



**ANA CRISTINA  
ABREU CAPITÃO**

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE *DRY-HOPPING* NA  
CASA DA CERVEJA**





**ANA CRISTINA  
ABREU CAPITÃO**

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE *DRY-HOPPING* NA  
CASA DA CERVEJA**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizada sob a orientação científica Doutora Ana Maria Rebelo Barreto Xavier, Professora Auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e sob a coorientação da Engenheira Ana Isabel Marques Ribeiro, Gestora de Projetos da equipa de Inovação e Desenvolvimento da Unicer Bebidas, SA.



Dedico este trabalho aos meus pais, Celeste Abreu e Luciano Capitão.



## **o júri**

presidente

**Prof. Doutor Carlos Manuel Silva**  
professor auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

**Mestre Tiago Monteiro Brandão**  
diretor de Recursos Humanos da empresa Unicer Bebidas, SA.

**Prof. Doutora Ana Maria Rebelo Barreto Xavier**  
professora auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro





## agradecimentos

Quero começar por agradecer à Universidade de Aveiro e à Unicer Bebidas, SA, pela oportunidade de realizar o meu projeto de dissertação em ambiente empresarial. Foi uma experiência muito enriquecedora e um dos melhores momentos do meu percurso académico.

Agradeço à Professora Ana Xavier a orientação durante este projeto e por me ter ajudado na preparação para o estágio e na conclusão desta dissertação.

À Engenheira Ana Isabel Ribeiro agradeço todo o conhecimento que me transmitiu e todo o apoio que me deu durante os seis meses de estágio.

À Doutora Cristina Silva agradeço a oportunidade de me deixar integrar a equipa de Inovação e Desenvolvimento e todo o apoio e interesse demonstrado por mim e por este projeto.

Quero agradecer à Catarina Lopes e ao Manuel Dias por tudo!

Ao Sr. Mário Rui Almeida agradeço toda ajuda que me deu, mesmo sabendo que não fazia parte das suas funções ajudar-me.

A todas a pessoas do departamento da Qualidade da Unicer Bebidas, SA, mais especificamente ao Roque, Marina, Verónica, Fábio e Dona Fátima, muito obrigada pela ajuda durante estes meses.

Agradeço aos colaboradores da Adega e do Fabrico que me ajudaram e ensinaram algo novo sempre que aparecia por lá.

Aos “Super Estagiários”, em especial ao Daniel e à Inês, agradeço o apoio, as gargalhadas e o facto de durante estes meses termos levado a amizade a sério.

À minha família e amigos agradeço o apoio e a compreensão. Um especial agradecimento ao meu irmão, Matias, por me fazer rir sempre que está ao meu lado.



## palavras-chave

Cerveja, *Dry-Hopping*, Amargor, Lúpulo, *HopGun*

## resumo

Este projeto foi realizado em ambiente industrial, nomeadamente na empresa Unicer Bebidas, SA, e teve como principal objetivo a instalação e otimização do processo de *Dry-Hopping* na produção de cerveja.

Geralmente, na produção de cerveja, adiciona-se lúpulo na fase de ebulição, sendo este responsável pela característica organolética normalmente designada por amargor. No entanto, o lúpulo pode contribuir positivamente para o aroma e sabor do produto final se for adicionado nas fases frias do processo de produção.

O processo de *Dry-Hopping* consiste na adição de lúpulo nas fases frias do processo de produção de cerveja, para que seja possível conferir aroma e sabor, através de certos componentes do lúpulo, que geralmente evaporam quando este é adicionado na fase de ebulição

No início deste projeto, a Unicer Bebidas, SA, tinha duas cervejas no mercado que requeriam a adição de lúpulo na fase de maturação. A primeira consistia numa cerveja produzida por outra empresa e enchida pela Unicer Bebidas, SA. A segunda cerveja foi produzida utilizando um método de *Dry-Hopping* convencional nas instalações da Unicer Bebidas, SA.

Este projeto iniciou-se com a instalação de um novo equipamento, *HopGun*, adquirido pela Unicer Bebidas, SA, com o propósito de melhorar o processo de *Dry-Hopping*. Numa fase inicial com o objetivo de entender o funcionamento deste equipamento foram realizados dois testes de funcionamento e limpeza apenas com água e lúpulo.

Para averiguar a eficácia do *HopGun* no produto final, foram realizados ensaios de produção de cervejas. Os resultados obtidos foram comparados com o produto já existente no mercado, produzido pelo método convencional e já referido.

A experiência adquirida, pelas observações e resultados obtidos ao longo dos ensaios de produção, permitiu melhorar os procedimentos de funcionamento e limpeza deste equipamento. Além disso, no caso de uma das cervejas foi feita a necessária adaptação para a escala industrial.

Como resultado deste trabalho foram escritas duas instruções de trabalho que ficaram em vigor na Unicer Bebidas, SA, para a utilização do *HopGun*, nomeadamente quanto ao seu funcionamento e à respetiva limpeza.

Todos os ensaios de cerveja foram monitorizados, no que respeita aos parâmetros físico-químicos e sensoriais da cerveja produzida, para que estivessem dentro das especificações exigidas para o produto.

Os parâmetros físico-químicos das cervejas produzidas neste projeto encontravam-se dentro das especificações do produto, motivo pelo qual ambas as cervejas foram introduzidas no mercado.



**keywords**

Beer, Dry-Hopping, Bitterness, Hop, HopGun

**abstract**

This project was developed by an internship in the industry Unicer Bebidas, SA, and the main purpose was to optimize the Dry-Hopping process in beer production of the enterprise.

Usually, in the production of beer the hops are added in the ebullition phase, being the main responsible for the organoleptic feature commonly known as bitterness. However, hops can contribute to aroma and flavor when added in the cold phases of the production process.

The Dry-Hopping process consists in the addition of hops in the cold phases of the beer production in order to obtain the characteristic flavor and aroma of specific beers, with the presence of some compounds from the hops generally lost in the ebullition phase of production.

In the beginning of his project, Unicer Bebidas, SA, had two products in the market that required the addition of hops in the maturation phase. The first one consisted in a beer produced by another company sent to Unicer Bebidas, SA, to be filled and packed. The second one was a beer produced by Unicer Bebidas, SA, using a conventional Dry-Hopping method.

This project was started with the installation of HopGun, the new equipment acquired by Unicer Bebidas, SA, with the purpose of improving the Dry-Hopping process. With the aim of understanding the operation procedure of this equipment, they were made two operational and cleaning tests with only water and hops.

To evaluate the efficiency of HopGun in the final product, different production experiments of the beers already mentioned were made. The results of these experiments were compared with the product already in the market, which was produced without this equipment, by the conventional technology.

The experience acquired by the observation and the results obtained during the production experiments allowed to improve the operational and also the cleaning procedures for this equipment. For one of the referred beers the adequate adaptation was made for the industrial scale production.

As a result of this work they were written two work instructions that are being used by Unicer Bebidas, SA, for the functioning and cleaning procedures of the HopGun.

For all the experiments both the physical-chemical and sensory parameters of the produced beer were monitored to guarantee that the obtained values were within the specifications.

Both beers produced presented the physical-chemical parameters within the specifications allowing to introduce both products in the market.



# ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	XVII
LISTA DE TABELAS.....	XVIII
LISTA DE ABREVIATURAS .....	XIX
INTRODUÇÃO.....	1
<b>1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS DO PROJETO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. UNICER BEBIDAS, SA.....</b>	<b>2</b>
<b>3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>2</b>
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
<b>1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA.....</b>	<b>3</b>
1.1. Matérias-Primas.....	3
1.1.1. Água .....	3
1.1.2. Cereais.....	3
1.1.3. Lúpulo.....	4
1.1.4. Leveduras .....	7
1.2. Produção de Cerveja.....	9
1.3. Análise da Qualidade do Produto .....	13
1.3.1. Análise Físico-Química.....	14
1.3.2. Análise Microbiológica.....	16
1.3.3. Análise Sensorial .....	16
1.4. Tipos de Cerveja.....	17
<b>2. DRY-HOPPING.....</b>	<b>17</b>
2.1. Métodos de <i>Dry-Hopping</i> .....	18
2.2. Parâmetros que influenciam o <i>Dry-Hopping</i> .....	19
MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
<b>1. HOPGUN .....</b>	<b>21</b>
1.1. <i>Cleaning in Place</i> .....	22
1.2. Instrução de Trabalho .....	23
<b>2. QUALIDADE DO PRODUTO.....</b>	<b>23</b>
2.1. <i>Beer Analyser</i> .....	24
2.2. Dióxido de Carbono .....	24
2.3. Dióxido de Enxofre .....	24
2.4. Diacetilo .....	25
2.5. Amargor .....	25
2.6. Turvação.....	25
2.7. Análise Sensorial .....	26
2.8. Análise Microbiológica.....	26
<b>3. DETERMINAÇÃO DA MASSA DE LÚPULO.....</b>	<b>27</b>
DESCRIÇÃO DE TESTES E ENSAIOS.....	28
<b>1. INSTALAÇÃO DO HOPGUN.....</b>	<b>28</b>

<b>2. ENSAIOS DA CERVEJA X</b> .....	<b>28</b>
<b>3. ENSAIOS DA CERVEJA Y</b> .....	<b>30</b>
<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
<b>1. INSTALAÇÃO DO HOPGUN</b> .....	<b>31</b>
1.1. Validação da Conformidade Legal .....	31
1.2. Determinação do volume mínimo necessário para o <i>Dry-Hopping</i> .....	31
1.3. Ligações necessárias para o funcionamento do <i>HopGun</i> .....	32
1.4. Teste de Funcionamento (Teste 1).....	34
1.5. Teste de Funcionamento e Limpeza (Teste 2) .....	35
<b>2. CERVEJA X</b> .....	<b>36</b>
2.1. Ensaio na Mini-Fábrica .....	36
2.1.1. Preparação dos Ensaio.....	36
2.1.2. Ensaio X1, X2 e X3 .....	40
2.1.3. Resultados Experimentais dos Ensaio.....	41
2.2. Produção Industrial (Ensaio X4) .....	44
<b>3. CERVEJA Y</b> .....	<b>48</b>
3.1. Preparação dos ensaio .....	48
3.2. Ensaio Y1 e Y2 .....	50
3.3. Resultados Experimentais dos Ensaio.....	51
<b>4. ALTERAÇÕES AO PROCEDIMENTO DE FUNCIONAMENTO E LIMPEZA DO HOPGUN</b> .....	<b>53</b>
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>55</b>
1.1. Considerações Finais .....	55
1.2. Recomendações Futuras.....	56
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>61</b>
<b>A. BOLETIM DE ANÁLISE SENSORIAL</b> .....	<b>61</b>
<b>B. EXEMPLO DE UMA INSTRUÇÃO DE TRABALHO</b> .....	<b>62</b>
<b>C. DETERMINAÇÃO DA MASSA DE LÚPULO (EXEMPLO DE CÁLCULO)</b> .....	<b>64</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da flor de lúpulo.....	4
Figura 2 – Estrutura química de um $\alpha$ -ácido e $\beta$ -ácido.....	5
Figura 3 – Reação de Isomerização de $\alpha$ -ácidos.....	6
Figura 4 - Processo de propagação de levedura. ....	8
Figura 5 – Esquema do processo de produção de cerveja. ....	9
Figura 6 - Tanque <i>Whirlpool</i> .....	10
Figura 7 – Diagrama generalizado da fermentação alcoólica de uma molécula de glucose. ....	12
Figura 8 – Influência dos pontos de adição de lúpulo no teor de amargo e aroma da cerveja. ....	17
Figura 9 – Imagem representativa do <i>HopGun</i> e ligações do processo.....	21
Figura 10 – Imagem representativa da válvula de <i>Dry-Hopping</i> . ....	22
Figura 11 – Diagrama representativo dos ensaios efetuados para a cerveja X na Mini-Fábrica. ....	29
Figura 12 – Diagrama representativo do ensaio X4.....	29
Figura 13 - Esquema e dimensões da cuba de fermentação. ....	32
Figura 14 – Diagrama de ligações de mangueiras necessárias para o funcionamento do <i>HopGun</i> .....	33
Figura 15 – Diagrama de ligações de mangueiras necessárias para a limpeza do <i>HopGun</i> .....	34
Figura 16 - Resultados das análises da Cerveja X ao longo do processo fermentativo (Ensaio da Mini-Fábrica).....	37
Figura 17 - Diagrama representativo da distribuição do volume da cuba pelos diferentes ensaios. ....	38
Figura 18 - Resultados das análises da Cerveja X ao longo do processo fermentativo (Ensaio Industrial).....	44
Figura 19 - Resultados das análises da Cerveja Y <sub>1</sub> ao longo do processo fermentativo. ....	49
Figura 20 - Resultados das análises da Cerveja Y <sub>2</sub> ao longo do processo fermentativo. ....	50
Figura 21 - Diagrama de ligações de equipamentos para limpeza CIP após alteração e válvula intermédia da tubagem da ligação 1. ....	53
Figura 22 - Diagrama de ligações para a primeira fase do procedimento de funcionamento alterado. ....	54
Figura 23 - Diagrama de ligações para a segunda fase do procedimento de funcionamento alterado. ....	54
Figura 24 - Diagrama de ligações para a segunda fase do procedimento de funcionamento alterado. ....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características do <i>HopGun</i> .....	21
Tabela 2 – Análise de mosto frio dos fabricos 1, 2, 3 e 4 .....	36
Tabela 3 – Volumes retirados da cuba após cada um dos ensaios e para a transferência X0.....	39
Tabela 4 – Quantidade de lúpulo adicionada em cada ensaio e volume disponível .....	39
Tabela 5 – Condições de operação dos ensaios X1, X2 e X3 .....	41
Tabela 6 – Resultados analisados no <i>Beer Analyser</i> para as cervejas dos ensaios X1, X2 e X3 .....	41
Tabela 7 – Resultados da análise de Amargor, Turvação, CO <sub>2</sub> e SO <sub>2</sub> Total para as cervejas dos ensaios X1, X2 e X3 .....	42
Tabela 8 - Resultados da análise microbiológica das cervejas dos ensaios X1, X2 e X3.....	43
Tabela 9 – Avaliação global da análise sensorial realizada às cervejas dos ensaios e à referência .	43
Tabela 10 – Resultados da análise ao mosto do fabrico industrial .....	44
Tabela 11 – Condições de operação do ensaio industrial.....	46
Tabela 12 – Resultados analisados no <i>Beer Analyser</i> para as Cervejas X <sub>Industrial</sub> , X <sub>DF</sub> , X <sub>D</sub> e X <sub>A</sub> .....	46
Tabela 13 - Resultados da análise de Amargor, Turvação, CO <sub>2</sub> e SO <sub>2</sub> Total para as Cervejas X <sub>Industrial</sub> , X <sub>DF</sub> , X <sub>D</sub> e X <sub>A</sub> .....	47
Tabela 14 – Resultados obtidos da análise sensorial à Cerveja X <sub>Industrial</sub> e à referência .....	47
Tabela 15 – Resultados das análises fisico-químicas dos mostos de cerveja dos ensaios Y1 e Y2 .	48
Tabela 16 – Condições de operação dos ensaios Y1 e Y2 .....	51
Tabela 17 – Resultados da análise do amargor das Cervejas Y <sub>1</sub> e Y <sub>2</sub> antes e depois do processo de Dry-Hopping .....	51
Tabela 18 – Resultados das análises fisico-químicas da Cerveja Y <sub>1</sub> Filtrada e do Produto Final....	52
Tabela 19 - Resultados obtidos da análise sensorial às Cervejas Y <sub>1</sub> e Y <sub>2</sub> .....	52

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**ADP** – Adenosina Difosfato

**ATP** – Adenosina Trifosfato

**CIP** – *Cleaning in Place*

**DH** – *Dry-Hopping*

**EBC** – *European Brewery Convention*

**IPA** – *Indian Pale Ale*

**IT** – Instrução de Trabalho

**NIR** – *Near Infrared Reflectance*

**SRM** – *Standard Reference Method*

**TCF** – Tanque de Cerveja Filtrada

**UBA** – *Universal Beer Agar*



# **INTRODUÇÃO**

## **1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS DO PROJETO**

A introdução de cervejas inovadoras, que se diferenciem no mercado português, é um dos principais objetivos da Unicer Bebidas, SA. Após uma avaliação do mercado, a empresa iniciou a comercialização de uma cerveja que já era produzida por outra empresa, num país europeu, utilizando um processo de *Dry-Hopping*, e, posteriormente, enchida em Portugal, cerveja X. Tendo em consideração que o tempo de transporte da cerveja poderia contribuir para a sua deterioração e reduzir o tempo de resposta ao mercado, a Unicer Bebidas, SA, decidiu investir num novo equipamento, o *HopGun*, que permitiria a produção desta cerveja em Portugal, a nível industrial.

O *Dry-Hopping* é um processo que consiste na introdução de lúpulo nas fases frias do processo cervejeiro e tem como finalidade conferir características sensoriais e organolépticas específicas à cerveja que, geralmente, não consegue adquiri-las apenas com a introdução de lúpulo na fase de ebulição do processo de produção de cerveja.

Face ao crescente número de cervejas artesanais no mercado, em que são utilizadas várias técnicas de *Dry-Hopping*, a Unicer Bebidas, SA, decidiu desenvolver uma cerveja deste tipo. A cerveja foi produzida nas instalações da Unicer, mais concretamente na Mini-Fábrica, local que faz parte da chamada Casa da Cerveja, onde foi utilizado um processo de *Dry-Hopping* convencional, cerveja Y.

A Mini-Fábrica é o local de produção de cervejas especiais da Unicer Bebidas, SA. Além da sala de fabrico, com uma capacidade instalada de 750 mil litros, esta instalação possui várias cubas de fermentação e tanques de cerveja filtrada com capacidades que variam entre 4000 e 6000 litros. O enchimento das cervejas produzidas na Mini-Fábrica, bem como a sua rotulagem, são feitos manualmente por uma equipa especializada em linhas de enchimento de cadências reduzidas.

Depois do sucesso no lançamento da cerveja Y, em Outubro de 2015, e tendo em consideração o investimento realizado para a produção da cerveja X, foi realizada uma otimização do processo de *Dry-Hopping* da cerveja Y.

O principal objetivo deste projeto consistiu na instalação do equipamento *HopGun* na Mini-Fábrica, garantindo que a produção das cervejas X e Y passasse a decorrer da forma mais correta e eficaz.

## **2. UNICER BEBIDAS, SA.**

A 7 de Março de 1890 foi fundada a CUFP - Companhia União Fabril Portuense das Fábricas de Cerveja e Bebidas Refrigerantes, unindo sete fábricas do norte do país, seis do Porto e uma de Ponte da Barca. Estas setes fábricas foram as impulsionadoras do consumo generalizado de cerveja nacional, substituindo as cervejas importadas.

Desde a data de fundação, a atual Unicer Bebidas, SA, foi sofrendo alterações nas suas fábricas e nos produtos que comercializa, sempre tendo em consideração a opinião do consumidor e a inovação tecnológica associada ao desenvolvimento de produtos.

Neste momento, a Unicer Bebidas, SA, conta com mais de 125 anos de história e uma vasta gama de produtos que inclui, para além das cervejas, águas, refrigerantes, vinhos, sangrias e sidras (Unicer Bebidas, SA, 2015).

## **3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está dividida em sete capítulos, que por sua vez estão divididos em várias secções.

No primeiro capítulo foi feita uma breve introdução do tema, bem como o enquadramento e os principais objetivos do projeto. Além disso, foi feito um breve resumo da história da Unicer Bebidas, SA.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica deste projeto. Para além de se encontrar a descrição do processo de produção de cerveja, é também neste capítulo que está explicado o conceito de *Dry-Hopping*, os métodos disponíveis e os parâmetros a ter em conta para realizar este processo.

O terceiro capítulo consiste na apresentação dos materiais e métodos utilizados ao longo deste projeto.

No quarto capítulo é apresentada a descrição dos testes e ensaios realizados para que fosse possível implementar e instalar o equipamento e, posteriormente, produzir as cervejas X e Y.

No quinto capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo do projeto. Este capítulo está dividido em várias secções, de acordo com os testes e ensaios realizados. Além disso, na última secção deste capítulo é feita uma descrição detalhada de todas as alterações realizadas nos procedimentos do equipamento utilizado, consequência das observações obtidas de todos os testes e ensaios.

Por fim, no sexto são apresentadas as conclusões, que, por sua vez, incluem as considerações finais e propostas de trabalho futuro.

# **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## **1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA**

### **1.1. Matérias-Primas**

A produção de cerveja depende essencialmente de quatro matérias-primas: Água, Cereais, Lúpulo e Leveduras, sendo que todos estes constituintes apresentam funções bastante específicas no processo (Unicer Bebidas, SA, 2015).

#### **1.1.1. Água**

A água é a matéria-prima utilizada em maior quantidade no processo de produção de cerveja. Esta representa cerca de 91 a 98% do conteúdo do produto final. As suas características, como, por exemplo, a dureza da água de fabrico, podem ser determinantes no tipo de cerveja produzida. No entanto, a maior quantidade de água consumida no processo de produção de cerveja é utilizada para a limpeza e desinfecção de equipamentos e, também, em permutadores de calor para o aquecimento/arrefecimento das diferentes fases do processo (Briggs, et al., 2004) (Kunze, 2004).

#### **1.1.2. Cereais**

Os cereais são uma das componentes chave na produção de cerveja, pois são a principal fonte de amido. O amido é um hidrato de carbono, constituído por uma mistura de dois polissacarídeos, amilose e amilopectina. Entre os cereais mais comuns encontram-se a cevada e o milho, contudo, também podem ser utilizados trigo ou arroz. Além disso, é a partir dos cereais que se obtém as enzimas necessárias para a hidrólise do amido em açúcares mais simples, monossacarídeos, que, posteriormente, serão consumidos pelas leveduras durante o processo fermentativo. Para tal, é necessário proceder à maltagem dos grãos, para que ocorra a ativação das mesmas. Este processo consiste em três passos: Molha, Germinação e Secagem (Briggs, et al., 2004) (Kunze, 2004).

Inicialmente os grãos estão secos e a sua molha é extremamente importante para o início da fase de germinação, pois este processo só ocorre num meio abundante em água, a temperaturas controladas que variam entre 14 a 18°C. Além disso, nesta fase há um aumento significativo da respiração dos grãos e, por isso, é necessário fornecer oxigénio ao sistema para que a germinação se inicie de forma rápida e eficaz. Posteriormente, o excesso de água é drenado e os grãos de cevada húmidos são colocados no tanque de germinação, tanque cilíndrico fechado onde é possível controlar as condições de operação, por meio de válvulas colocadas em pontos estratégicos, permitindo que o embrião do grão se desenvolva. Nesta fase, é necessário ter em consideração que, quando ocorre o fenómeno da respiração dos grãos, há produção de dióxido de carbono e, por isso, este tem de ser purgado, para que não afete a germinação. Por fim é feita a secagem dos grãos germinados, a

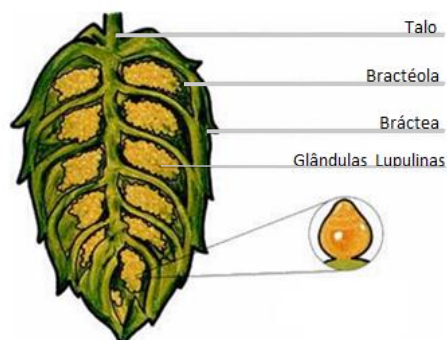
temperaturas elevadas, de forma a reduzir a humidade do grão, até que esta atinja, no mínimo, 6%. Dependendo da temperatura de secagem, ou se é feita torrefação, podem ser produzidos diferentes tipos de malte, como, por exemplo, o chamado malte “chocolate” ou malte “caramelo” (Bamforth, 2006).

### **1.1.3. Lúpulo**

O lúpulo, espécie *Humulus lupulus*, é uma planta trepadeira, perene, da família *Cannabaceae*. Esta é caracterizada como dioica, pois as plantas femininas nascem separadas das masculinas. O Lúpulo possui na sua constituição determinados componentes que, de acordo com a quantidade em que estão presentes, conferem diferentes variedades de amargor e aroma à cerveja. Esta planta tem ainda propriedades antimicrobianas e contribui para a produção de uma boa espuma (Hieronymus, 2012).

No caso da produção de cerveja, só as inflorescências femininas (cones) é que têm interesse para o fabrico, devido à sua composição rica em resinas e óleos essenciais, componentes que contribuem para as características do produto final. Por este motivo, os produtores de lúpulo tendem a erradicar as plantas masculinas de forma a maximizar a produção de flores femininas (Hough, 1991).

Os cones de lúpulo são constituídos por brácteas, que funcionam como um revestimento e protegem as inflorescências do exterior. No seu interior, possuem bractéolas, pétalas internas, onde estão aglomeradas as glândulas lupulinas que, por sua vez, são revestidas por membranas, cujo objetivo é evitar a fuga dos componentes necessários para a produção de cerveja, figura 1.



**Figura 1** – Estrutura da flor de lúpulo.  
Adaptado de: (Hieronymus, 2012).

As glândulas lupulinas devem ser de cor amarela ou dourada, brilhantes e de textura pegajosa. Caso alguma destas características não se verifique, a composição das glândulas poderá encontrar-se alterada, sendo que, para tal acontecer, significa que o cone de lúpulo foi submetido a temperaturas elevadas ou a um processo de envelhecimento, que se caracteriza pela oxidação dos componentes do lúpulo. A utilização de lúpulos que sofreram envelhecimento não é muito usual, pois grande parte dos produtores de cerveja considera que o aroma e sabor que lhe são característicos não são muito agradáveis e não beneficiam o produto final (Kunze, 2004) (Hieronymus, 2012).

Numa fase inicial, os cones possuem entre 75 a 80% de água e, por isso, devem sofrer um processo de secagem para que seja possível o seu armazenamento. No entanto, mesmo depois de secos, os cones de lúpulo não devem ser armazenados durante muito tempo, pois existem vários parâmetros que diminuem a qualidade destes, nomeadamente, a humidade, a temperatura e a



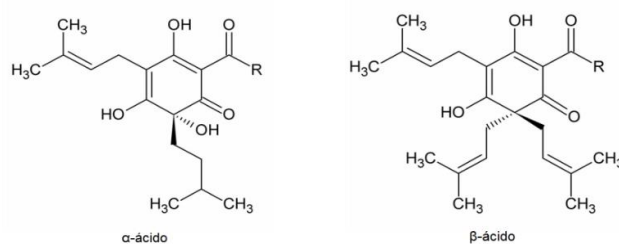
quantidade de oxigênio presentes no local de armazenamento. Além disso, a utilização de cones de lúpulo não é a mais adequada para processos automatizados devido à sua textura pegajosa e à dificuldade de limpeza de resíduos. Por forma a tentar diminuir o efeito dos parâmetros referidos anteriormente, foram desenvolvidos vários tipos de preparados de lúpulo, sendo os mais utilizados as *pellets*, os óleos e os extratos (Briggs, et al., 2004) (Esslinger, 2009) (Kunze, 2004).

Devido à redução significativa do volume, os produtos de lúpulo permitem um melhor transporte e armazenamento. Estes preparados são acondicionados em embalagens especiais, que permitem preservar a qualidade dos mesmos por mais tempo (Esslinger, 2009).

Entre os compostos presentes nos cones de lúpulo, aqueles que mais contribuem para o produto final são as resinas. No entanto, os óleos essenciais também têm um efeito significativo no caráter da cerveja, principalmente, em termos de aroma e sabor. Por outro lado, existem outros compostos, como é o caso dos polifenóis, presentes no lúpulo cujo seu contributo também é importante para o aroma e sabor da cerveja (Hieronymus, 2012).

As resinas presentes nas glândulas lupulinas têm como principal finalidade conferir o amargor característico da cerveja. No entanto, estas possuem ainda a capacidade de melhorar a estabilidade da espuma e de funcionar como antisséptico, na prevenção da propagação de bactérias. Estas podem ser classificadas como *hard resins*, quando insolúveis em hexano, ou *soft resins*, quando solúveis em hexano (Kunze, 2004).

Nas glândulas lupulinas, as resinas que se encontram em maior quantidade e que são mais relevantes para o produto são as *soft resins* que, por sua vez, incluem os  $\alpha$ -ácidos e os  $\beta$ -ácidos, figura 2 (Hough, 1991).



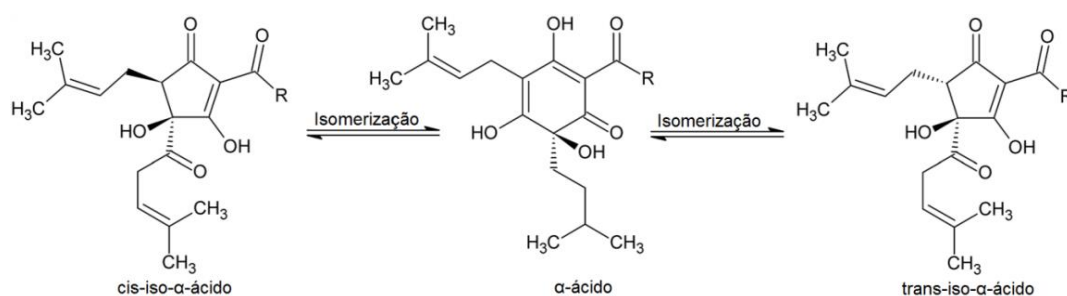
**Figura 2** – Estrutura química de um  $\alpha$ -ácido e  $\beta$ -ácido.

Adaptado de: (Karabín, et al., 2016).

Os  $\alpha$ -ácidos presentes de forma mais abundante nas glândulas lupulinas são a humulona, co-humulona e ad-humulona. No caso dos  $\beta$ -ácidos, aqueles que se encontram mais frequentemente no lúpulo são a lupulona, co-lupulona e ad-lupulona (Karabín, et al., 2016).

O amargor do produto final é conseguido, maioritariamente, através da isomerização de  $\alpha$ -ácidos, figura 3, sendo que esta reação consiste na conversão de um  $\alpha$ -ácido insolúvel em água num iso- $\alpha$ -ácido solúvel, mantendo a fórmula molecular do composto e alterando apenas a sua fórmula estrutural. Os isómeros obtidos da reação conferem um teor de amargo muito superior aos  $\alpha$ -ácidos.

A reação de isomerização ocorre facilmente na fase de ebulição, pois a temperatura de operação elevada aumenta significativamente a velocidade desta reação (Hieronymus, 2012) (Kunze, 2004).



**Figura 3** – Reação de Isomerização de  $\alpha$ -ácidos.

Adaptado de: (Karabín, et al., 2016).

No caso dos  $\beta$ -ácidos, a cadeia extra presente no carbono 6 faz com que estes compostos sejam mais hidrofóbicos do que os  $\alpha$ -ácidos, tornando-os praticamente insolúveis no mosto denso. No entanto, o facto de estes serem muito hidrofóbicos permite que tenham uma capacidade antimicrobiana superior à dos  $\alpha$ -ácidos (Steenackers, et al., 2015).

Os óleos essenciais presentes nas glândulas lupulinas têm como principal objetivo fornecer à cerveja o seu aroma e sabor característico. No entanto, os óleos essenciais tendem a oxidar durante o armazenamento da cerveja e podem promover a oxidação de resinas, o que se pode tornar um inconveniente em termos de aroma e sabor para o consumidor (Hough, 1991).

Existem aproximadamente 200 compostos diferentes, presentes no óleo do lúpulo, que podem ser divididos em três categorias: hidrocarbonetos, compostos oxigenados e compostos sulfurosos (Kunze, 2004).

Os hidrocarbonetos representam cerca de 50 a 80% do óleo do lúpulo, no entanto, são pouco solúveis. Quando adicionados na fase de ebulição, grande parte destes compostos tende a evaporar ou a oxidar. Além disso, os hidrocarbonetos que conseguem permanecer em solução até à fermentação, geralmente são adsorvidos pelas células de levedura não havendo vestígios destes no produto final (Hieronymus, 2012) (Praet, et al., 2012).

Entre os hidrocarbonetos que se encontram em maior quantidade no lúpulo estão o  $\beta$ -mirceno,  $\beta$ -cariofileno e  $\alpha$ -humuleno. O primeiro é um monoterpene, ou seja, um composto cuja cadeia principal é constituída por dez unidades de carbono e a percentagem deste nos óleos essenciais do lúpulo, geralmente, corresponde a 50%. Tanto o  $\beta$ -cariofileno, como o  $\alpha$ -humuleno, são denominados de sesquiterpenos, pois possuem cadeias com quinze unidades de carbono (Hieronymus, 2012).

Os compostos oxigenados representam entre 20 a 50% da constituição do óleo do lúpulo. No entanto, devido às biotransformações que ocorrem durante o processo de produção da cerveja, a percentagem destes aumenta significativamente. Este aumento da concentração de compostos

oxigenados é uma vantagem para o produto final, pois estes são mais solúveis e aromáticos do que os não oxigenados (Hieronymus, 2012) (Praet, et al., 2012).

O amadurecimento dos cones de lúpulo promove a formação de monoterpenóides, como, por exemplo, o geraniol, que, embora em pequenas quantidades, pode dar origem a um aroma e sabor bastante diferente. Por sua vez, esses mesmos monoterpenóides, através de biotransformações influenciadas pelas leveduras, podem dar origem a outros terpenóides com características sensoriais bastante diferentes e que, por vezes, podem contribuir para aromas ou sabores desagradáveis (Hieronymus, 2012) (Praet, et al., 2012).

Os compostos sulfurosos são extremamente voláteis e podem ser encontrados no lúpulo em percentagens muito baixas, até 1%. Quando adicionados no tanque de ebulição, estes compostos tendem a evaporar-se, não havendo vestígios destes no produto final. No entanto, quando adicionados depois da ebulição, a concentração de sulfureto de dimetilo, dissulfureto de dimetilo e trissulfureto de dimetilo aumenta significativamente. Estes derivados sulfurosos, normalmente, não afetam o aroma da cerveja, contudo, a interação de moléculas de enxofre residuais com as leveduras, no processo fermentativo, pode constituir um problema para o produto final, devido à formação de compostos que se traduzem em aromas pouco agradáveis (Hieronymus, 2012) (Praet, et al., 2012).

Cada variedade de lúpulo possui características muito específicas, devido aos diferentes componentes presentes na sua composição, o que permite obter vários tipos de amargor, aroma e sabor. Tendo em conta a sua constituição, o lúpulo pode ser categorizado como variedade de amargo, de aroma ou de dupla funcionalidade. Lúpulos de amargo apresentam uma maior concentração de  $\alpha$ -ácidos, que são os componentes que mais contribuem para o amargor do produto final. No caso de lúpulos de aroma, estes possuem uma concentração mais alta de óleos essenciais e polifenóis e, por isso, são relativamente mais caros do que as variedades de amargo. Variedades com dupla funcionalidade possuem na sua constituição componentes que contribuem tanto para o amargo como para o aroma da cerveja (Bamforth, 2003) (Kunze, 2004) (Woodske, 2013).

Além da categorização referida anteriormente, existem ainda quatro variedades de lúpulo tradicionais, *Tettnanger*, *Spalt*, *Saaz* e *Hallertau*, que, devido ao facto de terem sido os primeiros a serem cultivados na Europa, são denominados de lúpulos nobres. Na realidade, estes lúpulos não são mais do que variedades de aroma, pois possuem na sua constituição uma grande quantidade de óleos essenciais (BeerSmith LLC, 2009).

#### **1.1.4. Leveduras**

As leveduras são microrganismos anaeróbicos facultativos, mais especificamente fungos unicelulares. Estas podem obter a energia necessária para a sua subsistência na presença de oxigénio, através do metabolismo de respiração, ou na ausência de oxigénio, através do metabolismo de

fermentação. Na produção de cerveja, estes microrganismos têm como função transformar os açúcares mais simples, monossacáridos em etanol, ou seja, fazerem a fermentação alcoólica. No entanto, podem produzir-se também produtos secundários indesejados, que poderão ter que ser posteriormente removidos, para que não afetem o produto final. A *Saccharomyces cerevisiae* é a espécie de levedura mais utilizada em processos fermentativos com temperaturas altas, entre 15 a 25°C. Para temperaturas mais baixas, entre 6 a 15°C, a espécie mais comum é a *Saccharomyces carlsbergensis* (Kunze, 2004).

A aquisição de levedura é feita em pequenas quantidades e, por isso, necessita de ser propagada antes de ser adicionada à cuba de fermentação. Esta propagação é feita com esterilidade e inicia-se no laboratório, em biorreatores propagadores de, aproximadamente, 15 L, onde é adicionado mosto esterilizado. Posteriormente, a levedura é enviada para tanques de propagação, com volumes bastantes superiores, onde é adicionado mosto de fim de brassagem. No tanque de propagação a levedura é submetida a condições ideais de crescimento e, após atingido o número de células desejado, a levedura é enviada para tanques de fermentação para que se inicie o processo fermentativo de uma determinada cerveja, ou para tanques de armazenamento, denominados de tanques de stockagem, até que seja necessário utilizar a levedura. Para que seja possível determinar a quantidade de leveduras a adicionar numa fermentação é necessário realizar análises ao longo do tempo para determinar o número de células viáveis presentes nos tanques. Na figura 4 está esquematizado de uma forma generalizada o processo de propagação de levedura na Unicer Bebidas, SA.

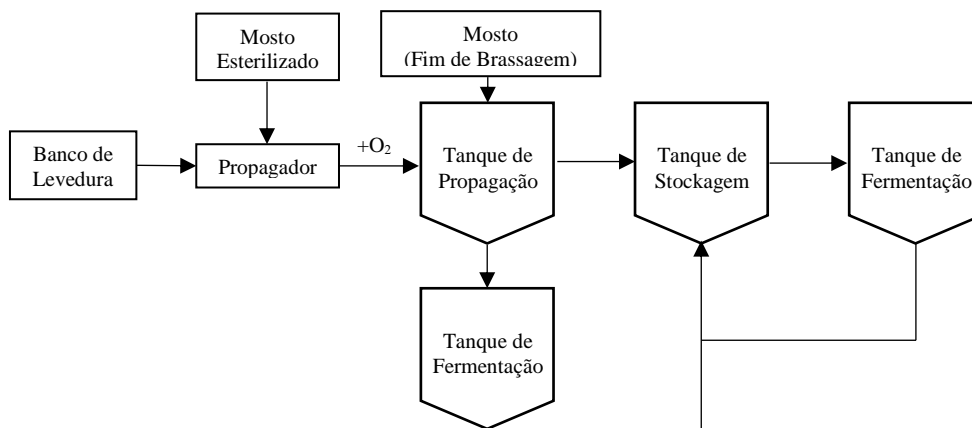


Figura 4 - Processo de propagação de levedura.

No final da fermentação de uma cerveja é possível recolher as células de levedura e enviá-las para outro tanque de stockagem até que seja necessária a sua reutilização. Contudo, geralmente, ao fim de oito fermentações a levedura já não reúne as condições necessárias para ser re-introduzida noutro processo fermentativo e, por isso, é tratada e vendida para ração animal.

## 1.2. Produção de Cerveja

O processo de produção de cerveja pode ser dividido em duas secções: bloco quente (Fabrico) e bloco frio (Adega). O primeiro consiste em todos os passos cujas temperaturas de operação são elevadas, nomeadamente, a maltagem, brassagem e ebulição. O bloco frio inclui as restantes fases, figura 5.

O processo inicia-se com a moagem dos cereais, obtendo-se o *Grist*. Esta moagem é feita para que a área superficial de contato das partículas aumente significativamente, contribuindo para um melhor desempenho enzimático no processo de brassagem (Kunze, 2004).

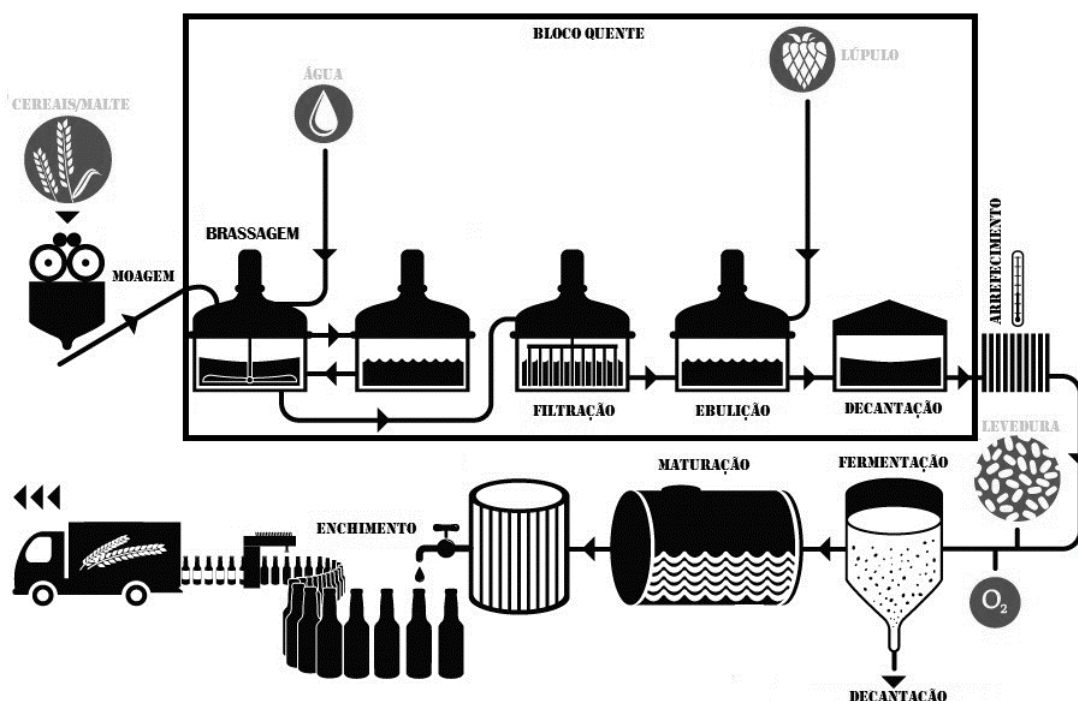


Figura 5 – Esquema do processo de produção de cerveja.

Adaptado de: (LC-GC magazine; Crawford Scientific, 2009).

Na caldeira de brassagem é introduzido o *Grist* e adicionada água quente, com uma temperatura de, aproximadamente, 50°C. Esta mistura é submetida a variações de temperatura durante algumas horas, obtendo-se o mosto. Ao longo deste processo de brassagem efetua-se a degradação das paredes celulares do malte, a degradação do amido e a degradação proteica.

Entre as enzimas responsáveis pela degradação das paredes celulares podem encontrar-se, maioritariamente, as glucanases, as xilanases e as arabinosidases. Já no caso da degradação do amido, as enzimas responsáveis são as  $\alpha$ -amilases, as  $\beta$ -amilases, as dextrinases e as maltases. A degradação de proteínas é realizada por proteases como, por exemplo, endo-peptidases e carboxil-peptidases.

De forma a otimizar o desempenho da atividade enzimática durante a brassagem, este processo pode ser dividido em quatro patamares de temperatura (Willaert, 2007):

- 45-50°C – Degradação proteica e dos beta-glucanos das paredes celulares.
- 62-65°C – Produção de maltose (Temperatura ótima para a atividade da  $\beta$ -amilase).
- 70-75°C – Sacarificação (Temperatura ótima para a atividade da  $\alpha$ -amilase).
- 78°C – Inativação das enzimas; Estabilização dos açúcares fermentáveis.

Os açúcares extraídos do *Grist* para o mosto ao longo do processo de brassagem, são considerados como o extrato. O extrato passa a servir como um parâmetro que representa a quantidade de açúcares presentes no mosto. Desta forma, quanto melhor for a extração durante a brassagem, maior será o extrato do mosto (Willaert, 2007).

Posteriormente, o mosto denso é filtrado para que sejam removidos os vestígios sólidos, denominados de *Dreche*, sendo que esta filtração pode ser dividida em duas fases. A primeira consiste na passagem do mosto denso por um filtro, momento em que a componente sólida fica retida no equipamento. Na segunda fase ocorre a passagem de água quente no filtro por forma a conseguir extrair a maior quantidade possível de açúcares que tenham permanecido na *Dreche*. O mosto filtrado é transferido para o tanque de ebulição (Lewis, 2003).

Na fase de ebulição, adiciona-se o lúpulo ao mosto e, de seguida, aumenta-se a temperatura desta mistura até que se atinja a temperatura de ebulição. Ainda nesta fase é possível adicionar xaropes, para aumentar o teor de açúcares ou melhorar a cor do mosto.

Os principais objetivos da fase de ebulição são (Bamforth, 2003) (Briggs, et al., 2004):

- Esterilização do mosto;
- Isomerização dos  $\alpha$ -ácidos presentes no lúpulo;
- Dissolução dos componentes do lúpulo como, por exemplo, iso- $\alpha$ -ácidos;
- Desnaturação de enzimas presentes no mosto que podem, posteriormente, provocar reações indesejadas;
- Concentração do mosto, que devido à lavagem efetuada na filtração foi diluído;
- Coagulação de proteínas indesejáveis formadas durante a empastagem e que podem causar problemas de turvação no produto final.

O mosto obtido da ebulição é transferido para um tanque *Whirlpool*, através de uma entrada tangencial, que devido ao ângulo de entrada provoca a rotação da mistura, permitindo que os resíduos sólidos se depositem no fundo do tanque, figura 6, fazendo com que o processo de clarificação do mosto seja mais rápido. Os componentes em suspensão que se irão aglomerar no fundo do tanque formam um depósito, denominado de *Trub*. Nesta fase o mosto clarificado é retirado do tanque *Whirlpool* por uma saída lateral, que se encontra ligeiramente acima do depósito do *Trub*.

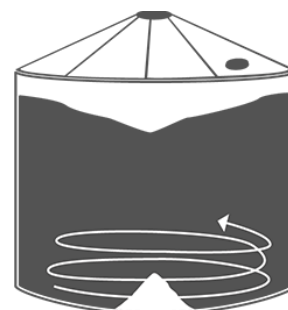


Figura 6 - Tanque *Whirlpool*.  
Adaptado de: (Bières de Chimay SA, 1998).

Antes de ser enviado para a cuba de fermentação o mosto é arrefecido, através de um permutador de placas, pois, devido à ebulição, o mosto encontra-se muito quente, aproximadamente 90°C. A temperatura para qual o mosto é arrefecido depende da levedura que será utilizada no processo fermentativo, sendo que o valor pode variar entre os 8 e 17°C. O controlo de temperatura é extremamente importante nesta fase, pois caso a mistura não atinja a temperatura ideal para a fermentação, pode haver degradação da levedura, no caso de temperaturas muito altas, ou inativação destas, a temperaturas muito baixas. O mosto arrefecido é transferido para a cuba de fermentação sob condições estéreis para que não haja contaminação do mesmo (Kunze, 2004).

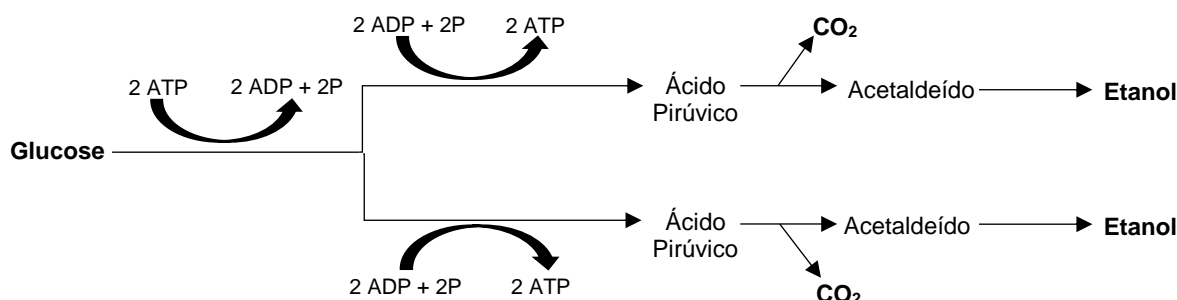
Durante a transferência de levedura para a cuba ocorre um arejamento assético, com a introdução de oxigénio puro ou ar esterilizado em quantidades reduzidas, criando as condições ideais para a reprodução da levedura. Este arejamento é realizado para que haja, numa fase inicial, um aumento significativo do número de células, permitindo que, posteriormente, o processo fermentativo seja mais rápido.

A fermentação é uma das etapas mais importantes do processo de produção de cerveja, pois é nesta fase que os açúcares fermentáveis do mosto são transformados em etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). O tempo de fermentação depende de vários fatores, como o tipo de levedura ou o número de células introduzido na cuba, e, geralmente, varia entre três a catorze dias (Bamforth, 2006) (Campos, 2009).

O processo fermentativo pode ser dividido em quatro fases distintas. A primeira, fase *lag*, consiste na adaptação das leveduras ao meio em que são introduzidas, havendo o consumo do  $\text{O}_2$  presente. Não ocorre a assimilação de açúcares nesta fase, já que as leveduras se estão a adaptar e assim utilizam as suas reservas de glicogénio como fonte de energia. Além disso, ocorre a absorção de aminoácidos, vitaminas e minerais, que permite às leveduras produzir enzimas e constituintes da parede celular necessários ao seu crescimento. Imediatamente a seguir ocorre a fase de crescimento que se caracteriza pela multiplicação intensa das células de levedura (Boulton & Quain, 2008) (Lodolo, et al., 2008).

A fermentação alcoólica, propriamente dita, corresponde à terceira fase do processo. À medida que o oxigénio é consumido, as leveduras entram em condições de anaerobiose. Nesta fase os açúcares fermentáveis presentes no mosto começam a ser transportados para o interior das células de levedura e a fermentação alcoólica inicia-se. Dependendo da natureza do açúcar, a metabolização inicia-se de forma diferente. No caso de monossacáridos, como a frutose e a glucose, estas entram na célula por difusão facilitada com auxílio de uma permease. No caso da sacarose, um dissacárido, esta tem de ser hidrolisada por uma enzima que a célula de levedura produz, a invertase, originando uma molécula de frutose e outra de glucose (Boulton & Quain, 2008) (Lodolo, et al., 2008).

No caso concreto da glucose, figura 7, esta sofre oxidação, dando origem a duas moléculas de ácido pirúvico, sendo que ao mesmo tempo ocorre a formação de moléculas de ATP, a partir de ADP e fósforo. Além das reações referidas anteriormente, durante a oxidação da glucose, ocorre ainda a redução de  $\text{NAD}^+$  em  $\text{NADH}$  que, posteriormente, é oxidado para a formação de etanol (Campos, 2009).



**Figura 7** – Diagrama generalizado da fermentação alcoólica de uma molécula de glucose.  
Adaptado de: (Campos, 2009).

Através da ação enzimática da piruvato-descarboxilase, com o auxílio da coenzima pirofosfato de tiamina, cada molécula de ácido pirúvico sofre uma descarboxilação, o que dá origem a uma molécula de  $\text{CO}_2$  e uma de acetaldeído. Por fim, o acetaldeído sofre uma reação de redução, catalisada pela álcool-desidrogenase, e, simultaneamente, oxida o  $\text{NADH}$  a  $\text{NAD}^+$ , originando uma molécula de etanol (Campos, 2009).

O dióxido de carbono produzido durante o processo fermentativo é recolhido e encaminhado para a área de recuperação de energia, onde é purificado. Esta recolha permite que, caso seja necessário, o  $\text{CO}_2$  seja utilizado no ajuste da carbonatação da cerveja final.

Por fim, quando já não há açúcares fermentáveis, inicia-se a fase estacionária. Esta fase é caracterizada pela deposição das leveduras no fundo cónico da cuba de fermentação, fenómeno este denominado por floculação. Como as leveduras não floculam todas ao mesmo tempo, não sendo possível prever o fim da fermentação alcoólica, é importante controlar esta fase através de uma medida do consumo de açúcares durante o processo fermentativo, que se denomina de grau de atenuação e corresponde a outro parâmetro de controlo do processo. Geralmente, o valor da atenuação, ou seja, o parâmetro atenuação é comparado com o seu valor limite, que é determinado antes de se iniciar a fermentação. A atenuação limite representa a percentagem máxima de açúcares presentes no mosto, que podem ser fermentados por uma determinada levedura. A fermentação alcoólica termina com a purga da levedura ou seja com a separação das leveduras floculadas e sedimentadas (Kunze, 2004).

Terminado o processo fermentativo, há um período de maturação da cerveja. Esta fase permite remover alguns dos compostos que atribuem um sabor desagradável à cerveja, nomeadamente o diacetilo, produzido pela levedura durante a formação do ácido pirúvico.



Primeiramente, reduz-se a temperatura da cuba para um valor entre 5 a 7°C, permitindo que o diacetilo seja consumido pelas células de levedura que ainda estejam em suspensão. Assim que a concentração de diacetilo na cerveja seja inferior a 0,10 mg/L, há um novo arrefecimento da cuba para uma temperatura de aproximadamente -1°C. Devido à baixa temperatura, os polipéptidos e os polifenóis presentes na cerveja precipitam, tornando a sua remoção bastante mais fácil. A eliminação destes compostos melhora a estabilidade coloidal da cerveja. Além disso, com a segunda redução de temperatura a levedura que permaneceu em suspensão até ao momento sedimenta e é separada (Lodolo, et al., 2008).

Finda a maturação, realiza-se um processo de filtração, clarificação, para eliminar os vestígios sólidos que permanecem na cerveja, como os compostos precipitados durante a maturação ou as células de levedura que não foram removidas na purga. Este processo inicia-se com uma centrifugação de forma a eliminar as partículas que ainda estejam em suspensão. Posteriormente, é utilizado um filtro cilíndrico com várias camadas, sendo que, geralmente, o meio filtrante utilizado é o *Kieselguhr*. Este processo de clarificação permite diminuir a turvação da cerveja, medida que representa a quantidade de partículas em suspensão no produto outro parâmetro de controlo do processo. Todo o processo de filtração deverá ocorrer a temperaturas baixas e na ausência de oxigénio (Bamforth, 2006).

Após a clarificação a cerveja está muito concentrada e apenas com pouco do dióxido de carbono produzido durante a fermentação e, por isso, antes de ser enviada para o enchimento é diluída com água desgaseificada e, normalmente, gaseificada com CO<sub>2</sub> recolhido durante as fermentações. A diluição permite afinar alguns parâmetros físico-químicos que são característicos da cerveja como, por exemplo, o extrato, o álcool, o amargo, a cor e o pH (Kunze, 2004).

A cerveja filtrada é enviada para um tanque de cerveja filtrada (TCF) até que seja enviada para as linhas de enchimento. Depois de acondicionada (engarrafada e selada), faz-se a pasteurização da cerveja, que consiste na inativação de micro-organismos potencialmente prejudiciais para a qualidade e validade do produto. Esta pasteurização é realizada quando as garrafas passam num túnel com jatos de água quente, em que a temperatura é aumentada, por patamares, até atingir 60°C, durante 20 minutos. Terminada a pasteurização, as garrafas cheias são rotuladas e embaladas em *packs* ou grades (Kunze, 2004).

### **1.3. Análise da Qualidade do Produto**

Durante todo o processo de produção deve ser feito um controlo de vários parâmetros físico-químicos e microbiológicos, para garantir que todas as fases do processo estejam a decorrer dentro da normalidade. Já no caso do produto final, para além das análises referidas anteriormente, faz-se a uma análise sensorial para avaliar as suas características em termos sensoriais e organoléticos.

### **1.3.1. Análise Físico-Química**

Existem vários parâmetros físico-químicos que devem ser acompanhados durante o processo de produção de cerveja, entre os quais:

#### **A. Extratos (Primitivo, Real e Aparente)**

O **extrato primitivo**, ou extrato original, representa o teor de sólidos solúveis presentes no mosto antes de se iniciar a fermentação, sendo estes maioritariamente açúcares fermentáveis. A determinação deste parâmetro faz-se tendo em consideração a densidade relativa do meio, que neste caso é maioritariamente a água (Kunze, 2004) (Manning, 1993).

Ao longo da fermentação é medido o **extrato aparente** que representa a quantidade de açúcares que ainda permanece no mosto. No entanto, com o avanço do processo fermentativo ocorre a formação de etanol, cuja densidade relativa é diferente da densidade da água. Desta forma, é também determinado o **extrato real**, que representa a quantidade de açúcares ainda presentes na cerveja ao longo do processo fermentativo, tendo em consideração as densidades relativas da água e do etanol (Bamforth, 2003) (Manning, 1993).

Geralmente, estes parâmetros são expressos em graus Plato, °P. Esta unidade não faz parte das unidades de sistema internacional, no entanto, é a forma mais utilizada na indústria cervejeira. Na realidade, esta unidade representa a quantidade de açúcares fermentáveis numa massa de mosto ou cerveja em percentagem mássica % (m/m). Considerando uma amostra que contém apenas sacarose e que a sua massa corresponde a 10 % do peso da solução, conclui-se que o mosto apresenta um extrato de 10 °P (Manning, 1993).

#### **B. Atenuação**

Durante a fermentação, os açúcares fermentáveis, quantificados pelo extrato presente no mosto são convertidos em álcool. A **atenuação** quantifica a percentagem, % (m/m), de açúcares que sofreu fermentação.

No caso da **atenuação limite**, esta representa a percentagem máxima dos açúcares, presentes no mosto, que são fermentáveis por um determinado tipo de levedura (Kunze, 2004).

#### **C. Coloração**

A coloração é um fator importante a ter em conta em todas as cervejas, desde as mais claras às mais escuras. Este parâmetro está associado maioritariamente ao tipo de malte utilizado, porém também pode ser influenciado pelas condições do processo, nomeadamente tempos de ebulição muito longos (Bamforth, 2003).

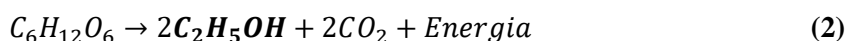
O parâmetro coloração pode ser apresentado em três escalas de cor diferentes, SRM (*Standard Reference Method*), Lovibond e EBC (*European Brewery Convention*), sendo que as duas

primeiras são aproximadamente iguais. A escala EBC pode ser relacionada com a SRM pela equação (1) (Kunze, 2004).

$$EBC = SRM \times 1,97 \quad (1)$$

#### D. Álcool

O álcool, ou seja, o etanol, forma-se na cerveja como resultado do processo fermentativo dos açúcares presentes no mosto, a fermentação alcoólica. Apresenta-se em seguida a equação da fermentação alcoólica, equação 2 (Campos, 2009):



Este parâmetro normalmente é expresso em percentagem volumétrica, % (v/v).

#### E. pH

O pH tem um efeito substancial na qualidade da cerveja, influenciando o sabor do produto e diminuindo o crescimento de microrganismos indesejados.

O mosto é considerado ideal se, no final da brassagem, se encontrar no intervalo de pH de 5,0 a 5,5, o pH ótimo para a fermentação de leveduras. O valor final do pH da cerveja é influenciado pelo valor de pH do mosto, o poder tampão respetivo e o tipo de levedura e respetiva fermentação realizada (Bamforth, 2006) (Pires & Brányik, 2015).

#### F. Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono é, para além do etanol, o outro produto da fermentação dos açúcares presentes no mosto, equação (2). A análise deste parâmetro é extremamente importante para o produto final, pois influencia a produção da espuma e a estabilidade microbiológica. Além disso, níveis muito elevados de CO<sub>2</sub> podem aumentar a pressão nas garrafas comercializadas originando o seu rebentamento. Este parâmetro é apresentado em g/L (Kunze, 2004).

#### G. Dióxido de Enxofre

O dióxido de enxofre é produzido metabolicamente ao longo do processo de produção de cerveja, originando-se espontaneamente durante a fermentação. Este pode ter alguns benefícios quando encontrado na cerveja em pequenas concentrações, inferiores a 10 mg/L. Contudo, em quantidades superiores à referida pode ter um efeito indesejado no aroma da cerveja (Munroe, 2006).

#### H. Diacetilo

O diacetilo é produzido durante o processo fermentativo e, em casos em que não é metabolizado pelas células de levedura ao longo da fermentação, pode acumular-se e contribuir para um aroma e sabor amanteigado. De forma a evitar estas características indesejadas e garantir a

qualidade do produto, a concentração de diacetilo na cerveja não deve ser superior a 0,10 mg/L (Kunze, 2004) (Pires & Brányik, 2015).

#### **I. Amargor**

O amargor, ou teor de amargo, resulta da isomerização dos  $\alpha$ -ácidos presentes nos preparados de lúpulo, sendo que, para além de influenciar as características sensoriais e organoléticas do produto, tem uma influência significativa na estabilidade microbiológica do produto e na sua espuma. Este parâmetro é quantificado em Unidades de Amargor (UA), sendo que 1 UA corresponde a 1 mg de iso- $\alpha$ -ácidos por mL de solução (Kunze, 2004).

#### **J. Turvação**

A turvação representa a quantidade de partículas que estão em suspensão na cerveja. A análise deste parâmetro é importante pois, geralmente, os consumidores associam a cerveja a um produto límpido e brilhante, havendo a necessidade do controlo do aspeto visual do produto. Para tal, são realizadas análises de turvação a 20 °C e 0 °C. A turvação a 0 °C permite determinar se um produto, que aparenta ser límpido e brilhante a 20 °C, fica turvo quando submetido a temperaturas mais baixas (Bamforth, 2003) (Kunze, 2004). Este parâmetro é geralmente quantificado em unidades EBC.

### **1.3.2. Análise Microbiológica**

Embora a cerveja possua várias características que inibem o crescimento de microrganismos potencialmente prejudiciais para o produto, como, o baixo pH, a quantidade de etanol e o ambiente anaeróbico, a monitorização destes é extremamente importante. Geralmente, a contaminação da cerveja com organismos patogénicos provém da contaminação das matérias-primas utilizadas no processo de produção ou de um mau manuseamento do produto (Kunze, 2004).

### **1.3.3. Análise Sensorial**

O principal objetivo da análise sensorial é avaliar parâmetros que não podem ser quantificados analiticamente, como é o caso do aroma ou do sabor da cerveja.

Por vezes, o objetivo das análises sensoriais pode incidir na preferência em termos de aroma e sabor para o consumidor. Normalmente os resultados das provas dos novos produtos, ou dos produtos resultantes de modernizações, têm como principal foco a qualidade do produto e as semelhanças com o produto que foi produzido anteriormente.

Os produtos acabados são submetidos a uma análise organolética, que consiste em identificar as qualidades e os defeitos destes. Este tipo de análises são realizadas por um painel de provadores

treinados que têm em consideração as características sensoriais e organoléticas exigidas para cada produto (Unicer Bebidas, SA, 2004b).

#### **1.4. Tipos de Cerveja**

De acordo com as temperaturas de fermentação, as cervejas podem ser divididas em dois tipos: *Ales* e *Lagers* (The Garage Inc., 2015).

As *Ales* identificam-se como cervejas fermentadas a temperaturas mais altas, 15 a 25°C, sendo que estas podem ser divididas em vários subgrupos de acordo com as matérias-primas utilizadas. Entre as mais comuns estão as *WeissBiers* e as *Pale Ales* (Kunze, 2004).

As *Lagers* são fermentadas a temperaturas mais baixas, entre 6 a 15°C, sendo estas também divididas em vários subgrupos como, por exemplo, as *Pale* e *Dark Lagers* e as *Bock*. Devido à facilidade de controlo do processo fermentativo a temperaturas baixas, estas cervejas são as mais produzidas a nível mundial (Bamforth, 2006) (Unicer Bebidas de Portugal SGPS SA, 2015).

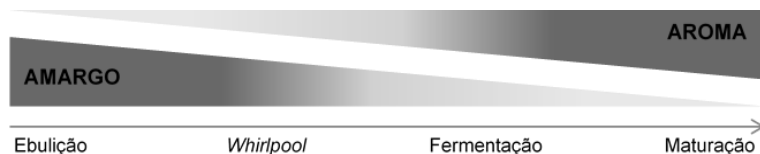
Contudo, a classificação referida anteriormente refere-se apenas aos termos utilizados nos EUA. No caso da Alemanha e Inglaterra existem categorizações alternativas que vão de encontro à história da indústria cervejeira no respetivo país (Beer Judge Certification Program, Inc., 2015).

#### **2. DRY-HOPPING**

Existem três principais pontos de adição de lúpulo no processo de produção de cervejas, sendo que o mais usual consiste na adição deste na caldeira de ebulição. Os outros dois processos consistem em processos de lupulagem avançada, sendo eles a lupulagem tardia, adição feita na caldeira de *Whirlpool*, antes da filtração ou da centrifugação, e o processo *Dry-Hopping*, adição durante a fermentação ou maturação da cerveja (Wolfe, 2012) (Rettberg & VLB, 2015).

Como referido anteriormente, a reação de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos presentes no lúpulo é influenciada pelas temperaturas elevadas da fase de ebulição, aumentando o teor de amargo no produto. Em contrapartida, grande parte dos compostos voláteis, que conferem aroma e sabor à cerveja, evaporam a altas temperaturas.

Existe uma relação entre os pontos de adição de lúpulo e as variedades deste. Variedades de amargo são aconselhadas para adição na fase de ebulição, enquanto variedades de aroma são ideais para processos de lupulagem avançada (Hieronymus, 2012). Na figura 8 apresenta-se a influência dos componentes de lúpulo no teor de amargo e aroma ao longo do processo de produção de cerveja.



**Figura 8** – Influência dos pontos de adição de lúpulo no teor de amargo e aroma da cerveja.

Adaptado de: (Rettberg & VLB, 2015).

A adição de lúpulo em fases mais avançadas do processo permite obter produtos com características sensoriais bastante diferentes, devido ao melhor aproveitamento dos componentes que contribuem para o aroma e sabor da cerveja.

Ao introduzir preparados de lúpulo na caldeira de *Whirlpool* aumenta-se a quantidade de compostos que contribuem para o sabor e aroma da cerveja. Isto deve-se ao facto de a temperatura desta fase ser menor do que a fase de ebulição, evitando a oxidação e evaporação de alguns óleos essenciais. Este processo de lupulagem tardia permite obter um teor de amargo, aroma e sabor maior do que se só houvesse introdução de lúpulo na fase de ebulição. Contudo, os resultados obtidos deste processo dependem do tempo de exposição ao lúpulo na fase de *Whirlpool*, ou seja, tempos de residência maiores permitem obter teores de amargo, aroma e sabor superiores (Hieronymus, 2012) (Rettberg & VLB, 2015).

A introdução de um processo de *Dry-Hopping* consiste na adição de lúpulo na fase fria do processo, o que significa que tanto pode ocorrer na fase de fermentação, como no enchimento da cerveja. Este processo de lupulagem tardia tem como principal objetivo conferir aroma e sabor à cerveja através dos óleos essenciais presentes no lúpulo, que devido à baixa temperatura do processo não sofrem evaporação ou oxidação. O *Dry-Hopping* é utilizado maioritariamente em cervejas do tipo *Lager*, *Indian Pale Ale* (IPA) e *Pale Ale* (Barth-Haas Hops Academy, 2015) (Rettberg & VLB, 2015) (Wolfe, 2012).

A influência do processo de *Dry-Hopping* não se resume só à contribuição deste no aroma e sabor, mas, também, à contribuição na estabilidade coloidal e da espuma. Contudo, geralmente, as características sensoriais sofrem alterações depois do enchimento da cerveja, devido ao envelhecimento dos componentes de lúpulo ao longo do tempo (Zunkel, 2015).

### **2.1. Métodos de *Dry-Hopping***

Dependendo do local de adição de lúpulo, é possível utilizar diferentes métodos para adicionar os preparados de lúpulo nas fases frias do processo de produção de cerveja.

No caso de preparados de lúpulo líquidos, como óleos ou extratos, estes não requerem nenhum método ou equipamento específico para adição, pois basta introduzir estes preparados diretamente na cerveja. Estes são geralmente utilizados depois da filtração da cerveja ou no enchimento. Para situações de *Dry-Hopping* durante o enchimento, existe ainda a possibilidade de adicionar cones de lúpulo secos ao produto final, só sendo removidos quando a cerveja for consumida (Barth-Haas Hops Academy, 2015).

Na fase de fermentação/maturação, é possível adicionar o lúpulo na cuba de fermentação desde que ocorra uma primeira dissolução dos preparados de lúpulo em água ou cerveja. Essa mistura é enviada para a cuba de fermentação, permanecendo lá até ao final do processo de maturação.

Posteriormente, é feita uma filtração do produto. Este é o denominado “método da lama” (Barth-Haas Hops Academy, 2015).

Outro método utilizado nesta fase é o “saco de chá”. Assim como acontece com um “saco de chá”, a cerveja está em contato com os preparados de lúpulo, havendo a possibilidade de dissolução dos componentes que realmente interessam para o produto final, mas mantendo os resíduos dentro do saco para que seja possível a sua remoção. Contudo, o método mais simples e mais utilizado pela indústria cervejeira é o chamado “tanque de recirculação”. Os preparados de lúpulo são introduzidos no tanque de recirculação, onde ocorre uma posterior pressurização com dióxido de carbono, e, de seguida, a cerveja sofre recirculação dentro desse mesmo tanque por um determinado tempo (Barth-Haas Hops Academy, 2015) (Hieronymus, 2012).

## **2.2. Parâmetros que influenciam o *Dry-Hopping***

Para além da temperatura, da variedade de lúpulo, do local e método de adição, existem outros parâmetros que influenciam o processo de *Dry-Hopping*, nomeadamente (Barth-Haas Hops Academy, 2015):

### **A. Tipo de preparados de lúpulo**

Existe uma diferença significativa entre a adição de cones de lúpulo inteiros e *pellets*. No caso dos primeiros, estes não permitem obter um rendimento muito alto devido ao facto da área superficial de contacto ser relativamente mais reduzida. Uma solução para este problema passa pela trituração dos cones com aumento da área superficial.

O doseamento é mais fácil no caso das *pellets* e, como seria de esperar, a área de contacto superficial é significativamente mais elevada. No entanto, a remoção dos seus resíduos é mais difícil do que no caso dos cones de lúpulo inteiros (Zunkel, 2015).

### **B. Adição estática ou dinâmica**

No caso da utilização de *pellets* de lúpulo e para situações de adição dinâmica, o produto adquire um aroma e amargo mais intenso. A agitação da mistura permite que as partículas que estão compactadas se dispersem, devido ao aumento de contato das partículas de lúpulo com a cerveja, facilitando a extração dos componentes. Contudo, a cerveja também adquire mais características adstringentes.

A extração dos componentes do lúpulo em adições estáticas é mais demorada e mais difícil em *pellets* devido ao facto de não haver movimento dentro do equipamento que permita a dispersão das partículas compactadas, fazendo com que a área superficial de contacto seja mais reduzida (Wolfe, 2012).

### **C. Tempo de contato**

Tendo em conta a dificuldade da extração dos componentes dos cones de lúpulo secos, é de esperar que o tempo de contato não tenha grande influência no aumento da concentração desses mesmos componentes. Contudo, não é possível afirmar o mesmo para o caso das *pellets*. Para além deste último tipo de preparados conferir uma maior concentração de óleos essenciais, a existência de um tempo de contato prolongado é importante para que a extração seja concluída (Mitter & Cocuzza, 2013).

### **D. Quantidade de lúpulo**

A quantidade de lúpulo utilizada depende do objetivo desejado para o produto final, pois é possível conferir diferentes intensidades de aroma e sabor, à mesma cerveja base, tendo em conta a quantidade de lúpulo durante o processo de *Dry-Hopping*. (Mitter & Cocuzza, 2013).

### **E. Levedura**

Como foi referido anteriormente, a interação de células de levedura com os componentes de lúpulo pode resultar em biotransformações, sendo que os compostos resultantes destas podem alterar drasticamente o perfil aromático da cerveja.

Em contrapartida, para processos com equipamentos onde o oxigénio não é purgado, a utilização da levedura permite controlar a oxidação dos componentes do lúpulo, pois as células tendem a consumir o oxigénio presente evitando esta oxidação indesejável (Wolfe, 2012).

### **F. Número de adições**

Existem avaliações de painéis sensoriais que revelam que fazendo *Dry-Hopping* com a mesma quantidade de lúpulo mas em adições separadas intensifica o sabor do produto final. No entanto, é uma questão de preferência por parte do cervejeiro fazer uma ou mais fases de *Dry-Hopping* pois o tempo de operação será diferente (Hieronymus, 2012).



## MATERIAIS E MÉTODOS

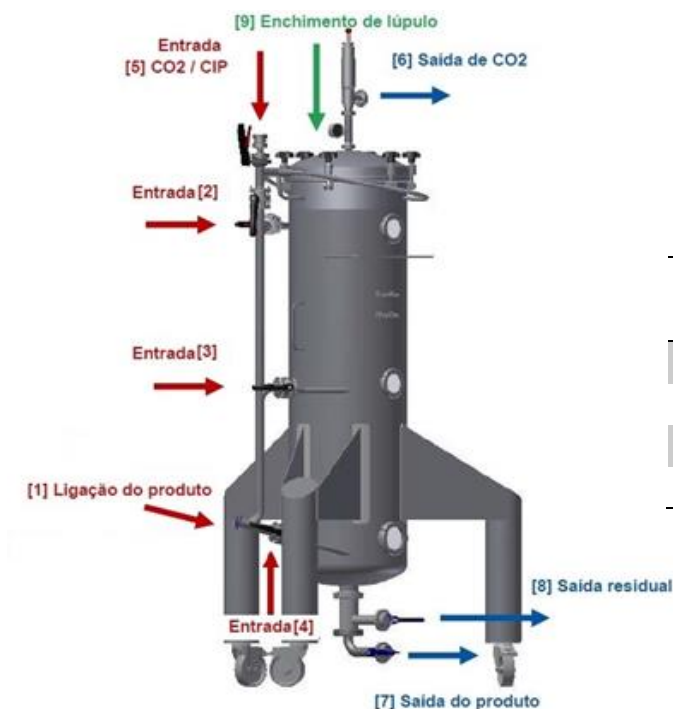
### 1. HOPGUN

O equipamento utilizado durante este projeto foi adquirido pela Unicer, à empresa BrauKon, e consiste num cilindro que possui um veio central perfurado, que serve como filtro, mantendo os resíduos de lúpulo dentro do equipamento e deixando passar a cerveja com os componentes de lúpulo dissolvidos.

O *HopGun* baseia-se no conceito do tanque de recirculação, com a vantagem de filtrar os resíduos de lúpulo, cujo diâmetro é superior ao dos poros do veio central. A cerveja é introduzida lateralmente no equipamento, provocando um vórtice que força a passagem da cerveja pelo veio central, sendo enviada novamente para a cuba. A recirculação é feita até que se atinjam as características sensoriais desejadas para o produto final.

Na figura 9, é possível observar a estrutura do *HopGun*, a identificação que foi utilizada para cada uma das válvulas ao longo deste projeto e a sua respetiva função.

Na tabela 1, encontram-se as principais características do equipamento.



**Tabela 1** – Principais características do *HopGun*.

Adaptado de: (BrauKon GmbH, 2015)

<b>Quantidade Máxima de Lúpulo</b>	50 kg
<b>Volume Máximo</b>	325 L
<b>Peso do <i>HopGun</i> vazio</b>	210 kg
<b>Peso Total</b>	535 kg
<b>Pressão Máxima</b>	3 bar

**Figura 9** – Imagem representativa do *HopGun* e ligações do processo.

Adaptado de: (BrauKon GmbH, 2015).

Como é possível observar na figura 9, a cerveja em maturação que sai do fundo da cuba entra no equipamento pela ligação de produto [1], que por sua vez faz a distribuição da cerveja pelas válvulas de entrada [2], [3] e [4]. Contudo, como a pressão da cuba não é suficiente para forçar o envio de cerveja até ao equipamento, é necessário recorrer à utilização de uma bomba centrífuga para

que o líquido entre no *HopGun*. A bomba referida trata-se de um equipamento que foi adaptado especificamente para satisfazer as necessidades do processo de *Dry-Hopping* e possui um diferenciador que permite aumentar ou diminuir a frequência da bomba.

A recirculação da cerveja é feita dentro do equipamento por um determinado período de tempo e o líquido é transportado para a entrada da cuba que, neste caso, corresponde a uma válvula de três vias que se encontra aproximadamente a metade da altura total da cuba, válvula de DH, figura 10.

É necessário haver uma diferença de pressão entre o *HopGun* e a cuba de pelo menos 0,2 bar, de forma a garantir o envio de cerveja do equipamento até à válvula de entrada da cuba sem a utilização de uma bomba.

A válvula de DH é controlada através de um programa computacional incluído no computador da Mini-Fábrica, denominado de autómato.

Assim que se inicia o *Dry-Hopping* no autómato, a válvula de DH é ativada fechando a ligação B, bloqueando o acesso ao topo da cuba, e permitindo que a cerveja entre no meio da cuba de fermentação. Quando a válvula de DH está desativada, a ligação B fica aberta permitindo o acesso ao chuveiro da cuba. O programa computacional referido também controla o funcionamento da Bomba DH, ou seja, a bomba só começa a trabalhar quando se inicia o *Dry-Hopping* no autómato.

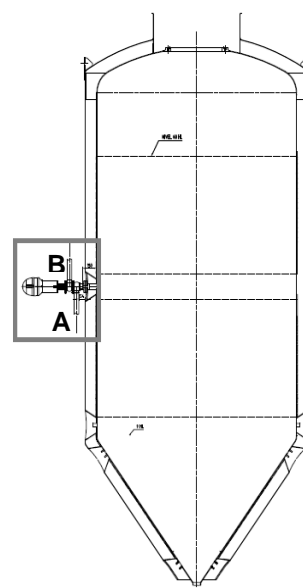
A limpeza do equipamento é feita tendo em conta o método de *Cleaning in Place* (CIP), onde é utilizada uma bomba centrífuga adaptada para o efeito.

### **1.1. *Cleaning in Place***

Por definição *Cleaning in Place* (CIP) significa que a limpeza de um equipamento, ou de uma linha de produção, ocorre sem haver qualquer desmontagem do sistema em questão. Este método é utilizado em sistemas mecânicos ou químicos utilizados na indústria alimentar que requerem a limpeza após o fim de um processo. Existem quatro parâmetros que contribuem para a eficiência da limpeza CIP, são eles o mecânico, químico, térmico e o tempo.

O parâmetro mecânico corresponde ao fluxo de solução de limpeza que passa pelo equipamento e a sua velocidade. A regra geral do CIP define um caudal com regime turbulento e uma velocidade superior a 1,5 m/s.

O parâmetro químico é referente às soluções utilizadas nas diferentes fases de limpeza para que esta seja mais eficaz. Geralmente, é feito um enxaguamento inicial com água e de seguida utilizada uma solução alcalina que permite a dissolução da maior parte do material orgânico.



**Figura 10** – Imagem representativa da válvula de *Dry-Hopping*.

Posteriormente, é feito um novo enxaguamento com água para remover qualquer vestígio da solução alcalina e, seguidamente, utiliza-se uma solução ácida, com a finalidade de remover o material inorgânico. O CIP termina com o enxaguamento final com água.

Relativamente ao parâmetro térmico, o método de CIP utiliza uma única regra fundamental que define que a temperatura de limpeza do sistema deve ser igual àquela que foi utilizada durante o processamento do produto, pois a utilização de temperaturas mais elevadas durante o CIP pode promover reações indesejadas e dificultar a limpeza do sistema.

O tempo é um parâmetro que depende dos três referidos anteriormente, pois a diminuição da concentração de uma solução ou o aumento da temperatura de um passo do programa de CIP pode aumentar o tempo necessário para que a limpeza seja eficaz (Tetra Pak International SA, 2014).

## **1.2. Instrução de Trabalho**

A instrução de trabalho é um documento de elevada importância, utilizado pela Unicer Bebidas, SA, para descrever de forma clara a execução de uma tarefa. Este documento foi implementado na empresa de acordo com a ISO 9001. No anexo B encontra-se um exemplo de uma instrução de trabalho.

Ao longo deste projeto foram realizadas várias instruções de trabalho para explicar em detalhe os procedimentos de funcionamento e limpeza do *HopGun* e outras tarefas relacionadas com o processo de *Dry-Hopping* no geral.

## **2. QUALIDADE DO PRODUTO**

Este projeto divide-se em duas fases, sendo que a primeira consiste na produção de uma cerveja *Lager* com *Dry-Hopping* com um único lúpulo, Cerveja X. A segunda fase consiste na produção de uma cerveja do tipo *Indian Pale Ale*, que sofre um processo de *Dry-Hopping* com duas variedades de lúpulo, Cerveja Y.

Em ambos os casos o processo de *Dry-Hopping* ocorreu no fim da maturação e praticamente toda a levedura foi purgada antes de iniciar o processo. Além disso, para todos os ensaios realizados com o *HopGun* foi utilizado lúpulo em *pellets*.

De forma a acompanhar todo o processo de produção das cervejas e do efeito do *Dry-Hopping* no produto monitorizaram-se os seguintes parâmetros físico-químicos: Extratos, Atenuação, Coloração, Amargor, Álcool, pH, Diacetilo, Turvação, CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> Total. Foram ainda realizadas análises microbiológicas, de forma a controlar e prevenir qualquer tipo de contaminação no produto. Efetuaram-se também provas de análise sensorial com um painel de provadores experientes para verificar a influência do processo de *Dry-Hopping* no sabor e aroma do produto.

### **2.1. Beer Analyser**

A determinação de alguns parâmetros físico-químicos, entre os quais os **extratos**, a **atenuação**, a **coloração**, o **álcool** e o **pH**, foi realizada com o auxílio de um equipamento de análise específico da marca Anton Paar, o *Beer Analyser*.

Este analisador automático tem incluído um densitômetro digital que permite obter a leitura da densidade da cerveja através do método do tubo em U oscilante e que, posteriormente, é utilizado para determinar os valores dos **extratos** automaticamente.

Os resultados da **atenuação** também foram obtidos através do *Beer Analyser*, que, depois de determinar os valores dos extratos e da percentagem de álcool, calcula a atenuação automaticamente.

Para a determinação da **atenuação limite** foi necessário preparar uma amostra do mosto produzido através da adição de levedura do tipo que seria utilizado durante a fermentação. Além disso, foi adicionada uma grande quantidade de levedura para acelerar processo fermentativo, permitindo obter os resultados antes de se iniciar a fermentação do mosto que estava a ser analisado (Unicer Bebidas, SA, 2004c).

A análise de **coloração** foi feita no *Beer Analyser*, utilizando o método de espectrofotometria visível, num comprimento de onda de 430 nm. Através da lei de *Lambert-Beer* o valor obtido era convertido em unidades EBC (*European Brewery Convention*). Este equipamento contém ainda um espectrómetro *NIR* (*Near Infrared Reflectance*), que permite a determinação da percentagem de **álcool** presente na cerveja, e um potenciômetro, para a determinação de valores de **pH**.

Todas as amostras, antes de serem analisadas neste equipamento, eram previamente colocadas num banho de água a 20 °C, filtradas e desgaseificadas (Unicer Bebidas, SA, 2004c).

### **2.2. Dióxido de Carbono**

Para a análise de dióxido de carbono foi utilizado um medidor de CO<sub>2</sub>, CarboQC, da marca Anton Paar. Este equipamento determina a pressão e temperatura da fase gasosa. Através de um algoritmo de cálculo introduzido no equipamento foi possível relacionar os valores obtidos com o teor de CO<sub>2</sub>, em g/L. Antes de se iniciar a análise foi necessário estabelecer um equilíbrio entre o CO<sub>2</sub> dissolvido e o CO<sub>2</sub> gasoso, através da inversão repetida do recipiente que contém a amostra (Unicer Bebidas, SA, 2011b).

### **2.3. Dióxido de Enxofre**

A análise da concentração de SO<sub>2</sub> na cerveja foi realizada através de um equipamento com um sistema de fluxo segmentado, SKALAR San. Para tal, as amostras eram previamente armazenadas a 4°C e desgaseificadas do seguinte modo: As amostras eram acidificadas com ácido sulfúrico e aquecidas de forma a libertar o dióxido de enxofre que se encontrava na cerveja sob a forma complexada. Posteriormente, o SO<sub>2</sub> era separado da solução por uma membrana de diálise e

recolhido numa solução de formaldeído, onde ocorria a formação do ácido hidroximetanosulfónico. Este era de seguida convertido através de uma reação com *p*-rosalina, num complexo corado. Por fim, era feita a leitura de absorvência, num comprimento de onda inferior a 560 nm, e através duma reta de calibração obtinha-se o valor de SO<sub>2</sub> (Unicer Bebidas, SA, 2011a).

#### **2.4. Diacetilo**

O método de análise utilizado para este parâmetro foi a cromatografia gasosa (GC). Inicialmente a amostra era filtrada e desgaseificada. Posteriormente a amostra era transferida para um *vial* e introduzida no cromatógrafo com injetor automático, à uma temperatura de injeção de 150 °C. A amostra foi aquecida a 60°C durante 90 minutos.

A amostra percorre uma coluna capilar de sílica fundida com 50 m de comprimento, 0,32 mm de diâmetro interno, 0,52 μ de fase estacionária, de metilfenil (5%) silicone. Após a separação na coluna, o diacetilo era detetado por um detetor de captura eletrónica, com temperatura de 155 °C. O gás de arrasto utilizado foi azoto num fluxo de 1,1 mL/min.

#### **2.5. Amargor**

O teor de amargo, ou amargor, da cerveja é obtido maioritariamente através da isomerização de α-ácidos. Este parâmetro é determinado através de um método de espectrofotometria de ultravioleta.

A preparação da amostra iniciou-se com a colocação destas num banho a 20 °C durante 15 minutos. Posteriormente, foram colocados 10,0 mL da amostra num matraz e foi adicionada uma gota de álcool octílico para que ocorresse a sua descarbonatação. De seguida, filtrou-se a amostra em papel, adicionou-se 0,50 mL de ácido clorídrico e 20,0 mL de iso-octano, fechou-se o matraz e colocou-se a agitar durante 15 minutos. A reação de acidificação que ocorre devido à adição do iso-octano permite extrair as substâncias amargas presentes na amostra, que são essencialmente iso-α-ácidos. Por fim, deixava-se repousar a amostra e colocava-se numa covete para efetuar a leitura da absorvência (Unicer Bebidas, SA, 2004a).

Considerando a leitura da absorvência (*A*) ao comprimento de onda de 275 nm, e a equação (3), foi possível obter o valor de amargor (*Am*) em unidades de amargor (UA) (Unicer Bebidas, SA, 2004a).

$$Am = 50A \quad (3)$$

#### **2.6. Turvação**

A turvação 20 °C e a 0 °C foram medidas através de um turbidímetro HZ-013, que deteta as partículas em suspensão na cerveja, especialmente aquelas, cujo tamanho é inferior a 1 μm. Este

método consiste na comparação da intensidade da luz difundida pela amostra com a intensidade da luz difundida pela suspensão-padrão, às mesmas condições.

Para o caso da turvação a 20 °C, a amostra foi colocada num banho à temperatura referida antes de se efetuar a análise. A amostra para turvação a 0 °C foi colocada 24 horas num banho a 0°C e, posteriormente, analisada a essa temperatura. Os resultados obtidos foram apresentados em unidades EBC (Unicer Bebidas, SA, 2004e) (Unicer Bebidas, SA, 2004f).

### **2.7. Análise Sensorial**

As provas realizadas consistem em avaliações organoléticas cujo objetivo é identificar as principais qualidades e defeitos do produto através de comentários escritos num boletim de prova, anexo A. Além disso, também foi pedido aos provadores que atribuíssem uma pontuação ao produto de acordo com a escala apresentada abaixo (Unicer Bebidas, SA, 2004b):

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

Todas as provas realizadas durante este projeto foram feitas por um painel de provadores treinados selecionado.

### **2.8. Análise Microbiológica**

A determinação de organismos patogénicos e não patogénicos presentes na cerveja é extremamente importante para o controlo da qualidade do produto.

A análise das cervejas foi realizada através da incubação de amostras em placas de Petri e, posterior, contagem das colónias formadas. Para tal, começou-se por filtrar 100 ml da amostra para uma membrana e outros 100 ml para outra, transferindo de seguida as membranas para caixas de Petri diferentes, ambas com um meio de cultura adequado para incubação de cerveja nomeadamente UBA (*Universal Beer Agar*).

No caso da análise de organismos não patogénicos, a placa era colocada na estufa a 27°C durante 3 dias. Para a incubação da amostra de determinação de organismos patogénicos, a placa era colocada numa estufa sob condições anaeróbicas, a 27°C, durante 7 dias. No final da incubação as placas foram analisadas à lupa contando as unidades formadoras de colónias presentes. Os resultados obtidos foram apresentados em número de colónias por 100 mL, col/100 mL (Unicer Bebidas, SA, 2004g). Realizou-se este tipo de análises a todas as cervejas testadas.

### **3. DETERMINAÇÃO DA MASSA DE LÚPULO**

Ao longo deste projeto foi necessário determinar a massa de lúpulo necessária para cada ensaio, tendo em consideração a concentração de óleos definida na receita da cerveja a ser produzida. Considerando a concentração de óleos nas pellets de lúpulo adquiridas pela Unicer e o volume que seria utilizado para cada ensaio de *Dry-Hopping*, foi possível determinar a massa de lúpulo necessária para os vários ensaios. No anexo C encontra-se um exemplo de cálculo da determinação da massa de lúpulo.

## **DESCRIÇÃO DE TESTES E ENSAIOS**

### **1. INSTALAÇÃO DO HOPGUN**

Tanto o procedimento de operação como de limpeza do equipamento estavam incluídos no manual de instruções fornecido pela *Braukon* (BrauKon GmbH, 2015). Contudo, foram realizados testes de funcionamento e limpeza do *HopGun* de forma a verificar que as instruções do manual eram adequadas e completas para a introdução deste novo equipamento nas linhas de produção de cerveja.

O primeiro teste, teste 1, consistiu na recirculação de água no equipamento, de forma a verificar se o procedimento de funcionamento que se encontrava no manual era o mais correto. Para o segundo teste, teste 2, colocou-se aproximadamente 10 Kg de *pellets* de lúpulo dentro do *HopGun* e utilizou-se, como líquido de recirculação, água desarejada. Este teste permitiu verificar se a relação encontrada através do teste 1 era válida e, no final do processo, avaliar se o procedimento de limpeza do equipamento era o mais adequado tendo em conta os materiais utilizados no processo e as suas quantidades.

### **2. ENSAIOS DA CERVEJA X**

Para a primeira fase foi considerada uma cerveja já produzida anteriormente sem a utilização deste novo equipamento, como ponto de comparação para o produto a obter com a introdução deste novo equipamento. Assim foi escolhida a cerveja X' produzida com um método de *Dry-Hopping* semelhante ao utilizado neste projeto, mas numa empresa parceira da Unicer Bebidas, SA.

O principal objetivo passou por replicar a cerveja já produzida, com o novo equipamento adquirido pela Unicer. Para tal, foram feitos vários ensaios na Mini-Fábrica antes de se passar à fase industrial. Definiu-se que a partir do volume total da cuba, aproximadamente 6500 L, iriam realizar-se três ensaios, figura 11, para minimizar os desperdícios e o custo do processo.

De forma a verificar a influência do processo de *Dry-Hopping* no aroma e sabor da cerveja e tentar atingir as mesmas características sensoriais da cerveja X', foram realizados dois ensaios com a mesma quantidade de lúpulo, C<sub>1</sub>, mas com tempos de recirculação diferentes, 2 e 4 horas, ensaios X1 e X2, respetivamente.

Além disso, tendo em conta que o *HopGun* tem uma capacidade máxima de 50 kg de lúpulo e no caso da produção industrial este valor não seria suficiente para o volume de cerveja produzido, foi realizado um ensaio em que se efetuou *Dry-Hopping* com uma concentração de óleos de lúpulo dez vezes superior à desejada, 10C<sub>1</sub>, ensaio X3. A cerveja concentrada obtida deste ensaio, cerveja X3, foi misturada com aquela que não sofreu *Dry-Hopping*, sendo diluída e originando a cerveja X<sub>Mistura</sub>. Para tal, antes de se iniciar o processo, transferiu-se um volume da cerveja X<sub>0</sub>, para um tanque de cerveja filtrada, transferência X0. Este terceiro ensaio serviu também para verificar a viabilidade



do projeto à escala industrial. Na figura 11 estão esquematizados os vários ensaios realizados na Mini-Fábrica.

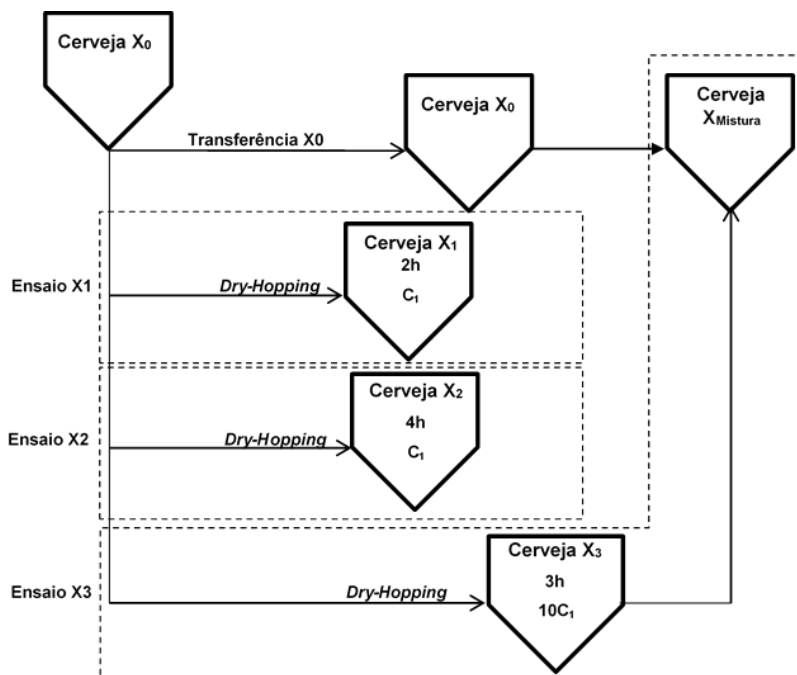


Figura 11 – Diagrama representativo dos ensaios efetuados para a cerveja X na Mini-Fábrica.

No caso da produção industrial, ensaio X4, esta foi realizada com o mesmo conceito do ensaio X3, no entanto, os volumes utilizados foram bastante maiores. Desta forma, transferiu-se 6500 L de cerveja  $X_A$  que se encontrava na adega para a cuba de fermentação da Mini-Fábrica, transferência 1, e efetuou-se o *Dry-Hopping* concentrado nessa fração de líquido.

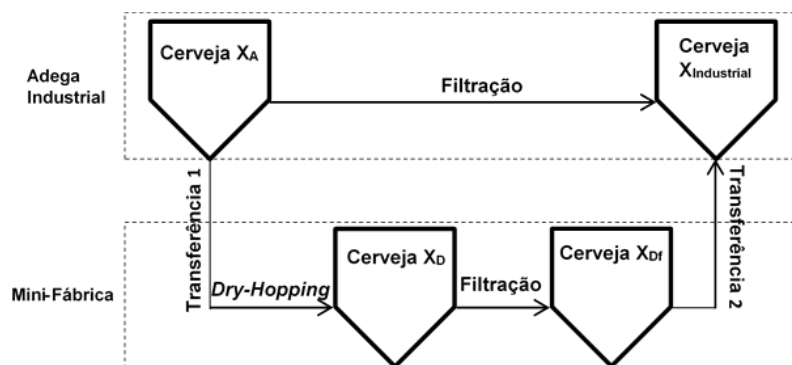


Figura 12 – Diagrama representativo do ensaio X4.

Posteriormente, filtraram-se os volumes separadamente e transferiu-se novamente a cerveja da Mini-Fábrica para a adega, transferência 2, onde a cerveja concentrada foi misturada com a cerveja  $X_A$ . O esquema relativo ao ensaio X4 pode ser observado na figura 12.

### **3. ENSAIOS DA CERVEJA Y**

No caso da cerveja Y, o objetivo passou por replicar uma cerveja que sofreu um processo de *Dry-Hopping* convencional, ou seja, as *pellets* de lúpulo foram dissolvidas em água e essa mistura foi transferida para a cuba onde se encontrava a cerveja em início de maturação.

Foram realizados dois ensaios, Y1 e Y2, com parâmetros iguais, à exceção do tempo de contato do lúpulo com a cerveja na cuba, já depois do processo de *Dry-Hopping*, resultando desses mesmos testes as cervejas Y<sub>1</sub> e Y<sub>2</sub>.

O tempo de contato referido consiste no prolongamento da estadia da cerveja na cuba de fermentação, após o processo de *Dry-Hopping*, antes de ser filtrada e transferida para um TCF. No caso da cerveja Y<sub>1</sub>, esta permaneceu na cuba de fermentação em contato com as partículas de lúpulo durante, aproximadamente, 7 dias. A cerveja Y<sub>2</sub> foi filtrada e transferida para um TCF imediatamente após o fim do processo de *Dry-Hopping*.

# **APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS**

## **1. INSTALAÇÃO DO HOPGUN**

### **1.1. Validação da Conformidade Legal**

Antes da receção do *HopGun* foi necessário acompanhar e assegurar que todas as alterações mecânicas e computacionais necessárias para o funcionamento do equipamento fossem realizadas. Estas alterações incluíram a adição da válvula de DH à cuba de fermentação e respetiva tubagem, a modificação da bomba centrífuga que foi utilizada durante o processo e a introdução do processo de *Dry-Hopping* no programa computacional da Mini-Fábrica.

