: National Institute of Standards and Technology Washington, DC; 2007. 639 p.
37. IPQ. NP 3550. Vidro de embalagem: Ensaio de pressão interior. Lisboa: Instituto Português da Qualidade; 1988.
38. AGR. Thermal shock. No seminário: Testing and fracture diagnosis of glass bottles. 2017.
39. IPQ. NP 3314. Vidro de embalagem: Ensaio de choque térmico. Lisboa: Instituto Português da Qualidade; 1988.
40. AGR. Vertical Load. No seminário: Testing and fracture diagnosis of glass bottles. 2017.
41. IPQ. NP 3551. Vidro de embalagem: Ensaio de carga axial. Lisboa: Instituto Português da Qualidade; 1988.
42. AGR. Impact. No seminário: Fracture 1 -Testing and breakage diagnosis of glass containers. 2018.
43. AGR. Impact. No seminário: Testing and fracture diagnosis of glass bottles. 2017.
44. BA. Matrizes de paletização das garrafas SB2O atual e aligeirada. 2018.
45. BA. Desenhos técnicos das garrafas P25 atual e aligeirada. 2018.
46. AGR. Products: Tilt table [Internet]. Estados Unidos da América: AGR International 2019 [citado 7/05/2019]. Disponível em: <https://www.agrintl.com/product/tilt-table/>.



## ANEXOS



## 1. Objetivo e Campo de Aplicação

Definir as fases principais de um processo de aprovação de redução de peso numa garrafa de vidro. Deve ser aplicado sempre que se proceder à alteração e implementação de uma garrafa de vidro aligeirada.

## 2. Responsabilidades

Compete ao responsável pela área do vidro dos Serviços Técnicos acompanhar ou executar as tarefas previstas nesta Instrução de Trabalho e em caso de anomalias, a resolução de problemas.

## 3. Descrição

| Fases de aprovação de garrafa de vidro com redução de peso |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                          | <b>Briefing com fornecedor</b>                                                                   | Reunião com empresa fornecedora da garrafa de vidro a ser sujeita à redução de peso: Decisão da percentagem de redução a efetuar e solicitação do desenho técnico e da ficha de paletização.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 2                                                          | <b>Verificação e aprovação de desenho técnico e ficha de paletização</b>                         | Avaliação dos documentos propostos pelo fornecedor, verificando a sua conformidade com as normas legais (características dimensionais e de resistência mecânica). Adicionalmente, deve-se verificar a necessidade de alterações na linha de enchimento e nas embalagens secundárias. Em caso de irregularidades, solicitar a revisão dos documentos pelo fornecedor.                                                                                                      |
| 3                                                          | <b>Ensaio industrial reduzido e avaliação de garrafas produzidas a partir de molde protótipo</b> | Realização de ensaio industrial reduzido numa linha de enchimento, com as primeiras garrafas aligeiradas produzidas através de molde protótipo. Procura por eventuais anomalias, principalmente na rotulagem e embalagem. Usar um conjunto de garrafas aligeiradas para controlo de parâmetros dimensionais (peso, altura, diâmetros, espessuras e volume líquido). Em caso de irregularidades, informar o fornecedor e solicitar alteração das características em causa. |
| 4                                                          | <b>Acompanhamento da primeira produção de garrafas a partir de molde final</b>                   | Acompanhamento presencial da primeira produção da garrafa aligeirada nas instalações do fornecedor. Em caso de impossibilidade de estar presente, solicitar e verificar os resultados do controlo realizado habitualmente.                                                                                                                                                                                                                                                |

|   |                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | <b>Ensaio industriais com garrafas aligeiradas finais</b>                        | <p>Acompanhamento presencial do enchimento de produto com a garrafa aligeirada nas linhas do SBG, tendo em atenção os seguintes aspetos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quebra de garrafas em pontos estratégicos da linha, nomeadamente despaletizador, enchedora/capsuladora, pasteurizador e rotuladora/embaladora. Distribuição de baldes ao longo da linha, para recolha dos fragmentos de garrafas partidas, em cada um dos pontos estratégicos. Cálculo da percentagem de quebra a partir do peso de cada balde e do número de garrafas que entraram na linha durante o enchimento em análise.</li> <li>• Rejeição nos inspetores de vazio</li> <li>• Rebentamentos na enchedora/capsuladora</li> <li>• TEI (Tempo de embalagem impróprio)</li> <li>• Desvios de capsulagem e rotulagem</li> <li>• Funcionamento dos equipamentos da linha</li> </ul> <p>De modo a perceber se os resultados obtidos estão dentro do esperado, é de elevada pertinência a realização de ensaios industriais com a garrafa inicial (sem redução de peso).</p> |
| 6 | <b>Ensaio de transporte com garrafas aligeiradas finais</b>                      | <p>Realização de ensaios de transporte de paletes de produto acabado (~10 paletes) com a garrafa aligeirada. Transportar as paletes desde o local de enchimento até uma outra unidade do SBG, onde estas devem ser inspecionadas visualmente quanto à existência de garrafas partidas ou de caixas/packs danificados. Sem necessidade de desfardamento da paleta, excetuando se existe suspeita de quebras.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 7 | <b>Análise de parâmetros dimensionais da garrafa aligeirada final</b>            | <p>Realização de medições dimensionais na garrafa aligeirada produzida a partir do molde final. Usar um conjunto significativo de garrafas para proceder à análise de parâmetros como peso, altura, diâmetros, espessuras, volume líquido, capacidade total e espaço de cabeça (se aplicável). Executar as mesmas medições com a garrafa inicial (sem redução de peso) para servir de comparação.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 8 | <b>Análise de parâmetros de resistência mecânica da garrafa aligeirada final</b> | <p>Realização de medições de resistência mecânica na garrafa aligeirada produzida a partir do molde final. Usar um conjunto significativo de garrafas para proceder à análise da resistência à pressão interna, ao impacto, ao choque térmico e à carga vertical. Executar as mesmas medições com a garrafa inicial (sem redução de peso) para servir de comparação.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 9 | <b>Aprovação final da garrafa aligeirada</b>                                     | <p>Verificação se todos os parâmetros analisados se encontram em conformidade com os limites especificados. Elaboração de um relatório final de aprovação da garrafa aligeirada, com os resultados e conclusões obtidas.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |