



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

DIEGO HOLANDA PEREIRA DE SOUZA

**A ATUAÇÃO DO PROFISSIONAL DA QUÍMICA NO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO DE CERVEJA**

FORTALEZA

2016

DIEGO HOLANDA PEREIRA DE SOUZA

**A ATUAÇÃO DO PROFISSIONAL DA QUÍMICA NO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO DE CERVEJA**

Monografia apresentada ao Curso de Química Bacharelado do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Química com Habilitação Industrial.

Orientador Didático: Prof^a. Dr^a. Ruth Maria Bonfim Vidal

Orientador Profissional: Michele Tomasine Tomé Viana

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237a Souza, Diego Holanda Pereira de.

A atuação do profissional da química no processo de fabricação de cerveja / Diego
Holanda Pereira de Souza. – 2016.

65 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro
de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2016.

Orientação: Profa. Dra. Ruth Maria Bonfim Vidal.

Coorientação: Profa. Michele Tomasine Tomé Viana.

1. Profissional da Química. 2. Químico. 3. Processo de Fabricação de Cerveja. 4.
Cerveja. I. Título.

CDD 540

DIEGO HOLANDA PEREIRA DE SOUZA

**A ATUAÇÃO DO PROFISSIONAL DA QUÍMICA NO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO DE CERVEJA**

Monografia apresentada ao Curso de Química Bacharelado do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Química com Habilitação Industrial.

Aprovada em: 01 / 07 / 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ruth Maria Bonfim Vidal
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Michele Tomasine Tomé Viana
Ambev S.A.

Prof^a. Dr^a. Márjory Lima Holanda Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelas inúmeras oportunidades que me concede e que promovem meu crescimento pessoal e profissional. Além da força que me dá todos os dias para continuar batalhando e vencendo na vida.

Aos meus pais que sempre apoiaram meus estudos e sempre me encorajaram a nunca desistir.

À minha família por ser meu porto seguro e funcionar como modelo de honestidade, perseverança e sagacidade.

Aos meus amigos por darem apoio nos momentos difíceis e compartilharem alegria nos momentos de felicidade.

À Universidade Federal do Ceará por oferecer educação de qualidade a nós, estudantes.

Aos professores de Química e Bioquímica da Universidade Federal do Ceará que muito fazem para garantir a educação de seus alunos.

À CAPES, CNPq, PROGRAD e ASTEF, pelo apoio financeiro concedido durante minha graduação.

À empresa Ambev e seu time de cervejeiros por sua contribuição dada à minha aprendizagem.

“A persistência é o caminho do êxito.”
(Charles Chaplin)

RESUMO

O profissional da química é aquele que possui amplo conhecimento em operações e controles de processos químicos, planejamento de produção, reações químicas, análises laboratoriais, desenvolvimento de produtos, entre outros. Características essas que são fundamentais para um profissional que trabalha na área industrial do processo de fabricação de cerveja. As etapas necessárias para a produção da cerveja envolvem fabricação do mosto, controle da fermentação e filtração. O mosto é um extrato aquoso rico em açúcares que serão utilizados pela levedura para sua propagação e fermentação. O álcool produzido a partir da fermentação será filtrado e armazenado em tanques de pressão para posterior envasilhamento em garrafas ou latas. É de extrema importância que todo o processo seja controlado por meio de análises físico-químicas e analíticas a fim de acompanhar o desenvolvimento do processo e garantir a qualidade do produto. Durante o presente trabalho, foi feito um estudo de caso sobre as principais anomalias que ocorrem em cada subárea do processo de produção de cerveja. Fez-se um levantamento acerca das principais causas e ações que foram adotadas para solucionar os problemas. Observou-se que se faz necessário um conhecimento amplo do processo produtivo para que ações corretivas ideais sejam adotadas. Além disso, ações mais eficazes podem ser tomadas caso esse conhecimento seja aliado ao embasamento teórico obtido pelo bacharel em química durante sua graduação. Dessa forma, objetiva-se que um maior número de químicos seja contratado para atuar na área do processo de fabricação de cerveja. Seu conhecimento sobre reações químicas que ocorrem durante o processo e sobre os princípios das análises realizadas ao longo da produção são fundamentais a fim de garantir melhoras na qualidade do produto acabado e uma maior eficiência no processo produtivo.

Palavras-chave: Profissional da química. Químico. Processo de fabricação de cerveja. Cerveja.

ABSTRACT

The professional of Chemistry is the one who has a range of knowledge about operations and control of chemical processes, production planning, chemical reactions, laboratory analyses, development of products and others. Those features are of the essence for a professional who works in the brewing process area of an industry. The necessary steps to brew beer are preparing the wort, managing the fermentation and filtering. The wort is an aqueous extract rich in sugars which will be consumed by the yeast in order to propagate and ferment. The alcohol that yields from the fermentation will be filtered and stored inside pressure vessels to be further packed into bottles and cans. It is extremely necessary to control the entire brewing process by carrying on physical-chemical and analytical analyses in order to evaluate the development of the process and guarantee the quality of the product. Along the work, it was elaborated a case study about the major anomalies that happen on each subarea of the brewing process. The major causes and the actions that were adopted to solve the issues were listed down. It was observed that it is extremely necessary to have a broad knowledge of the productive process in order to come up with the most suitable corrective actions. Besides that, when this knowledge is allied with the theoretical chemical concepts that are learned during the Chemistry bachelor's program, the actions taken to solve the problems can be more effective. Indeed, more job opportunities in the brewing industry ought to be available to chemists. Their knowledge about chemical reactions that happen during the process and also about the principles of the analyses which are conducted along the production are essential in order to guarantee improvements on the quality of the beer and a greater efficiency on the productive process.