Tendo em conta que a cuba de fermentação é um equipamento que está constantemente sob pressão e que esta sofreu uma alteração na sua estrutura, com a adição da válvula de *Dry-Hopping*, foi necessário proceder à certificação legal do equipamento de forma a garantir que as alterações mecânicas efetuadas não alteravam a sua performance. Além disso, testaram-se todos os equipamentos envolvidos no processo de *Dry-Hopping* para garantir que estavam operacionais para o início dos testes.

Após a receção do HopGun, foi necessário verificar se o equipamento tinha a documentação necessária para validar alguns pontos relacionados com a segurança e higiene no trabalho, segundo o decreto de lei DL nº 50/2005 de 25 de fevereiro. Verificou-se ainda que os materiais utilizados no equipamento são apropriados para estar em contato com alimentos, segundo a legislação em vigor.

Depois de todos os pontos referidos anteriormente estarem verificados, procedeu-se aos testes de funcionamento e limpeza, seguindo os procedimentos do manual de instruções fornecido pela BrauKon.

### **1.2. Determinação do volume mínimo necessário para o *Dry-Hopping***

Antes de se iniciarem os ensaios com o *HopGun* determinou-se o volume mínimo necessário para que o *Dry-Hopping* ocorresse sem problemas. Esta determinação era muito importante, pois caso o volume de cerveja não fosse superior ao local da válvula de DH poderia ocorrer a formação de espuma durante o processo de recirculação de cerveja o que provocaria um problema hidrodinâmico no processo.

Tendo em conta que a válvula de DH se encontrava aproximadamente a meio da cuba, o volume mínimo para o processo de *Dry-Hopping* seria a soma do volume do cilindro até à válvula de DH,  $V_{\text{cilindro}}/2$ , e o volume do cone do fundo da cuba,  $V_{\text{cone}}$ , ao qual se retira o volume do fundo que é ocupado pela válvula de saída da cuba,  $V_{\text{fundo}}$ , equação (4).

$$V_{\min} = \left(\frac{V_{\text{cilindro}}}{2}\right) + (V_{\text{cone}} - V_{\text{fundo}}) \quad (4)$$

Considerando os dados fornecidos pela Unicer, apresentados na figura 13, começou-se por determinar o volume do cilindro, através da equação (5), sabendo que o diâmetro interno do cilindro,  $D_{\text{int}}$ , é igual a 1,742 m, e que, por isso, o seu raio interno,  $R_{\text{int}}$ , é igual a 0,871 m. Posteriormente, determinou-se o volume do cone através da equação (6).

$$V_{\text{cilindro}} = \pi R_{\text{int}}^2 H_{\text{cilindro}} = \pi \times 0,871^2 \times 2,134 = 5,086 \text{ m}^3 \quad (5)$$

$$V_{\text{cone}} = \frac{\pi R_{\text{int}}^2 H_{\text{cone}}}{3} = \pi \times 0,871^2 \times 1,119/3 = 0,889 \text{ m}^3 \quad (6)$$

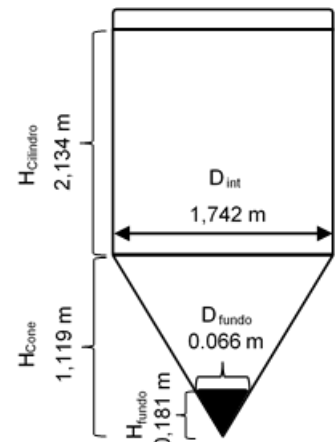


Figura 13 - Esquema e dimensões da cuba de fermentação.

Por fim, assumindo que o diâmetro do fundo da cuba é igual a 0,066 m, obtendo-se um raio,  $R_{\text{fundo}}$ , igual a 0,033 m, e que a altura do fundo,  $H_{\text{fundo}}$ , é 0,181 m, determinou-se  $V_{\text{fundo}}$ , através da equação (7).

$$V_{\text{fundo}} = \frac{\pi R_{\text{fundo}}^2 H_{\text{fundo}}}{3} = \pi \times 0,033^2 \times \frac{0,181}{3} = 2,064 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (7)$$

Depois de obtidos os resultados dos volumes, substituiu-se na equação (4) e obteve-se um volume mínimo de 3432 Litros.

$$V_{\min} = \left(\frac{5,086}{2}\right) + (0,889 - 2,064 \times 10^{-4}) = 3,432 \text{ m}^3 = 3432 \text{ Litros}$$

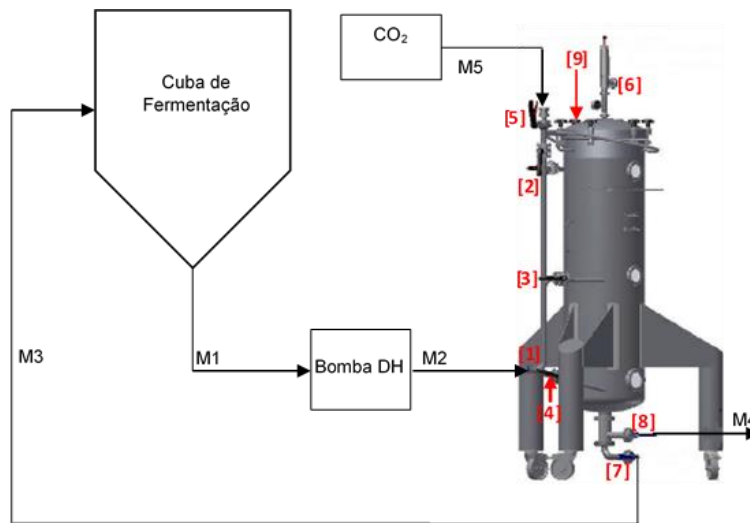
Tendo em conta a falta de exatidão da posição da válvula de DH e as perdas associadas à passagem de cerveja na tubagem dos equipamentos, para efeitos de cálculo de volumes de produção e ensaios ao longo deste relatório considerou-se  $V_{\min}=4000 \text{ L}$ .

### **1.3. Ligações necessárias para o funcionamento do HopGun**

Numa primeira etapa, foi necessário analisar de que forma deveriam ser feitas as ligações entre o *HopGun* e a cuba de fermentação. Para tal, analisaram-se os procedimentos descritos no manual de instruções fornecido pela BrauKon. Desta análise resultaram os seguintes diagramas de ligações de mangueiras para o funcionamento e limpeza do *HopGun*, figura 14 e 15, respetivamente.

Em todos os testes realizados foi necessário garantir que as mangueiras ligadas entre o *HopGun* e a cuba estavam devidamente colocadas e apertadas.

A colocação de lúpulo no interior do *HopGun* é uma tarefa bastante simples, pois requer apenas a abertura da tampa que se encontra no topo do equipamento, [9], e a introdução manual das *pellets* dentro do equipamento. Depois deste passo, é necessário pressurizar o *HopGun* com  $\text{CO}_2$ , para evitar potenciais oxidações que venham a provocar contaminação do produto final. Esta pressurização é feita através da válvula  $\text{CO}_2/\text{CIP}$ , [5].



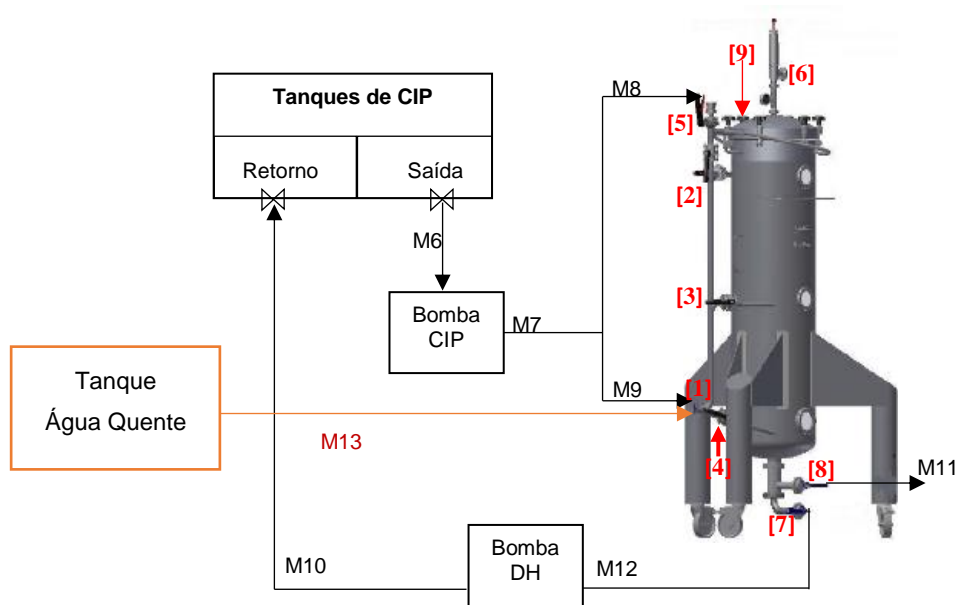
**Figura 14** – Diagrama de ligações de mangueiras necessárias para o funcionamento do *HopGun*.

Como já foi referido, na secção 1 do capítulo de Materiais e Métodos, o envio de cerveja que sai da cuba e entra no *HopGun*, ligação [1], é feito através de uma bomba centrífuga, Bomba DH. Para tal, foi necessário ligar uma mangueira entre o fundo da cuba e a entrada da bomba, M1, e, de seguida, ligou-se outra mangueira entre a saída da bomba e a ligação [1], M2. Posteriormente, a cerveja que sai pela válvula [7] e é enviada para a válvula de DH, faz com que haja a necessidade de ligar uma mangueira entre estes dois pontos, M3. A mangueira M4, ligada à válvula de saída de resíduos, [8], foi direccionada para o esgoto. Por fim, a pressurização do *HopGun* requer a ligação de uma mangueira entre o tanque de CO<sub>2</sub> e a válvula [5], figura 14.

Relativamente à limpeza do *HopGun*, figura 15, foi utilizado o método de limpeza de CIP, referido na secção 1.1 do capítulo de Materiais e Métodos. Os diferentes tanques de CIP estão ligados às mesmas válvulas de saída e retorno. A ordem de saída das diferentes soluções de lavagem e o tempo que demora cada fase da limpeza CIP estão predefinidas no programa computacional, de acordo com as normas e regulamentos da Unicer Bebidas, SA.

Também para o caso da limpeza do equipamento foi necessário utilizar uma bomba centrífuga que forçasse o envio das soluções até ao *HopGun*, denominada por Bomba CIP. A mangueira M6 fazia a ligação entre a saída da solução de limpeza e a entrada da bomba.

Segundo o manual de instruções fornecido pela BrauKon, a limpeza do *HopGun* deve ser feita tendo em consideração a válvula [5], que faz ligação aos chuveiros do equipamento e a ligação [1], que dá o acesso às válvulas [2], [3] e [4]. Assim sendo, colocou-se uma mangueira, M7, na saída da bomba e, de seguida, introduziu-se uma tubagem em forma de T para que fosse possível distribuir o caudal da solução de limpeza por duas mangueiras, uma ligada à válvula [5], M8, e outra ligada à ligação [1], M9.



**Figura 15** – Diagrama de ligações de mangueiras necessárias para a limpeza do *HopGun*.

O retorno das soluções de CIP era feito pela válvula [7], através de uma mangueira, M12, ligada à entrada da Bomba DH, que por sua vez enviava as soluções, através da mangueira M10, para a válvula de retorno de CIP. Em caso de necessidade de esgotamento de líquido do interior do *HopGun*, colocou-se uma mangueira na válvula [8] que foi direcionada para o esgoto. Para o processo de limpeza ser eficaz é necessário remover o veio central do equipamento, lavá-lo com água e deixar mergulhado num banho de uma solução de Oxónia até à fase de esterilização.

A esterilização do equipamento é realizada com água quente, cuja temperatura varia entre 80-90 °C, durante 20 a 30 minutos. A ligação entre o tanque de água quente e a ligação [1] foi realizada através de uma mangueira, M13. Todas as restantes mangueiras apresentadas na figura 15 foram retiradas para a fase de esterilização, exceto a M11, que permitiu o envio da água para o esgoto. Além disso, nesta fase, todas as válvulas do equipamento devem estar totalmente abertas, exceto as válvulas [5], [7] e [9], que devido a questões de segurança devem estar só ligeiramente abertas. O veio central do *HopGun* foi colocado novamente para esta fase do processo.

#### **1.4. Teste de Funcionamento (Teste 1)**

Seguindo o procedimento descrito no manual de instruções fornecido pela BrauKon, figura 14, começou-se por pressurizar o equipamento com CO<sub>2</sub>, até à pressão de 1 bar, com todas as válvulas do equipamento fechadas. De seguida, abriu-se a válvula do fundo da cuba e ligou-se a Bomba DH, assumindo uma frequência de 10 %. Quando se tornou perceptível que o tubo da ligação 1 estava cheio de água, abriu-se a válvula [2] e [4], iniciando-se o enchimento do *HopGun*. Por fim, abriu-se a válvula [7] para iniciar a recirculação do líquido. Alguns minutos após o início do processo, abriu-se a válvula [3]. Aumentou-se a frequência da bomba DH gradualmente ao longo do tempo. Verificou-se que a estabilização do volume de água dentro do *HopGun* era bastante difícil.

Depois de 1 hora de funcionamento, fechou-se a válvula do fundo da cuba de fermentação e a válvula [7], De seguida fecharam-se as válvulas [2], [3] e [4]. Nesta fase, havia água dentro do equipamento, sendo que o seu volume correspondia a, aproximadamente, um terço da capacidade volumétrica do *HopGun*. Para remover o líquido residual, abriu-se a válvula [8] e, com o auxílio da válvula de CO<sub>2</sub>, forçou-se a saída da água.

A observação de algumas alterações no movimento do líquido dentro do equipamento permitiu determinar que a frequência “ideal” para operar com um vórtice quase "perfeito" era operando entre 40 a 50 %, pois a partir dos 60 % de frequência começava a haver demasiada turbulência e o volume de água dentro do *HopGun* aumentava significativamente. No entanto, caso se estivesse a operar a uma frequência de 40 a 50 %, o volume de água também aumentava gradualmente, porém era relativamente mais fácil de controlar o escoamento do líquido através da abertura ou fecho das válvulas [2], [3] e [4].

Segundo o que foi referido pela empresa BrauKon, o volume no equipamento deveria manter-se constante durante toda a recirculação, algo que não aconteceu neste primeiro teste. Contudo, nesta fase, não foi realizada qualquer alteração ao procedimento de funcionamento fornecido pela BrauKon, pois seria de esperar que com os ensaios seguintes houvesse uma melhor compreensão de qual o problema que estaria relacionado com as alterações constantes do volume de líquido dentro do equipamento.

### **1.5. Teste de Funcionamento e Limpeza (Teste 2)**

Para este teste também foi seguido o procedimento descrito no manual de instruções da BrauKon. O diagrama de ligações correspondente ao funcionamento utilizado para teste está apresentado na figura 14.

Começou-se por introduzir 10 kg de lúpulo no equipamento através da abertura da tampa, [9]. De seguida, pressurizou-se o equipamento e iniciou-se a recirculação, seguindo os mesmos passos do teste 1. Mais uma vez, nesta fase verificou-se que não foi possível manter estável o volume de líquido dentro do *HopGun*, sendo necessário estar constantemente a abrir e fechar as válvulas [2], [3] e [4].

Depois do esgotamento do líquido residual, procedeu-se à despressurização do equipamento através da válvula de saída de CO<sub>2</sub>, [6]. Posteriormente, removeu-se o veio central do *HopGun* e fizeram-se as alterações necessárias nas ligações dos equipamentos para se efetuar a limpeza do *HopGun*, obtendo-se uma montagem como a que está representada na figura 15.

No caso da limpeza CIP, começou-se por abrir a válvula de saída das soluções de CIP e, de seguida, abriu-se a válvula [5], que faz ligação aos chuveiros do equipamento, e as válvulas [2], [3] e [4]. Por fim, abriu-se a válvula [7] para ser possível fazer o retorno das soluções de CIP. Depois de

todas as válvulas referidas anteriormente estarem abertas, iniciou-se o programa de CIP no autómato. O programa de CIP utilizado na limpeza do *HopGun* não foi pensado especificamente para este equipamento, mas sim para uma cuba de fermentação de no mínimo 4000 L. Por este motivo, os tempos de cada uma das fases de limpeza eram demasiado longos para este equipamento, contribuindo para um gasto de soluções de CIP mais elevado do que aquele que seria necessário.

Durante todas as fases do programa de CIP observou-se que existia um depósito de líquido no *HopGun*. Este volume de solução não era desejável durante a limpeza do equipamento, pois, devido à falta de turbulência nas paredes do equipamento, a limpeza CIP não era tão eficaz na remoção de partículas que estivessem aderidas às paredes do *HopGun*. Embora tenha sido referido que o programa de CIP não era o ideal para este equipamento, o volume de solução acumulado no *HopGun* não era consequência desta observação, mas sim de uma falha no procedimento de limpeza.

Depois de concluídas todas as fases do programa de CIP, preparou-se a montagem das mangueiras e equipamentos necessários para a esterilização do *HopGun*, ver descrição da figura 15. O processo de esterilização correu como esperado, não tendo havido qualquer problema a registar.

## **2. CERVEJA X**

### **2.1. Ensaios na Mini-Fábrica**

A cerveja X é um produto que até à data de início deste projeto nunca tinha sido produzida pela Unicer Bebidas, SA. O principal objetivo destes ensaios foi tentar produzir a cerveja X, à escala industrial, com as mesmas características sensoriais e organoléticas do produto original, cerveja X', produzida por uma empresa parceira da Unicer Bebidas, SA, utilizando um método de *Dry-Hopping* semelhante. A explicação geral dos ensaios realizados pode ser encontrada na secção 2, do capítulo Descrição de Testes e Ensaios.

#### **2.1.1. Preparação dos Ensaios**

Para preencher a cuba de fermentação que seria utilizada para *Dry-Hopping* até à sua capacidade máxima foi necessária a realização de quatro fabricos de mosto todos eles equivalentes e do mesmo modo, obtendo-se um volume total de 6292 L. Após a ebulição e arrefecimento, foi analisado o mosto obtido de cada fabrico e os resultados estão apresentados na tabela 2.

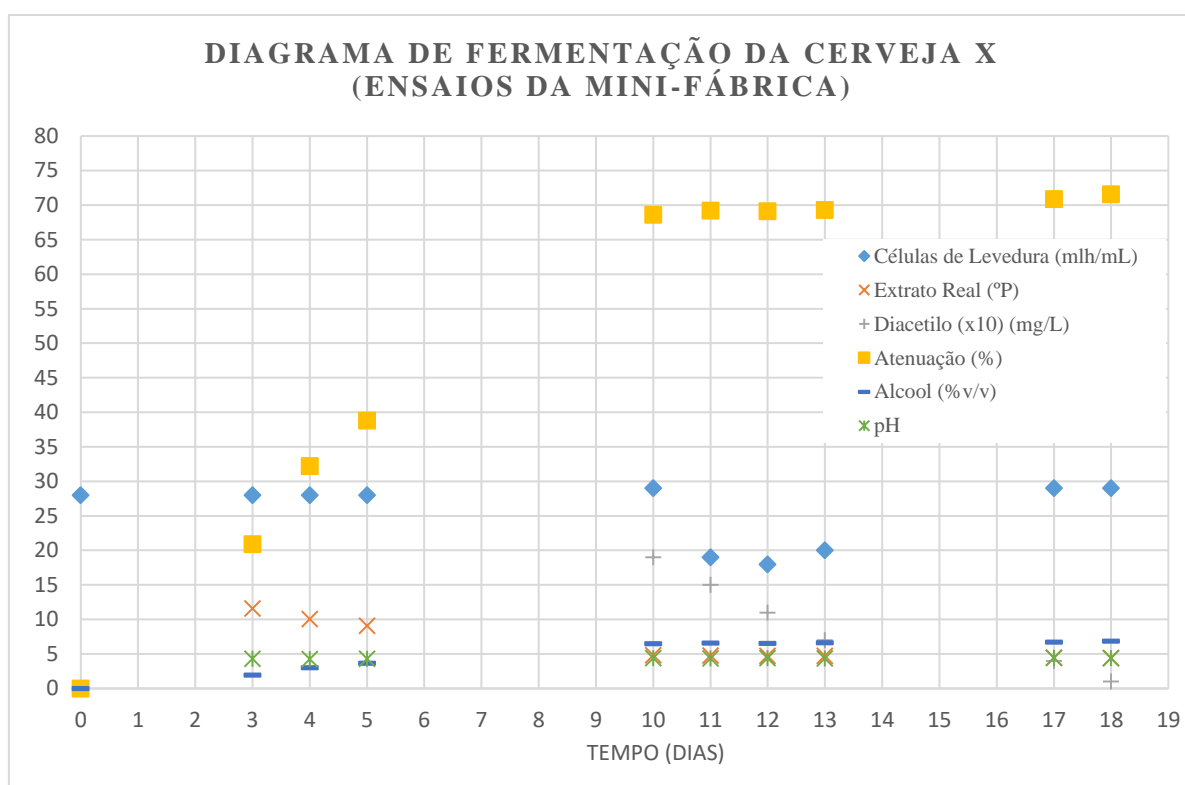
**Tabela 2** – Análise de mosto frio dos fabricos 1, 2, 3 e 4

<b>Fabrico</b>	<b>Extrato Primitivo (°P)</b>	<b>pH</b>	<b>Coloração (EBC)</b>	<b>Amargor (UA)</b>	<b>Atenuação Limite (%)</b>
<b>1</b>	14,64	5,42	22,4	27	77,0
<b>2</b>	14,92	5,02	21,5	25	76,2
<b>3</b>	14,17	5,03	12,6	25	78,5
<b>4</b>	14,90	4,84	26,1	26	77,9



Como é possível observar, todos os parâmetros apresentavam valores muito próximos, com diferenças não significativas para todos os fabricos, à exceção da coloração do fabrico 3, que apresentou um valor muito inferior relativamente aos restantes. Esta diferença tão significativa deveu-se à ocorrência de um problema técnico na válvula que permite o envio do malte para a caldeira de empastagem, tendo ficado, grande parte deste, preso na sala de moagem. Ainda assim, ao juntar os quatro fabricos na mesma cuba, este parâmetro do fabrico 3 não teve grande influência nos restantes. O mosto obtido de cada fabrico foi transferido para a cuba de fermentação, onde foi adicionada a levedura.

O processo fermentativo foi acompanhado em cada dia até serem atingidos os valores desejados para cada parâmetro, figura 16.



**Figura 16** - Resultados das análises da Cerveja X ao longo do processo fermentativo (Ensaios da Mini-Fábrica).

Como é possível observar, o extrato real diminuiu significativamente ao longo do processo fermentativo, de 14,20 °P para 4,34 °P, algo que seria de esperar tendo em conta que este parâmetro representa a quantidade de açúcares fermentáveis que ainda estão presentes na cerveja.

Com o avanço da fermentação verificou-se também o aumento do teor de álcool, de 0 para 6,05 % (v/v), algo que já era esperado, tendo em conta que o álcool é um dos principais produtos do processo fermentativo.

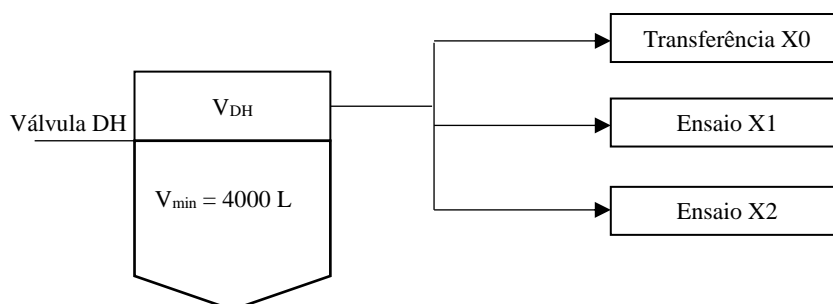
No caso da atenuação, seria de esperar que esta atingisse um valor próximo da atenuação limite, aproximadamente 77,4 %. No entanto, como é possível observar na figura 16, pelos valores

quase estagnados do número de células de levedura, verifica-se que as células introduzidas não se adaptaram ao meio, não havendo um crescimento significativo. Por esta razão, foi necessário adicionar levedura no 12º dia de forma a conseguir que o número de células aumentasse e, conseqüentemente, que a fermentação ocorresse, até se atingir uma atenuação mais próxima da atenuação limite, o que levou a um prolongamento bastante significativo do tempo de fermentação. Mesmo assim, o valor da atenuação no fim da fermentação foi mais baixo do que o desejado, ou seja, foi de 72 %.

Relativamente ao valor do diacetilo no final do processo fermentativo, este encontrava-se dentro do limite especificado, ou seja, era menor que 0,10 mg/L.

Como já foi referido, estes ensaios foram realizados conjuntamente, ou seja, a partir do volume total dos fabricos, 6292 L, foi possível realizar três ensaios. Para tal, foi necessário distribuir o volume disponível de forma a ter o melhor aproveitamento possível.

Começou-se por ter em consideração o volume mínimo necessário para o *Dry-Hopping*, 4000 L, previamente determinado. Este valor é extremamente importante pois, caso o volume de líquido dentro da cuba durante o processo de *Dry-Hopping* fosse inferior ao referido, poderia ocorrer a formação de espuma devido à turbulência causada pela entrada da cerveja na cuba. Desta forma, definiu-se que o último ensaio, X3, deveria ter um volume de, aproximadamente, 4000 L, para que não ocorresse qualquer problema relacionado com a entrada de cerveja pela válvula de DH depois de serem retirados os volumes dos primeiros ensaios, figura 17.



**Figura 17** - Diagrama representativo da distribuição do volume da cuba pelos diferentes ensaios.

Através do volume total dos fabricos,  $V_{Total}$ , e do volume mínimo necessário para o *Dry-Hopping* ocorrer sem problemas,  $V_{min}$ , determinou-se o volume disponível para os restantes ensaios,  $V_{DH}$ , equação (8).

$$V_{DH} = V_{Total} - V_{min} = 6292 - 4000 = 2292 \text{ L} \quad (8)$$

Depois de obtido o valor do volume disponível para os ensaios de *Dry-Hopping*, foi efetuada uma estimativa dos volumes a utilizar em cada um dos ensaios, tendo em conta as necessidades de cada ensaio.

Considerando que depois do processo de *Dry-Hopping* a cerveja é filtrada e armazenada num tanque de cerveja filtrada (TCF), foi preciso ter em consideração as perdas associadas ao processo de filtração e de transferência pelas tubagens. Tendo em conta o que foi referido anteriormente, foi definido como volume mínimo, a ser retirado da cuba para cada ensaio, 500 L. Além disso, para realizar o ensaio X3 foi necessário transferir um volume de cerveja antes de se iniciar o processo de *Dry-Hopping*, Transferência X0, para que fosse posteriormente misturada com a cerveja resultante do ensaio X3. Desta forma, o volume disponível para os restantes ensaios,  $V_{DH}$ , foi dividido em três partes iguais (transferência X0, ensaio X1 e ensaio X2), obtendo-se um volume de, aproximadamente, 800 L disponível para cada um.

Na tabela 3 estão apresentados os valores do volume que teriam que ser retirados da cuba,  $V_{Retirado}$ , após cada ensaio e antes de se iniciar o *Dry-Hopping* (Transferência X0).

**Tabela 3** – Volumes retirados da cuba após cada um dos ensaios e para a transferência X0

	$V_{Retirado}$ (L)
<b>Transferência X0</b>	800
<b>Ensaio X1</b>	800
<b>Ensaio X2</b>	800
<b>Ensaio X3</b>	3892

Ainda antes de se iniciarem os ensaios determinou-se a quantidade de lúpulo necessária para cada ensaio, tendo por base de cálculo a quantidade de óleos exigida por litro de cerveja, definidos na receita fornecida pela Unicer Bebidas, SA, e o método de cálculo referido no capítulo de Materiais e Métodos, secção 3. Além disso, para a determinação da quantidade de lúpulo foi necessário determinar o volume que se encontrava na cuba no início de cada ensaio. Na tabela 4 apresentam-se as quantidades de lúpulo adicionadas e o volume que se encontrava na cuba no início de cada ensaio,  $V_{ENSAIO}$ .

**Tabela 4** – Quantidade de lúpulo adicionada em cada ensaio e volume disponível

<b>Ensaio</b>	$M_{Lúpulo}$ (kg)	$V_{ENSAIO}$ (L)
<b>X1</b>	0,76	5492
<b>X2</b>	0,00	4692
<b>X3</b>	4,81	3892

Para o cálculo da massa de lúpulo do ensaio X1 considerou-se o volume da cuba depois de ocorrer a transferência X0. Como o ensaio X2 se diferencia do primeiro apenas no tempo de recirculação, retirou-se da cuba o volume definido para o ensaio X1 e continuou-se a recirculação com o lúpulo que foi adicionado no início. Para o ensaio X3, efetuou-se novamente o cálculo da massa de lúpulo para o volume que ficou dentro da cuba depois de ser retirado o volume do ensaio

X2. Ao valor obtido da massa de lúpulo subtraiu-se a massa adicionada inicialmente, tendo-se determinado o valor apresentado na tabela 4.

### **2.1.2. Ensaios X1, X2 e X3**

Antes do início do processo de *Dry-Hopping*, foram transferidos 800 L de cerveja para uma cuba, cerveja X<sub>0</sub>. Depois da sua maturação e estabilização, esta foi centrifugada, filtrada e transferida para um TCF. Após todos os processos referidos anteriormente, o volume final desta cerveja foi de 620 L.

O procedimento durante o ensaio X1 foi semelhante ao descrito na secção 1.4 deste capítulo. O processo de *Dry-Hopping* ocorreu dentro da normalidade, à exceção do controlo do volume de líquido dentro do *HopGun*, que, como já foi referido anteriormente, foi difícil de controlar. Verificou-se também que, aproximadamente, 1,5 h depois do início do processo, todas as *pellets* estavam desfeitas em partículas mais pequenas, devido à turbulência existente dentro do equipamento. Esta observação permite questionar até que ponto o tempo de recirculação do lúpulo é relevante para que o produto final adquira as características sensoriais desejadas.

Depois de concluídas as 2 h de recirculação, parou-se momentaneamente o processo no autómato e transferiu-se 800 L de cerveja para uma cuba, onde ficou em maturação. Decorrido o tempo necessário para a maturação, a temperatura da cuba foi reduzida para -1,5 °C e iniciou-se a fase de estabilização, permitindo que algumas partículas que estavam em suspensão ficassem depositadas no fundo da cuba. As fases de maturação e estabilização duraram quatro dias no total. Por fim, centrifugou-se e filtrou-se a cerveja X<sub>1</sub>, que, de seguida, foi transferida para um TCF.

O ensaio X2 começou depois de ser retirado o volume correspondente ao ensaio X1, iniciando o processo de *Dry-Hopping* no autómato. Depois de mais 2 h de recirculação, parou-se novamente o processo e transferiu-se 800 L para uma cuba, onde se deu a maturação e, posterior, estabilização da cerveja. Ao fim de quatro dias na cuba, a cerveja X<sub>2</sub> foi centrifugada, filtrada e, por fim, transferida para um TCF.

Após a transferência do volume do ensaio X2, o *HopGun* foi despressurizado e foi introduzido o lúpulo necessário para o ensaio X3. Iniciou-se novamente a recirculação e ao fim de 3h, concluiu-se o processo de *Dry-Hopping*. Todo o volume que se encontrava na cuba ficou em maturação e, posterior, estabilização. Quatro dias após o processo de *Dry-Hopping* a cerveja foi centrifugada e filtrada. Por fim, 800 L desta foram transferidos para um TCF, cerveja X<sub>3</sub>. Todas as cervejas obtidas dos ensaios foram analisadas e os seus resultados encontram-se na secção 2.1.3.

Depois de feitas as análises às cervejas X<sub>0</sub> e X<sub>3</sub>, transferiu-se um determinado volume da cerveja concentrada para o TCF onde se encontrava a cerveja X<sub>0</sub>, de forma a obter a cerveja X<sub>Mistura</sub>. Para tal, foi necessário determinar o volume de cerveja X<sub>3</sub> a adicionar no TCF onde se encontrava a

cerveja X<sub>0</sub>. Sabendo que o volume de cerveja X<sub>0</sub> que estava no TCF era de 620 L e que a cerveja X<sub>3</sub> é 10 vezes mais concentrada do que o que está definido na receita da cerveja X, é possível determinar o volume de cerveja X<sub>3</sub> a adicionar, V<sub>Adicionar</sub>, através da equação (9).

$$V_{Adicionar} = \frac{V_{Cerveja\ X_0}}{Fator\ de\ Concentração} = \frac{620}{10} = 62\ L \quad (9)$$

Por fim, transferiu-se os 62 L da cerveja X<sub>3</sub> para o TCF da cerveja X<sub>0</sub>, obtendo-se a cerveja X<sub>Mistura</sub>, á qual se realizaram as análises necessárias. Os resultados obtidos estão apresentados na secção 2.1.3 deste capítulo.

Na tabela 5, apresentam-se as condições de operação para os três ensaios da cerveja X efetuados na Mini-Fábrica, sendo que o único parâmetro físico que sofreu alteração foi o tempo de recirculação.

**Tabela 5** – Condições de operação dos ensaios X1, X2 e X3

	Ensaio X1	Ensaio X2	Ensaio X3
<b>Frequência da Bomba DH (%)</b>	70	70	70
<b>Tempo de Recirculação (h)</b>	2	4	3
<b>Temperatura na Cuba (°C)</b>	3,9	4,0	4,1
<b>Pressão no HopGun (bar)</b>	1,5	1,5	1,5
<b>Pressão na Cuba (bar)</b>	1,1	1,1	1,1

### **2.1.3. Resultados Experimentais dos Ensaios**

Todos os resultados apresentados nesta secção são do produto final, ou seja, depois do enchimento e pasteurização da cerveja. Através dos resultados obtidos, verifica-se que o processo de *Dry-Hopping* não altera grande parte dos parâmetros físico-químicos da cerveja, como é possível observar nas tabelas 6 e 7.

**Tabela 6** – Resultados analisados no *Beer Analyser* para as cervejas dos ensaios X1, X2 e X3

Cerveja	Extrato Primitivo (°P)	Extrato Real (°P)	Álcool (%v/v)	Atenuação (%)	pH	Coloração (EBC)
X <sub>0</sub>	11,53	3,36	5,35	72,0	4,47	13,2
X <sub>1</sub>	11,84	3,46	5,49	72,0	4,44	13,8
X <sub>2</sub>	11,74	3,44	5,44	72,0	4,45	13,6
X <sub>3</sub>	12,58	3,70	5,85	72,0	4,47	15,0
X <sub>MISTURA</sub>	11,61	3,37	5,39	72,0	4,47	13,7

Relativamente aos parâmetros da tabela 6, é possível observar que a coloração sofreu uma alteração significativa no caso da cerveja resultante do ensaio X3 devido à quantidade de lúpulo utilizada. Contudo, prevê-se que esta alteração ocorra mais facilmente em cervejas mais claras, como é caso da cerveja X, do que em cervejas mais escuras, como é o caso da cerveja Y que virá descrita adiante.

Os valores de extratos obtidos encontram-se dentro do esperado para o produto tendo em conta o seu processo fermentativo. Como foi referido anteriormente, o valor da atenuação não é o desejado, visto que não está próximo do seu valor limite, 77,4 %. Também, como consequência do problema que houve durante a fermentação, os valores do álcool em todas as cervejas estão ligeiramente abaixo do desejado.

**Tabela 7** – Resultados da análise de Amargor, Turvação, CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> Total para as cervejas dos ensaios X1, X2 e X3

	Amargor (UA)	Turvação 20°C (EBC)	Turvação 0°C (EBC)	CO <sub>2</sub> (g/L)	SO <sub>2</sub> Total (mg/L)
X <sub>0</sub>	10	0,70	0,70	5,2	37
X <sub>1</sub>	11	0,95	1,10	4,7	38
X <sub>2</sub>	11	0,90	0,90	5,3	37
X <sub>3</sub>	15	1,32	1,50	5,4	40
X <sub>MISTURA</sub>	11	0,74	0,80	5,3	37

A turvação, tanto a 20 °C, como a 0 °C, também sofreu alteração relativamente ao valor da cerveja que não sofreu *Dry-Hopping*, cerveja X<sub>0</sub>. No entanto, sabendo que a turvação representa a quantidade de partículas em suspensão, é normal que este parâmetro aumente relativamente à cerveja X<sub>0</sub>, pois a recirculação de lúpulo no *HopGun* vai efetivamente aumentar a quantidade de partículas presentes na cerveja.

Contudo, verifica-se um aumento significativo no amargor, principalmente no caso da cerveja X<sub>3</sub>, que contém uma concentração de lúpulo 10 vezes superior ao objetivo. Porém, sabendo que o amargor da cerveja é obtido maioritariamente através da isomerização de  $\alpha$ -ácidos, a temperaturas elevadas, e que o processo de *Dry-Hopping* ocorre a baixas temperaturas, não foi possível identificar os compostos responsáveis pelo aumento deste parâmetro.

Na tabela 7 é possível observar que os valores de SO<sub>2</sub> Total são mais elevados do que aquilo que é legalmente declarável, 10 mg/L. No entanto, tendo em conta que este valor é referente ao SO<sub>2</sub> produzido pelas células de levedura, e que deveria ser degradado pelas mesmas, existe a possibilidade de as células utilizadas durante a fermentação terem morrido antes de conseguirem converter compostos como o SO<sub>2</sub>.

Relativamente aos valores da análise microbiológica, tabela 8, é possível observar que existem três cervejas com valores de não patogénicos superiores a 0 col/100 mL, o que não é aceitável no controlo e qualidade do produto. No entanto, o enchimento das cervejas produzidas nos ensaios da Mini-Fábrica não foi feito com máquinas de enchimento automáticas, tornando-se difícil o controlo das condições do processo e, consequentemente, tendo-se obtidos estes resultados. Esperava-se que a cerveja resultante da produção industrial não venha a possuir valores destes.

**Tabela 8** - Resultados da análise microbiológica das cervejas dos ensaios X1, X2 e X3

	<b>Patogénicos (col/100ml)</b>	<b>Não Patogénicos (col/100ml)</b>
<b>X<sub>0</sub></b>	8,00	11,00
<b>X<sub>1</sub></b>	0,00	0,00
<b>X<sub>2</sub></b>	0,00	2,00
<b>X<sub>3</sub></b>	0,00	0,00
<b>X<sub>Mistura</sub></b>	0,00	10,00

Comparou-se os resultados obtidos para cada uma das cervejas produzidas, cervejas X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> e X<sub>Mistura</sub>, com os limites mínimos e máximos das especificações exigidas para produto final, sendo que as cervejas produzidas nos três ensaios possuem três parâmetros com valores que se encontram fora dos limites definidos: coloração, atenuação e álcool. Em todos os casos, estes valores não são influenciados pelo processo de *Dry-Hopping*. Como foi referido anteriormente, os valores obtidos para a coloração são consequência de uma falha técnica. Já no caso da atenuação e do álcool concluiu-se que a levedura utilizada não estava nas condições ideais para que o processo fermentativo ocorresse da melhor forma.

A grande influência do processo de *Dry-Hopping* é no aroma e sabor da cerveja. Os resultados da análise sensorial aos produtos, para que fosse possível comparar estas características entre eles e com o produto original, cerveja X', encontram-se na tabela 9.

**Tabela 9** – Avaliação global da análise sensorial realizada às cervejas dos ensaios e à referência

	<b>Cerveja X'</b>	<b>Cerveja X<sub>1</sub></b>	<b>Cerveja X<sub>2</sub></b>	<b>Cerveja X<sub>Mistura</sub></b>
<b>Avaliação Global</b>	-1,30	-0,60	-0,40	-0,70
	<b>Não Satisfatório</b>	<b>Satisfatório</b>	<b>Satisfatório</b>	<b>Satisfatório</b>

A grande maioria dos provadores teve a possibilidade de provar a cerveja X' pouco tempo depois de esta ser enchida e, tendo em consideração os comentários dos provadores, o valor obtido para a cerveja de referência nesta prova não representa a realidade. Verifica-se desta forma que as características sensoriais e organolépticas originais do produto sofrem alteração ao longo do tempo, mesmo que ainda se encontre dentro do prazo de validade. Esta alteração tão significativa no aroma e sabor do produto pode dever-se a reações de oxidação de determinados componentes do lúpulo ao longo do tempo.

De forma a ter uma análise mais fiel, recorreu-se à base de dados da Unicer e verificou-se que a avaliação global da cerveja X', em outubro de 2015, foi de -0,4. Posto isto, as cervejas dos ensaios foram comparadas entre elas e os provadores tiveram que ter em consideração a percepção que tiveram da cerveja X' quando esta foi provada alguns meses antes. Como é possível observar na tabela 9, a cerveja que mais agradou ao painel de provadores foi a X<sub>2</sub>, por ser mais equilibrada e mais próxima da referência em termos de aroma e sabor. A cerveja X<sub>1</sub> foi considerada a menos aromática e aguada, enquanto que a cerveja X<sub>Mistura</sub> foi considerada mais lupulada, velha e oxidada.

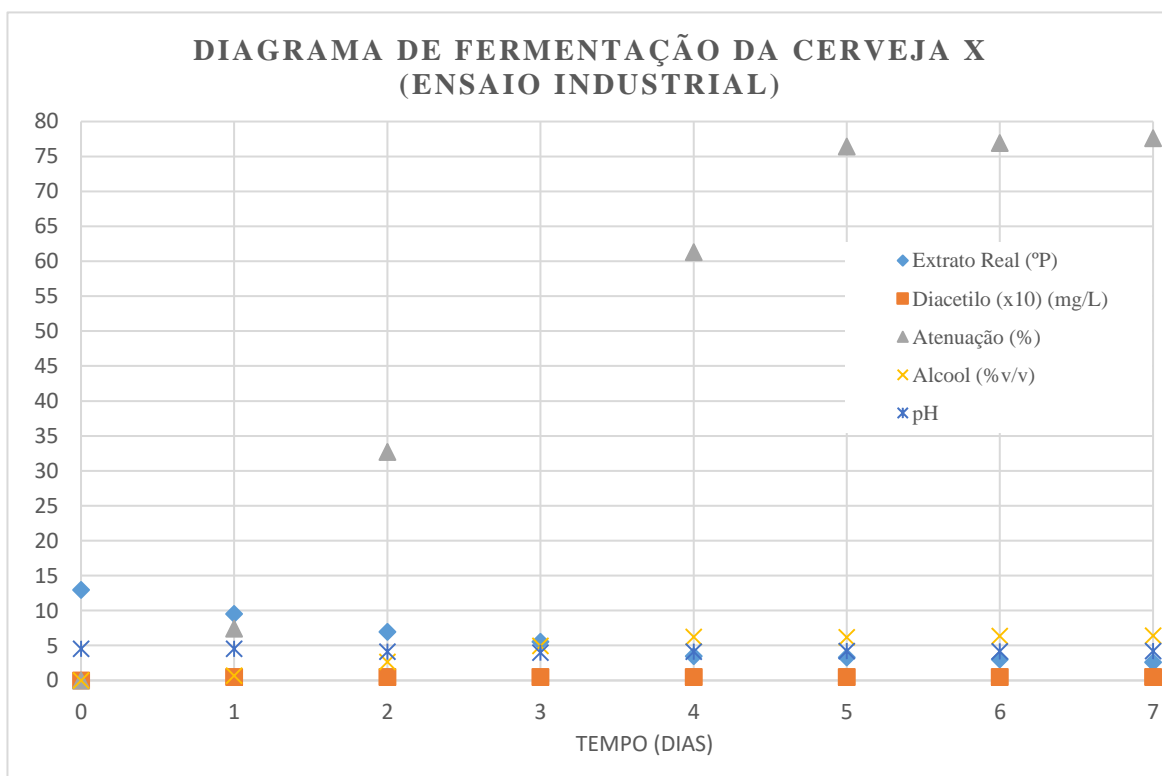
Na generalidade, considerou-se que nenhuma das cervejas produzidas durante os ensaios atingiu o perfil sensorial desejado. No entanto, verificou-se que a falta de características sensoriais e organoléticas poderiam estar relacionadas com o facto de a quantidade de lúpulo utilizada para a produção desta cerveja ser relativamente pequena e que parte do lúpulo introduzido no equipamento poderia ficar retido nas tubagens utilizadas no processo de *Dry-Hopping*. Desta forma, definiu-se que no ensaio industrial seria introduzido um pequeno excesso de lúpulo para que fosse possível perceber a influência desta alteração nas características sensoriais e organoléticas da cerveja X. Contudo, esta alteração não foi considerada para os ensaios da cerveja Y visto que se trata de uma cerveja cuja quantidade de lúpulo é muito superior à da cerveja X.

## **2.2. Produção Industrial (Ensaio X4)**

A produção industrial foi realizada na sala de fabrico da Unicer, tendo-se obtido um volume de mosto de, aproximadamente, 75000 L. Posteriormente, o mosto foi enviado para uma cuba de fermentação da Adega, onde foi adicionada a levedura, iniciando o processo fermentativo. Todos os passos até ao fim de fermentação ocorreram normalmente e o acompanhamento destes pode ser encontrado na tabela 10 e na figura 18.

**Tabela 10** – Resultados da análise ao mosto do fabrico industrial

<b>Fabrico</b>	<b>Extrato Primitivo (°P)</b>	<b>pH</b>	<b>Coloração (EBC)</b>	<b>Amargor (UA)</b>	<b>Atenuação Limite (%)</b>
<b>Industrial</b>	13,71	5,06	14,3	15	79,0



**Figura 18** - Resultados das análises da Cerveja X ao longo do processo fermentativo (Ensaio Industrial).



Como é possível observar na figura 18, esta fermentação ocorreu num período de tempo mais curto do que aquele observado nos ensaios da Mini-Fábrica, confirmando-se que ocorreu efetivamente um problema durante o processo fermentativo desses ensaios.

Os valores obtidos durante o processo fermentativo encontram-se dentro do esperado, sendo que o valor da atenuação aumentou gradualmente até atingir um resultado de 77 %, próximo da atenuação limite. Além disso, o extrato real foi diminuindo ao longo da fermentação, de 12,97 °P para 2,40 °P, e, por sua vez, o teor de álcool aumentou significativamente, de 0 para 6,41 % (v/v). O valor do diacetilo encontrava-se abaixo do limite permitido, 0,10 mg/L.

A produção industrial diferenciou-se das restantes produções devido à utilização de processos de transferência de cerveja pouco utilizados até à data, transferência 1 e 2, figura 11, da secção 2, do capítulo Descrição de Testes e Ensaios.

A transferência 1 foi realizada através de *Beer Drive*, em que a cerveja foi enviada para uma cuba localizada num camião próprio para transporte e, posteriormente, transferida para a cuba de fermentação da Mini-Fábrica.

A transferência 2 consistiu no envio de cerveja através de tubagem fixa já existente, que é geralmente utilizada para enviar cerveja que se encontra na Adega para um TCF da Mini-Fábrica. Tendo em conta que o objetivo da transferência 2 era o oposto do propósito da tubagem referida, ou seja, transferência de cerveja da Mini-Fábrica para a Adega, foi necessário realizar testes de funcionamento.

Depois de definido o melhor procedimento para que a transferência 2 ocorresse sem problemas, foram criadas duas instruções de trabalho, uma para a Mini-Fábrica e outra para a Adega. Estas instruções de trabalho permitem que os colaboradores da Unicer, no futuro, tenham um guia de como proceder durante esta transferência. No anexo B encontra-se um exemplo de uma instrução de trabalho.

Antes de se iniciar o *Dry-Hopping*, foi necessário determinar a massa de lúpulo necessária para o ensaio industrial. Sabendo o valor do volume disponível para o *Dry-Hopping*, foi possível determinar a massa de lúpulo necessária através do método de cálculo referido no capítulo de Materiais e Métodos, secção 3. Mais uma vez a massa de lúpulo foi calculada considerando que o volume de cerveja utilizado para o *Dry-Hopping* deveria ter, no final do processo, uma concentração de óleos dez vezes superior ao desejado. Além disso, foi ainda considerado que seria necessário um excesso de 10 % de massa de lúpulo para que as perdas do processo de *Dry-Hopping* não afetassem as características sensoriais e organolépticas do produto final.

Na tabela 11 encontram-se os valores do volume de cerveja  $X_A$  e da massa de lúpulo para este ensaio, bem como as condições de operação.

**Tabela 11** – Condições de operação do ensaio industrial

	<b>Ensaio X4</b>
<b>Volume de Cerveja X<sub>A</sub> (L)</b>	6500
<b>Massa de Lúpulo (kg)</b>	8,13
<b>Frequência da Bomba DH (%)</b>	70
<b>Tempo de Recirculação (h)</b>	7,5
<b>Temperatura na Cuba (°C)</b>	4,0
<b>Pressão no HopGun (bar)</b>	1,5
<b>Pressão na Cuba (bar)</b>	1,1

O processo de *Dry-Hopping* ocorreu dentro da normalidade, sempre tendo em consideração o facto de não ter sido possível estabilizar o volume dentro do equipamento, o que exigiu que estivesse permanente um colaborador a controlar o processo.

Depois de terminada a recirculação de cerveja no *HopGun*, a cerveja X<sub>D</sub> foi centrifugada e filtrada e, de seguida, armazenada num TCF até que fosse possível fazer a sua transferência para a adega, cerveja X<sub>DF</sub>. O volume de cerveja X<sub>DF</sub> enviado para um TCF vazio da Adega foi de 5600 L.

Sabendo que foram produzidos 75000 L de cerveja X<sub>A</sub> e que o volume da cerveja X<sub>DF</sub> foi de apenas 5600 Litros, foi necessário determinar o volume de cerveja X<sub>A</sub> que deveria ser filtrado e transferido para o TCF onde se encontrava a cerveja X<sub>DF</sub>, misturando assim as duas cervejas, de forma a que o produto final tivesse a concentração de óleos desejada, equação (10).

$$V_{Cerveja\ X_A} = \text{Fator de diluição} \times V_{Cerveja\ X_{DF}} = 10 \times 5600 = 56000\ L \quad (10)$$

Transferiu-se o volume calculado de cerveja X<sub>A</sub> para o tanque de cerveja filtrada onde se encontrava a cerveja X<sub>DF</sub>, originando a cerveja X<sub>Industrial</sub>, que, de seguida, foi enchida, pasteurizada e, posteriormente, analisada. Nas tabelas 12 e 13 encontram-se os resultados das análises físico-químicas, desde a chegada da cerveja X<sub>A</sub> à Mini-Fábrica, até ao acondicionamento e pasteurização do produto final. Em termos microbiológicos, esta cerveja não apresentou qualquer contagem de microrganismos patogénicos ou não patogénicos.

**Tabela 12** – Resultados analisados no *Beer Analyser* para as Cervejas X<sub>Industrial</sub>, X<sub>DF</sub>, X<sub>D</sub> e X<sub>A</sub>

<b>Cerveja</b>	<b>Extrato Primitivo (°P)</b>	<b>Extrato Real (°P)</b>	<b>Álcool (% v/v)</b>	<b>Atenuação (%)</b>	<b>pH</b>	<b>Coloração (EBC)</b>
<b>X<sub>A</sub></b>	13,10	2,62	6,56	77,0	4,18	12,00
<b>X<sub>D</sub></b>	13,23	2,68	6,44	77,0	4,23	12,20
<b>X<sub>DF</sub></b>	12,90	2,61	6,50	77,2	4,20	10,95
<b>X<sub>Industrial</sub></b>	12,09	2,58	6,03	77,0	4,14	9,40

**Tabela 13** - Resultados da análise de Amargor, Turvação, CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> Total para as Cervejas X<sub>Industrial</sub>, X<sub>DF</sub>, X<sub>D</sub> e X<sub>A</sub>

Cerveja	Amargor (UA)	Turvação 20°C (EBC)	Turvação 0°C (EBC)	CO <sub>2</sub> (g/L)	SO <sub>2</sub> Total (mg/L)
X <sub>A</sub>	14	0,00	0,00	-	-
X <sub>D</sub>	24	-	-	-	-
X <sub>DF</sub>	21	1,20	-	-	-
X <sub>Industrial</sub>	14	0,44	0,00	5,2	0

Como é possível observar na tabela 12, ao comparar os valores da cerveja X<sub>A</sub> e da cerveja X<sub>D</sub>, verifica-se que o processo de *Dry-Hopping* não altera significativamente a maior parte dos parâmetros analisados. No entanto, o processo de filtração e a diluição final da cerveja contribuem muito para a diminuição do valor da coloração, como é possível observar pelos resultados obtidos para as cervejas X<sub>DF</sub> e X<sub>Industrial</sub>.

Na tabela 13 verifica-se mais uma vez que o *Dry-Hopping* influencia o amargor, mas, devido à mistura de X<sub>DF</sub> em X<sub>A</sub> ser numa proporção relativamente pequena, não é perceptível esta alteração no produto final, X<sub>Industrial</sub>.

A recirculação de lúpulo influenciou ainda o valor da turvação, devido à presença de partículas mais pequenas que não foram filtradas. Contudo, este valor diminuiu bastante depois de ocorrer a mistura das cervejas X<sub>A</sub> e X<sub>DF</sub> e da diluição final da cerveja X<sub>Industrial</sub>.

Mais uma vez compararam-se os resultados obtidos com os valores exigidos para esta cerveja e verificou-se que todos os parâmetros se encontravam dentro dos limites especificados.

Por fim, foi realizada uma análise sensorial à cerveja X<sub>Industrial</sub> que foi acondicionada de duas formas, garrafa e barril. Foi também provada a cerveja X', em garrafa e lata, encontrando-se ambas em fim de validade. Na tabela 14 encontram-se os valores da avaliação global para cada uma das cervejas.

**Tabela 14** – Resultados obtidos da análise sensorial à Cerveja X<sub>Industrial</sub> e à referência

	Cerveja X' (Garrafa)	Cerveja X' (Lata)	Cerveja X <sub>Industrial</sub> (Garrafa)	Cerveja X <sub>Industrial</sub> (Barril)
<b>Avaliação Global</b>	-1,30	-0,60	-0,40	-0,70
	<b>Não Satisfatório</b>	<b>Satisfatório</b>	<b>Satisfatório</b>	<b>Satisfatório</b>

A cerveja X<sub>Industrial</sub> foi caracterizada como a mais equilibrada, no caso da cerveja em garrafa, e com um aroma mais fresco, mas pouco lupulada, tanto em garrafa como em barril. Tendo em conta que o produto acondicionado em garrafa e barril é o mesmo, cerveja X<sub>Industrial</sub>, não seria de esperar que os resultados fossem diferentes. No entanto, esta diferença poderá ter sido influenciada pelo respetivo tipo de acondicionamento do produto. Em ambos os casos, a cerveja X' foi caracterizada como mais desagradável, por ter um aroma a lúpulo velho e por estar bastante oxidada. Contudo, a análise sensorial feita a estas cervejas, alguns meses antes, prova que estas características foram

adquiridas ao longo do tempo, pois no caso na cerveja em lata a avaliação global foi de -0,1 e no caso da cerveja em garrafa foi de -0,4.

Através desta análise sensorial, verificou-se que a introdução de um excesso de 10% de massa de lúpulo no processo de *Dry-Hopping* não foi suficiente para que se atingissem as características sensoriais e organoléticas desejadas.

### **3. CERVEJA Y**

A cerveja Y trata-se uma cerveja artesanal produzida exclusivamente na Mini-Fábrica da Unicer Bebidas, SA, utilizando um método de *Dry-Hopping* convencional. O objetivo destes ensaios foi produzir a cerveja Y, com as mesmas características sensoriais e organoléticas do produto original, utilizando o *HopGun*.

A explicação geral dos ensaios realizados para a cerveja Y pode ser encontrada na secção 3, do capítulo Descrição de Testes e Ensaios.

#### **3.1. Preparação dos ensaios**

Embora para a Cerveja Y sejam adicionados dois lúpulos diferentes no processo de *Dry-Hopping*, ambos são adicionados ao mesmo tempo. Desta forma, determinou-se a massa de cada um dos lúpulos necessária para os ensaios através do método de cálculo referido no capítulo de Materiais e Métodos, secção 3, e tendo em consideração que a cuba de fermentação estaria cheia até à sua capacidade máxima, 6500 L. Obteve-se um valor total de massa de lúpulo de, aproximadamente, 30 kg para cada ensaio.

A experiência adquirida durante os ensaios da cerveja X permitiu definir que o tempo de recirculação dentro do *HopGun* seria de 8 h, devido ao facto de a quantidade de lúpulo utilizada nestes ensaios ser superior à utilizada para cerveja X e, por isso, ser necessário mais tempo de recirculação para dissolver as partículas de lúpulo.

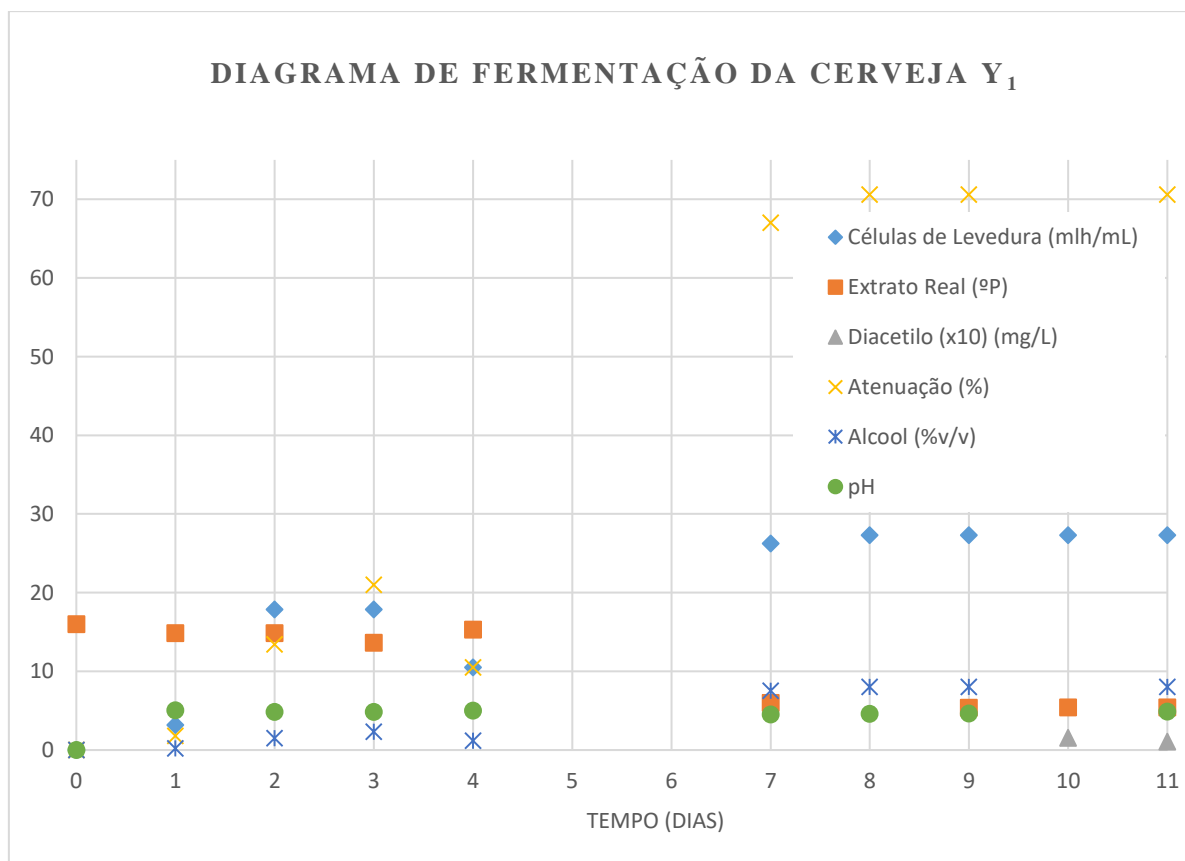
Para cada um dos ensaios foi necessário realizar três fabricos de mosto, de modo a perfazer o volume máximo da cuba de fermentação. Na tabela 15 encontram-se os resultados obtidos das análises de mosto dos vários fabricos dos ensaios Y1 e Y2.

**Tabela 15** – Resultados das análises físico-químicas dos mostos de cerveja dos ensaios Y1 e Y2

	Fabrico	Extrato Primitivo (°P)	pH	Coloração (EBC)	Amargor (UA)	Atenuação Limite (%)
<b>Ensaio Y1</b>	1	17,11	5,17	38,0	91	68
	2	16,90	5,25	28,6	77	68
	3	17,04	5,19	32,5	75	68
	4	18,33	5,33	24,9	71	70
<b>Ensaio Y2</b>	5	17,22	5,18	32,1	73	68
	6	17,18	5,19	34,1	69	68

Tendo em consideração que a produção da cerveja Y é feita exclusivamente na Mini-Fábrica e que, embora o processo de produção esteja quase todo automatizado, muitos dos passos mais importantes do processo são manuais e, por isso, é considerado normal que os parâmetros obtidos tenham alguns valores diferentes entre fabricos. Contudo, o valor de amargor obtido para o primeiro fabrico foi consequência de um excesso de lúpulo adicionado na fase de ebulição.

A fermentação foi acompanhada em ambos os ensaios e os resultados obtidos podem ser observados nas figuras 19 e 20, ensaio Y1 e Y2, respetivamente.



**Figura 19** - Resultados das análises da Cerveja Y<sub>1</sub> ao longo do processo fermentativo.

No caso do ensaio Y1, figura 19, é possível observar que no quarto dia de fermentação os valores de atenuação e células de levedura sofreram uma diminuição significativa. Isto aconteceu devido à adição do mosto obtido do terceiro fabrico do ensaio Y1, aumentando o volume dentro da cuba e diminuindo os valores de ambos os parâmetros por efeito de diluição. Verificou-se ainda que o teor de álcool também diminuiu ligeiramente devido a esta adição. No entanto, após a adição de mais levedura, o processo fermentativo ocorreu normalmente, como é possível observar pelo aumento da atenuação, até 70 %, e do álcool, até 8,02 % (v/v), bem como pela diminuição do extrato real, de 16,00 °P para 5,43 °P. No final da fermentação, o valor do diacetilo encontrava-se abaixo de 0,10 mg/L como pretendido.

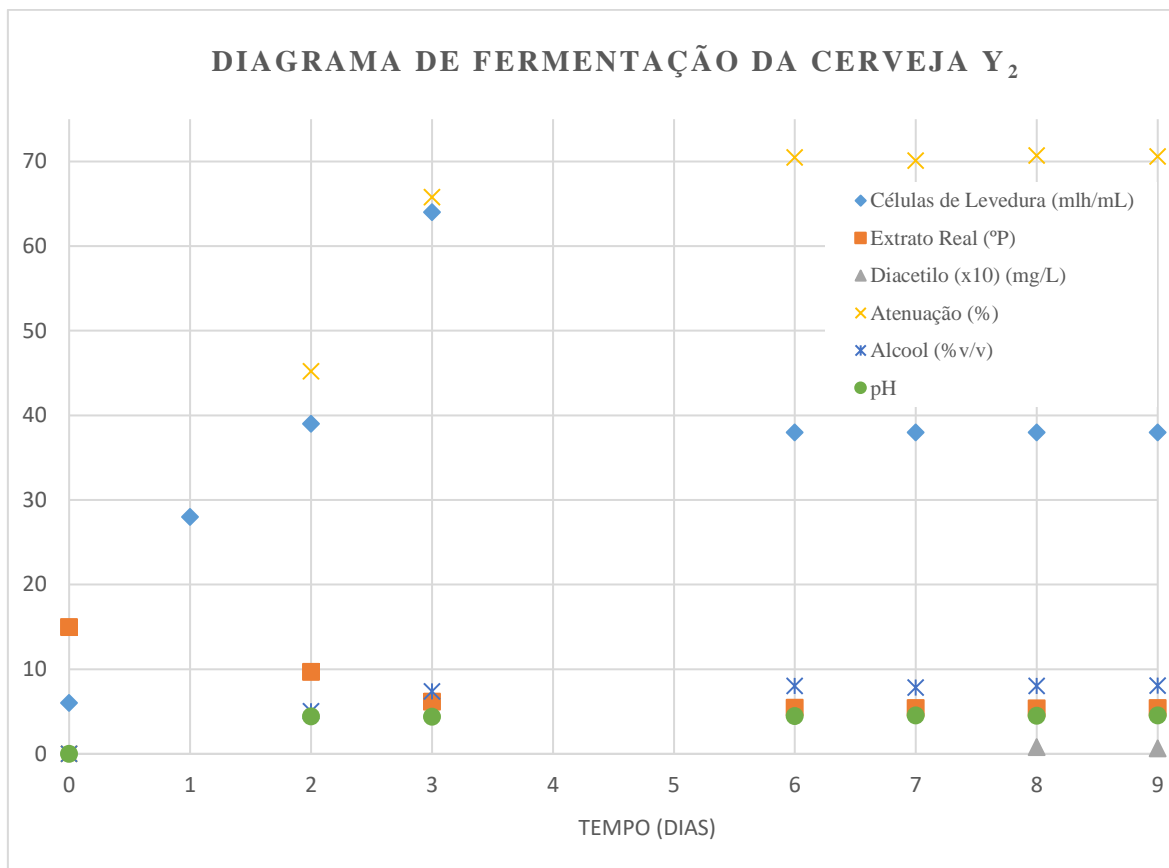


Figura 20 - Resultados das análises da Cerveja Y<sub>2</sub> ao longo do processo fermentativo.

Na figura 20 é possível observar que houve uma adição de levedura no segundo dia de fermentação da cerveja Y<sub>2</sub>. Esta adição foi realizada depois de se verificar que a levedura introduzida inicialmente não era suficiente para que o processo fermentativo ocorresse dentro do tempo estipulado. Posteriormente, foi realizada, no sexto dia de fermentação, uma purga das células levedura que estavam depositadas no fundo da cuba de fermentação.

Apesar de ser necessário realizar estas operações de adição e purga, o processo fermentativo da cerveja Y<sub>2</sub> ocorreu normalmente, com o aumento da atenuação, até 70 %, e do álcool, até 8,09 % (v/v) e com a diminuição do extrato real ao longo do tempo, de 15,00 °P até 5,40 °P. O valor do diacetilo encontrava-se abaixo do limite definido, 0,10 mg/L.

### **3.2. Ensaios Y1 e Y2**

Embora se tenha verificado ao longo dos ensaios da cerveja X que a estabilização do volume dentro do *HopGun* era bastante difícil, o ensaio Y1 foi realizado de acordo com o procedimento referido anteriormente. Contudo, após a colocação de lúpulo e pressurização do equipamento, verificou-se que as *pellets* ficaram compactadas no fundo do *HopGun*, não permitindo a entrada de cerveja pela entrada [4]. Desta forma, foi necessário introduzir o líquido pelas entradas [2] e [3], tendo como consequência a formação de espuma dentro do equipamento.

Foram necessárias aproximadamente 5 horas para que o lúpulo compactado no fundo do equipamento se soltasse e, mais uma vez, não foi possível estabilizar o volume dentro do *HopGun*, sendo necessário um controle permanente do volume do processo por parte dum operador.

Este fenómeno de compactação não tinha ocorrido até à data, pois, para os ensaios realizados anteriormente, a massa de lúpulo era significativamente menor. Para que o mesmo não acontecesse durante o ensaio Y2, foi necessário encontrar uma alternativa para a entrada de cerveja no início do processo de *Dry-Hopping*.

Verificou-se que a solução mais viável passava pela introdução de cerveja pela válvula de saída do produto, [7], mantendo as restantes válvulas fechadas. Após o volume de cerveja atingir o primeiro visor do equipamento fechou-se a entrada de líquido pela válvula [7] e abriram-se as entradas [4] e [3]. Quando o volume de líquido ultrapassou o visor do meio, fechou-se a válvula [3] e abriu-se a válvula [2]. Nesta fase, testou-se o funcionamento do equipamento com a bomba de *Dry-Hopping* a operar a 100 % e verificou-se que o volume se mantinha estável dentro do *HopGun*. Durante as 8 horas de funcionamento, o *HopGun* operou sem qualquer problema, não havendo a necessidade de controlo do volume dentro do equipamento. Na tabela 16 encontram-se as condições de operação dos ensaios Y1 e Y2.

**Tabela 16** – Condições de operação dos ensaios Y1 e Y2

	Ensaio Y1	Ensaio Y2
Frequência da Bomba DH (%)	70	100
Tempo de Recirculação (h)	8	8
Temperatura na Cuba (°C)	4,0	4,0
Pressão no <i>HopGun</i> (bar)	1,5	1,5
Pressão na Cuba (bar)	1,0	1,0

### **3.3. Resultados Experimentais dos Ensaios**

Imediatamente após o *Dry-Hopping*, foi analisado o amargor das cervejas Y1 e Y2, que também já tinha sido analisado antes do processo, para verificar a influência da adição de lúpulo depois da fermentação. Mais uma vez verificou-se que há um aumento no amargor após o processo de *Dry-Hopping*. Na tabela 17 encontram-se os resultados obtidos para o teor de amargo antes e após o processo de *Dry-Hopping* para ambas as cervejas.

**Tabela 17** – Resultados da análise do amargor das Cervejas Y<sub>1</sub> e Y<sub>2</sub> antes e depois do processo de *Dry-Hopping*

	Amargor (U.A.)	
Cerveja Y <sub>1</sub>	Antes de DH	53
	Após o DH	59
Cerveja Y <sub>2</sub>	Antes de DH	54
	Após o DH	61

Após o *Dry-Hopping*, a cerveja Y<sub>1</sub> permaneceu na cuba durante 7 dias, altura em que sofreu um processo de filtração. O enchimento da cerveja Y<sub>1</sub> ocorreu dois dias após a sua filtração e, antes de esta ser acondicionada, foi diluída. Na tabela 18, encontram-se os resultados obtidos das análises físico-químicas à cerveja Y<sub>1</sub> depois de enchida e pasteurizada.

No caso da cerveja Y<sub>2</sub>, esta foi filtrada e transferida para um TCF no mesmo dia em que ocorreu o *Dry-Hopping*, sendo que o enchimento desta só foi realizado 28 dias depois. Na tabela 18 encontram-se os resultados das análises físico-químicas à cerveja Y<sub>2</sub>, depois de devidamente acondicionada e pasteurizada. Em termos microbiológicos, ambas as cervejas, Y<sub>1</sub> e Y<sub>2</sub>, não apresentaram qualquer contagem de microrganismos patogénicos ou não patogénicos.

**Tabela 18** – Resultados das análises físico-químicas da Cerveja Y<sub>1</sub> Filtrada e do Produto Final.

Cerveja	Extrato Primitivo (°P)	Extrato Real (°P)	Álcool (% v/v)	Atenuação (%)	pH	Coloração (EBC)	Amargor (UA)	SO <sub>2</sub> Total (mg/L)
Y <sub>1</sub>	14,12	4,45	6,44	70	4,65	25,6	52	1
Y <sub>2</sub>	13,87	4,36	6,32	70	4,68	26,1	51	1

Compararam-se os resultados obtidos para o produto final de ambos os ensaios, cervejas Y<sub>1</sub> e Y<sub>2</sub>, com as especificações da cerveja Y e verificou-se que todos os valores se encontravam dentro dos limites definidos para este produto.

Como é possível observar pelos valores obtidos de coloração, o processo de *Dry-Hopping* não teve um aumento significativo neste parâmetro da cerveja Y, ao contrário do que aconteceu com a cerveja X. Desta forma, verifica-se que a influência do *Dry-Hopping* na coloração é apenas perceptível em cervejas mais claras, como é o caso da cerveja X, mencionada anteriormente.

Por fim, foi efetuado o controlo organolético de ambas as cervejas produzidas através de uma prova sensorial. Na tabela 19 estão apresentados os valores obtidos da avaliação global de cada um dos produtos.

**Tabela 19** - Resultados obtidos da análise sensorial às Cervejas Y<sub>1</sub> e Y<sub>2</sub>.

	Cerveja Y <sub>1</sub>	Cerveja Y <sub>2</sub>
<b>Avaliação Global</b>	0,00 Satisfatório	0,00 Satisfatório

Verificou-se que em ambos os casos as cervejas resultantes dos ensaios apresentam características sensoriais muito próximas do produto já existente no mercado, verificando-se que os sete dias que a cerveja Y<sub>1</sub> esteve na cuba de fermentação em contato com as partículas de lúpulo não tiveram grande influência no sabor e aroma do produto.

Contudo, de forma a perceber melhor qual a influência da utilização do *HopGun* na produção de ambas as cervejas deste projeto, cerveja X e Y, seria necessário quantificar estas alterações sensoriais, através de outros métodos de análise quantitativa dos aromas. Além disso, de forma a

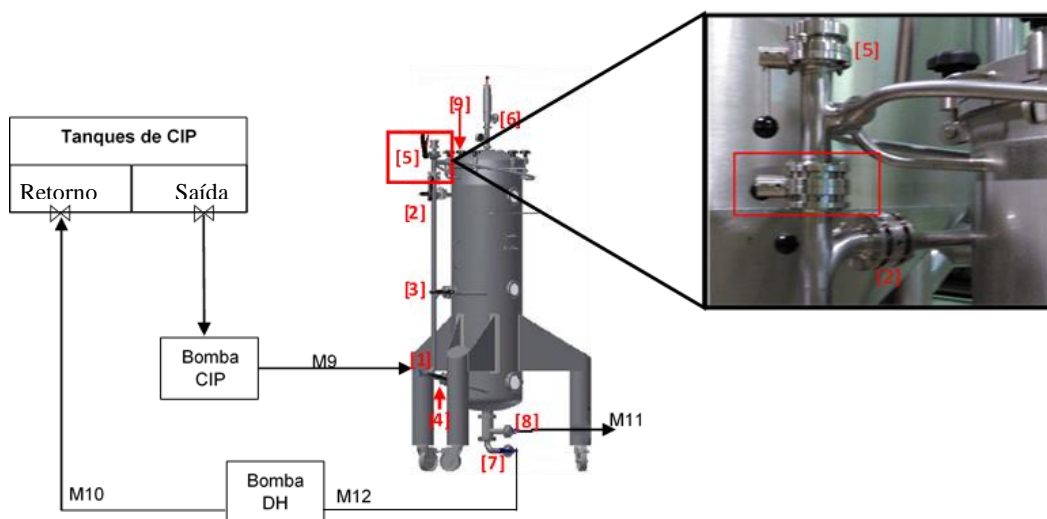


verificar a exatidão dos resultados obtidos através da análise sensorial seria necessário realizar um teste triangular, que neste caso não foi realizado devido à escassez de tempo para realizar mais testes.

#### **4. ALTERAÇÕES AO PROCEDIMENTO DE FUNCIONAMENTO E LIMPEZA DO HOPGUN**

Depois de efetuados ambos os testes e ensaios, verificou-se que alguns passos dos procedimentos de funcionamento e limpeza fornecidos pela BrauKon não eram os mais corretos para obter o melhor desempenho do equipamento na Unicer. Deste modo, no final deste trabalho foram escritas instruções de trabalho específicas para o desempenho do *HopGun* na Unicer, nomeadamente uma instrução de funcionamento e outra de procedimento de limpeza do equipamento. No anexo B apresenta-se um exemplo de uma destas instruções de trabalho.

No caso da limpeza CIP, excluiu-se a entrada das soluções de CIP pela válvula [5], passando a haver entrada apenas pela ligação [1], figura 21. Esta alteração permite que o líquido entre pelos chuveiros, caso se mantenham as válvulas [2], [3], [4] e [5] fechadas, controlando o caudal de entrada no equipamento através da válvula intermédia da tubagem da ligação [1], apresentada na figura 21. O objetivo desta alteração era não haver formação de um depósito de água no fundo do equipamento durante os vários passos do programa de CIP, aumentando a eficácia da limpeza. Contudo, embora o objetivo tenha sido atingido, este procedimento necessita também que em alguns dos passos do programa de CIP seja necessária a abertura momentânea das válvulas [2], [3] e [4], para que as tubagens correspondentes também sejam limpas. Esta abertura é manual e, por isso, requer que esteja um colaborador a controlar o processo.



**Figura 21** - Diagrama de ligações de equipamentos para limpeza CIP após alteração e válvula intermédia da tubagem da ligação 1.

No caso do procedimento de funcionamento, a principal alteração passa pela introdução de cerveja, no início do processo, pela válvula de saída. Esta mudança no procedimento permite que as *pellets* de lúpulo não fiquem compactadas no fundo do equipamento.

Para ser possível entender mais facilmente o procedimento de funcionamento, este foi dividido em duas fases, sendo que a primeira corresponde à introdução de cerveja no *HopGun* e a segunda à recirculação da mesma, figura 22 e 23, respectivamente.

Na primeira fase, a cerveja que sai do fundo da cuba entra na bomba de DH, que à saída possui uma tubagem em forma de T, que, por sua vez, possui uma mangueira ligada em cada extremidade, permitindo o envio de cerveja para válvula [7] e pela válvula [4] do *HopGun*. Considerando que inicialmente todas as válvulas estão fechadas, que o lúpulo foi introduzido e o equipamento pressurizado, começa-se por abrir a válvula do fundo da cuba. De seguida, inicia-se o programa de *Dry-Hopping* no automático, com uma frequência da bomba de DH de 70%, e abre-se a válvula [7]. Assim que o volume de líquido atingir o primeiro visor do equipamento, abre-se a válvula [4] e fecha-se a válvula [7]. Termina assim a primeira fase do procedimento de funcionamento, figura 22.

A frequência da bomba DH é alterada para 0% e a mangueira M3, que se mantém ligada à válvula [7], é desconectada da tubagem em forma de T e ligada à válvula de DH da cuba, figura 23. Altera-se a frequência da bomba DH para 100 % e abre-se a válvula [3]. Assim que o volume de líquido atingir o visor do meio, fecha-se a válvula [3] e abre-se a válvula [2]. Nesta altura o volume de líquido deve estar prestes a atingir o último visor do equipamento e, por isso, é necessário abrir a válvula [7] para dar início à recirculação. A partir deste momento o procedimento é igual ao definido no manual de instruções da Braukon.

Esta alteração no início do procedimento de funcionamento permite ter um melhor desempenho do equipamento utilizado e contribui para a estabilização do volume ao longo do processo, algo que não acontecia com o procedimento inicial, permitindo um controlo mais esporádico por parte dos colaboradores.

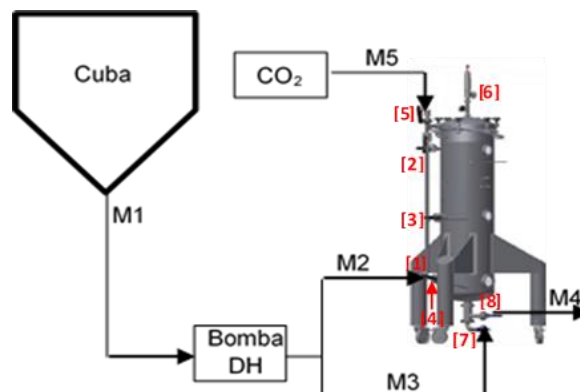


Figura 22 - Diagrama de ligações para a primeira fase do procedimento de funcionamento alterado.

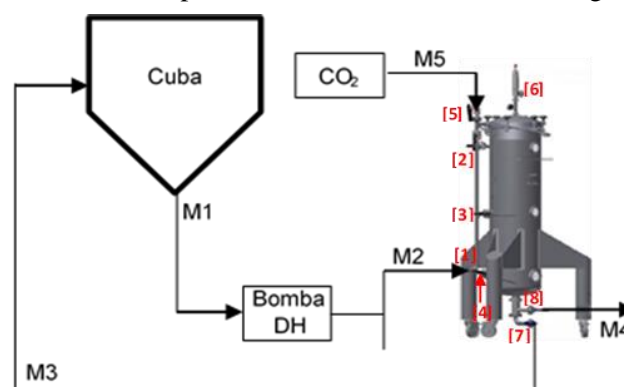


Figura 23 - Diagrama de ligações para a segunda fase do procedimento de funcionamento alterado.

## CONCLUSÕES

### 1.1. Considerações Finais

O principal objetivo deste trabalho era a otimização do processo de *Dry-Hopping* na Casa da Cerveja, através da instalação do equipamento *HopGun* e da produção de duas cervejas já existentes no mercado, cervejas X e Y.

Com a realização deste estágio foi possível instalar o novo equipamento *HopGun* na Unicer e verificar a adequação ou não dos procedimentos descritos para o seu funcionamento e a sua limpeza. Concluiu-se que a informação contida no manual fornecido pela empresa BrauKon não era suficiente para garantir uma boa operação tendo em conta as especificidades próprias da Unicer. Como tal, foram escritas duas instruções de trabalho específicas, necessárias para a operação do equipamento na Unicer, que garantem a utilização com sucesso do *HopGun*.

A utilização do *HopGun*, seguindo o procedimento de funcionamento obtido durante este projeto, requer menos controlo por parte dos colaboradores do que o método convencional, o que permite aos colaboradores da Unicer-Bebidas, S.A. realizar outras tarefas enquanto está a decorrer o processo de *Dry-Hopping*. Desta forma, conclui-se que a utilização do *HopGun* foi implementada com sucesso.

Através das análises físico-químicas realizadas ao longo deste projeto é possível concluir que o processo de *Dry-Hopping* tem influência sobre os seguintes parâmetros físico-químicos: turvação, coloração e amargor. No caso dos dois primeiros estes aumentam devido à quantidade de partículas de lúpulo que são adicionadas à cerveja durante o processo. É possível afirmar também que a alteração da coloração é mais acentuada em cervejas mais claras do que em cervejas mais escuras. Em ambos os parâmetros, turvação e coloração, a solução para estas alterações passa pela filtração e, quando necessária, diluição da cerveja.

Concluiu-se ainda que a alteração no valor do amargor é mais evidente em casos de adição de grandes quantidades de lúpulo. No entanto, tendo em consideração que o amargor da cerveja é consequência da isomerização de  $\alpha$ -ácidos, reação que ocorre mais facilmente a temperaturas elevadas, e que o processo de *Dry-Hopping* é realizado a baixas temperaturas, conclui-se que o amargor adquirido durante este processo não é proveniente de compostos isomerizados.

Relativamente à influência no aroma e sabor, verificou-se que no caso da cerveja X os parâmetros exigidos não foram atingidos na totalidade, visto que o perfil aromático obtido não era tão aromático como o da cerveja padrão, cerveja X'. Contudo, no caso da cerveja Y, produzida em ambos os ensaios, conclui-se que esta correspondeu ao esperado a nível sensorial e organolético.

No caso da cerveja Y, verificou-se ainda que o tempo de contato com as partículas de lúpulo não teve uma influência significativa nas características sensoriais e organoléticas do produto.

Embora no caso da cerveja X não tenha sido atingido o perfil sensorial desejado, será necessário realizar mais ensaios com quantidades de lúpulo superiores para ser possível determinar se o equipamento é ou não adequado para este tipo de cerveja, visto que no caso da cerveja Y não houve qualquer tipo de problema relacionado com a aquisição das características sensoriais desejadas. Conclui-se, desta forma, que o *HopGun* é um equipamento adequado para a produção de cervejas fortemente lupuladas em que se utiliza um processo de *Dry-Hopping*, como é o caso da cerveja Y.

No caso de cervejas com amargor baixo, ou seja, teores de amargo abaixo de 25 UA, como é o caso da cerveja X, verifica-se que a realização de um processo de *Dry-Hopping*, utilizando o *HopGun*, não é o método mais indicado, visto que existe uma perda considerável da matéria-prima utilizada e dos recursos disponíveis na Mini-Fábrica. Uma alternativa para este tipo de cerveja passaria pela introdução de óleos ou extratos na cerveja, depois da maturação, para que esta adquirisse as características sensoriais e organolépticas desejadas.

Através das provas realizadas à cerveja X em fim de validade, é possível concluir que as suas características sensoriais se alteram bastante ao longo do tempo, pois o aroma do lúpulo vai-se tornando mais ténue ao longo do tempo e a cerveja fica com menos características aromáticas diferenciadoras relativamente ao produto fresco.

## **1.2. Recomendações Futuras**

Tendo em consideração os conhecimentos adquiridos ao longo do projeto relativamente ao *HopGun*, de forma a minimizar o trabalho manual e controlar melhor o processo de *Dry-Hopping*, poderá ser vantajoso avaliar um investimento na automatização das válvulas do equipamento, caso a produção de cervejas com *Dry-Hopping* aumente. Além disso, seria útil a criação de um programa de CIP específico para o *HopGun*, de forma a reduzir o volume de soluções de CIP utilizado e o respetivo tempo de limpeza.

Tendo em conta que, em todos os ensaios, antes de se atingir a totalidade do tempo de recirculação definido, as *pellets* de lúpulo já estavam todas dissolvidas na cerveja, seria relevante perceber até que ponto é que o tempo de recirculação influencia o produto final. Caso o tempo de recirculação da cerveja, depois de todas as partículas já estarem dissolvidas, não tenha influência nas características sensoriais e organolépticas do produto, torna-se irrelevante prolongar o processo de *Dry-Hopping*.

A utilização de um excesso de lúpulo em cervejas com quantidades de lúpulo muito reduzidas, como é o caso da cerveja X, poderá influenciar o produto final. Caso se continue a produzir a cerveja X, seria importante testar diferentes quantidades de lúpulo na produção de cerveja X até se atingir o perfil sensorial desejado.

Por forma a entender melhor qual a influência do *Dry-Hopping* no sabor e aroma do produto final, seria importante fazer um estudo pormenorizado das concentrações dos diferentes óleos essenciais presentes na cerveja, através de uma análise por cromatografia gasosa. Caso este estudo fosse realizado, seria possível comparar diferentes condições e parâmetros de operação como, por exemplo, tempo de recirculação, tempo de contato ou quantidade de lúpulo.

Por fim, seria interessante compreender as alterações que ocorrem no amargor da cerveja durante o processo de *Dry-Hopping*. Para tal, seria aconselhável fazer uma análise através de HPLC para descobrir quais os compostos que contribuem para este parâmetro.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Bamforth, C., 2003. *Beer. Tap into the art and science of brewing*. 2ª ed. New York: Oxford University Press.
- Bamforth, C., 2006. *Brewing: New Technologies*. California: Woodhead Publishing Limited.
- Barth-Haas Group, 2015. *The Barth Report*, Nuremberg: Joh. Barth & Sohn GmbH & Co KG.
- Barth-Haas Hops Academy, 2015. *Dry Hopping Techniques*. Nuremberg: Barth-Haas Group.
- Beer Judge Certification Program, Inc., 2015. *2015 Style Guidelines*, Boulder: BJCP, Inc..
- BeerSmith LLC, 2009. *BeerSmith Home Brewing Blog*. [Online]  
Available at: <http://beersmith.com/blog/>  
[Acedido em 28 Dezembro 2015].
- Bières de Chimay SA, 1998. *Chimay*. [Online]  
Available at: <http://chimay.com/>  
[Acedido em 12 Novembro 2016].
- Boulton, C. & Quain, D., 2008. *Brewing yeast and fermentation*. London: Blackwell Publishing.
- BrauKon GmbH, 2015. *Operating instructions for BrauKon HopGun*. Truchtlaching: BrauKon GmbH.
- Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A. & Stevens, R., 2004. *Brewing: Science and practice*. 1ª ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Campos, L. S., 2009. *Entender a Bioquímica*. 5ª ed. Lisboa: Escolar Editora.
- Esslinger, H. M., 2009. *Handbook of Brewing*. 1ª ed. Freiburg: Wiley-VCH.
- Hieronymus, S., 2012. *For the love of hops: the practical guide to aroma, bitterness and the culture of hops*. 1ª ed. Boulder: Kristi Switzer.
- Hough, J. S., 1991. *The biotechnology of malting and brewing*. 1ª ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Karabín, M., Hudcová, T., Jelínek, L. & Dostálek, P., 2016. Biologically Active Compounds from Hops and Prospects for Their Use. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 00(1), pp. 1-18.
- Kunze, W., 2004. *Technology Brewing and Malting*. 3ª ed. Berlin: Versuchs und Lehranstalt für Brauerei (VLB).
- LC-GC magazine; Crawford Scientific, 2009. *CHROMacademy*. [Online]  
Available at: <http://www.chromacademy.com>  
[Acedido em 11 Novembro 2015].

- Lewis, M. J., 2003. *Beer and Brewing*, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.3. 5ª ed. s.l.:John Wiley & Sons, Inc..
- Lodolo, E., Kock, J., Axcell, B. & Brooks, M., 2008. The yeast *Saccharomyces cerevisiae* – the main character in beer brewing. 8(7).
- Manning, M. P., 1993. *Brewing Techniques: The art and science of small-scale brewing*. [Online] Available at: <http://www.morebeer.com/brewingtechniques/index.html> [Acedido em 26 Novembro 2015].
- Mitter, W. & Cocuzza, S., 2013. Dry-Hopping - A new study of various parameters. *Brewing and Beverage Industry International*, Abril, 4(1), pp. 70-74.
- Munroe, J., 2006. *Handbook of Brewing*. 2ª ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Pires, E. & Brányik, T., 2015. *Biochemistry of Beer Fermentation*, New York: Springer.
- Praet, T. et al., 2012. Biotransformations of hop-derived aroma compounds by *Saccharomyces cerevisiae* upon fermentation. *Cerevisia*, 36(1), pp. 125-132.
- Rettberg, N. & VLB, 2015. *Aroma of late and dry hopped beers - Myths, facts or something in between*. Nuremberg: 4th European MicroBrew Symposium.
- Steenackers, B., Cooman, L. d. & Vos, D. d., 2015. Chemical transformations of characteristic hop secondary metabolites in relation to beer properties and the brewing process: A review. *Food Chemistry*, 172(1), pp. 742-756.
- Tetra Pak International SA, 2014. *Cleaning in place - A guide to cleaning technology in the food processing industry*. Sweden: Tetra Pak International SA.
- The Garage Inc., 2015. *Bend Brewfest*. [Online] Available at: <http://bendbrewfest.com/> [Acedido em 14 Dezembro 2015].
- Unicer Bebidas de Portugal SGPS SA, 2015. *O Livro das Cervejas | Super Bock*. 1ª ed. Porto: Unicer Bebidas de Portugal SGPS SA.
- Unicer Bebidas, SA, 2004a. *Amargor da Cerveja: Método Espectofotométrico*. Porto: Unicer - Bebidas, S.A..
- Unicer Bebidas, SA, 2004b. *Análise Sensorial: Controlo Organolético*. Porto: Unicer - Bebidas, S.A..
- Unicer Bebidas, SA, 2004c. *Álcool, Extratos e Grau de Fermentação pelo Auto-Analisador Anton Paar*. Porto: Unicer - Bebidas, S.A..
- Unicer Bebidas, SA, 2004d. *Diacetilo na Cerveja: Método Cromatográfico por G.C.*. Porto: Unicer - Bebidas, S.A..
- Unicer Bebidas, SA, 2004e. *Turvação de Cerveja a 20°C: Pelo Turbidímetro HZ-013*. Porto: Unicer - Bebidas, S.A..

Unicer Bebidas, SA, 2004f. *Turvação de Cerveja a 0°C: Pelo Turbidímetro HZ-013*. Porto: Unicer - Bebidas, S.A..

Unicer Bebidas, SA, 2004g. *Quantificação de Microorganismos Nocivos e Não Nocivos na Cerveja*. Porto: Unicer - Bebidas, S.A..

Unicer Bebidas, SA, 2011a. *Determinação do SO<sub>2</sub> em Cerveja: Sistema em Fluxo Segmentado (Skalar)*. Porto: Unicer - Bebidas, S.A..

Unicer Bebidas, SA, 2011b. *Dióxido de Carbono em Garrafa/Lata de Cerveja: Metodo CarboQC - Anton Paar*. Porto: Unicer - Bebidas, S.A..

Unicer Bebidas, SA, 2015. *Unicer*. [Online]

Available at: <http://unicer.pt/>

[Acedido em 15 Outubro 2015].

Willaert, R., 2007. The Beer Brewing Process: Wort Production and Beer Fermentation. In: Y. H. Hui, ed. *Handbook of Food Products Manufacturing*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., pp. 441-504.

Wolfe, P. H., 2012. *Study of Factors Affecting the Extraction of Flavor When Dry Hopping Beer*. Oregon: Oregon State University.

Woodske, D., 2013. *Hop Variety Handbook*. 1ª ed. Pennsylvania: Beaver Brewing Company.

Zunkel, M., 2015. *Extracting the best flavours from your hops- Dry-hopping techniques*. Nuremberg: Barth-Haas Hops Academy.





## B. EXEMPLO DE UMA INSTRUÇÃO DE TRABALHO



### Instrução de Trabalho

Funcionamento do HopGun



#### 1. Objectivo e Campo de Aplicação

Descrever o método de funcionamento do HopGun.

#### 2. Responsabilidades

A responsabilidade é dos técnicos e/ou responsável da Mini-Fábrica.

Em caso de anomalia a responsabilidade é do Gestor da Mini-Fábrica.

#### 3. Descrição

##### 3.1 PROCEDIMENTO ANTES DE INICIAR O DRY-HOPPING:

1. Ligar uma mangueira entre a válvula [REDACTED] e a entrada da bomba de dry-hopping [REDACTED].
2. Introduzir um "T" na válvula 6 do HopGun.
3. Ligar outra mangueira entre a saída da bomba de dry-hopping [REDACTED] e o lado direito do "T".
4. Ligar uma mangueira entre o lado esquerdo do "T" e a [REDACTED].
5. Ligar outra mangueira entre a válvula [REDACTED] do HopGun e a válvula [REDACTED].

##### 3.2 PROCEDIMENTO PARA INICIAR O DRY-HOPPING:

#### A. Pressurização do HopGun:

1. Garantir que a válvula de segurança está posicionada no valor desejado.
2. [REDACTED]
3. Ligar mangueira entre [REDACTED] referido no ponto 2 e a válvula [REDACTED].
4. Pressurizar o equipamento abrindo a válvula de CO2 [REDACTED] na totalidade e abrir ligeiramente a válvula [REDACTED], de forma a controlar a entrada de CO2 no equipamento. Esperar alguns segundos depois de a válvula de segurança ativar, para expulsar o Ar que permanece dentro do HopGun.

#### B. Introdução de Lúpulo:

1. Abrir tampa do HopGun rodando os manípulos.
2. Introduzir o lúpulo dentro do HopGun.
3. Fechar tampa do equipamento apertando bem os manípulos.








#### C. Bomba de Dry-Hopping:

1. Ligar bomba à tomada [REDACTED]












2. No painel da bomba, rodar o diferenciador do lado direito para a posição 

#### D. No automático:

1. Clicar na seta do lado direito do separador 
2. Clicar em 
3. Verificar que a bomba está ligada à tomada 
4. Duplo Clique no ícone da bomba no automático.
5. No início do processo, a bomba deverá operar a 70%. Caso seja necessário alterar a frequência da bomba, o valor desejado deverá ser introduzido em 
6. Para iniciar o processo, clicar em 

### 3.3. INTRODUÇÃO E RECIRCULAÇÃO DE CERVEJA NO HOPGUN:

1. Abrir válvula 
2. Abrir válvula do lado direito do "T" ligado à válvula 
3. Abrir válvula 
4. Assim que se visualizar a cerveja no visor do fundo do equipamento, abrir a válvula do lado esquerdo do "T" e válvula 
5. Abrir válvula 
 quando a cerveja for visualizada no visor do meio.6. Abrir a válvula 
 quando o volume de cerveja atingir o visor de cima.  
Atenção: o volume dentro do HopGun não deverá ultrapassar o limite superior do visor de cima, para que seja possível controlar mais facilmente o processo.7. Alterar a frequência da bomba para 0%.
8. Fechar a válvula 
9. Abrir a válvula 
10. Garantir que a pressão do HopGun é 0.2 bar superior à pressão da cuba.
11. Abrir a válvula 
12. Alterar a frequência da bomba para 70%.

### **C. DETERMINAÇÃO DA MASSA DE LÚPULO (EXEMPLO DE CÁLCULO)**

Assumindo uma concentração de óleos nas *pellets* de 0,05 mg de óleos por g de *pellets* e sendo que o objetivo final era ter 0,05 mg de óleos por L de cerveja, determina-se a massa de *pellets* necessária por litro de cerveja,  $C_{Lúpulo}$ , através da equação (11).

$$C_{Lúpulo} = \frac{0,05 \frac{mg \text{ de óleos}}{L \text{ de cerveja}}}{0,05 \frac{mg \text{ de óleos}}{g \text{ de pellets}}} = 1 \text{ g de pellets / L de cerveja} \quad (11)$$

Considerando um ensaio com um volume de 5000 Litros, determina-se a massa de Lúpulo necessária a partir da equação (12).

$$M_{Lúpulo} = C_{Lúpulo} \times V_{Ensaio} \leftrightarrow M_{Lúpulo} = 1 \times 5000 \leftrightarrow M_{Lúpulo} = 5000 \text{ g de pellets} \quad (12)$$
$$M_{Lúpulo} = 5 \text{ kg de pellets}$$

Por sua vez, para casos em que é necessário utilizar uma concentração dez vezes superior à do objetivo, utiliza-se a equação (13).

$$M_{Lúpulo} = (C_{Lúpulo} \times 10) \times V_{Ensaio} \leftrightarrow M_{Lúpulo} = 1 \times 10 \times 5000 \quad (13)$$
$$M_{Lúpulo} = 50\,000 \text{ g de pellets} \leftrightarrow M_{Lúpulo} = 50 \text{ kg de pellets}$$