Key words: Professional of Chemistry. Chemist. Brewing process. Beer.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral	11
2.2	Objetivos específicos	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	Matérias primas de produção da cerveja	12
3.1.1	Água	12
3.1.2	Malte	12
3.1.2.1	<i>Maceração</i>	15
3.1.2.2	<i>Germinação</i>	15
3.1.2.3	<i>Secagem</i>	16
3.1.3	Adjuntos	17
3.1.4	Lúpulo	17
3.2	Processo de fabricação de cerveja	18
3.2.1	Brassagem	18
3.2.1.1	<i>Recebimento de malte e adjunto</i>	19
3.2.1.2	<i>Beneficiamento de malte e adjunto</i>	20
3.2.1.3	<i>Mosturação</i>	22
3.2.1.3.1	<i>Cozinhador de adjunto</i>	22
3.2.1.3.2	<i>Tina de mostura</i>	23
3.2.1.3.3	<i>Tina filtro</i>	26
3.2.1.3.4	<i>Tina de fervura</i>	27
3.2.1.3.5	<i>Decantador</i>	30
3.2.2	Adegas de fermentação e maturação	30
3.2.2.1	<i>Fermento</i>	31
3.2.2.2	<i>Atenuação de extrato</i>	34
3.2.2.3	<i>Teor de dicetonas vicinais</i>	37
3.2.2.4	<i>Propagação do fermento</i>	38
3.2.2.5	<i>Fermentação</i>	40
3.2.2.6	<i>Centrifugação</i>	42
3.2.2.7	<i>Maturação</i>	43
3.2.3	Filtração	44

4	MATERIAIS E MÉTODOS	50
4.1	Tempo total de fabricação (TTF)	50
4.2	Teor de oxigênio dissolvido no maturador	50
4.3	Extrato aparente na cerveja filtrada	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1	Tempo total de fabricação (TTF) elevado	53
5.2	Teor elevado de oxigênio dissolvido no maturador	54
5.3	Extrato aparente fora de faixa na cerveja filtrada	57
6	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma bebida alcoólica produzida a partir da ação fermentativa de leveduras sobre o mosto - extrato aquoso de malte e lúpulos.

Sua origem é incerta, porém acredita-se que as primeiras cervejas foram produzidas acidentalmente ao deixar grãos de cevada expostos ao ar no interior de um frasco aberto. As condições de temperatura e umidade do ambiente permitiram a formação do mosto, e levedura selvagem carregada pelo vento se instalou no meio provocando o processo de fermentação e consequente formação do álcool.¹

Com o passar do tempo, as técnicas de fabricação de cerveja foram evoluindo, e elas passaram a ser produzidas a partir de um processo controlado de tratamento do malte e lúpulo.

O progresso da ciência conduziu à produção de cervejas de melhor qualidade e com sabor padrão. Louis Pasteur, químico francês, foi responsável pela descoberta de microorganismos responsáveis pela deterioração do produto, logo o controle sobre a higienização na produção da cerveja foi aprimorado.² Søren Sørensen, um químico dinamarquês, criou a escala de pH tornando assim possível determinar a concentração de íons hidrogênio dissolvidos na cerveja.³ Outro químico que desenvolveu um trabalho de fundamental importância foi Johan Kjeldahl que elaborou uma técnica, ainda hoje utilizada, para determinação do teor de nitrogênio em compostos orgânicos presentes em grãos utilizados na produção da cerveja.⁴

Søren Sørensen e Johan Kjeldahl eram químicos que trabalhavam no laboratório Carlsberg na Dinamarca, criado e financiado pela cervejaria de mesmo nome para promover estudos de melhoramento na qualidade do produto. Louis Pauster contribuiu para o progresso do laboratório a partir de seus estudos sobre a indústria cervejeira.⁵

O químico, durante sua graduação, cursa disciplinas que geram conhecimento sobre as técnicas físico-analíticas que são conduzidas durante a fabricação da cerveja, além de entendimento sobre as principais reações que ocorrem ao longo do processo e sobre as propriedades físico-químicas do produto acabado.

O presente trabalho tem como objetivo demonstrar as diversas formas de atuação do químico no processo de fabricação de cerveja a fim de gerar mais oportunidades de contratação deste profissional na área.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Demonstrar as diversas formas de atuação do profissional da química no processo de fabricação de cerveja para que haja um aumento de sua atuação no ramo industrial.

2.2 Objetivos específicos

- a) Descrever e detalhar as etapas de produção da cerveja na indústria.
- b) Aliar os conceitos químicos obtidos durante o curso de graduação com o processo de fabricação de cerveja.
- c) Fazer estudo de caso das anomalias mais críticas e recorrentes que ocorrem em cada subárea do processo de fabricação de cerveja, a partir do levantamento de suas principais causas e ações corretoras e/ou preventivas.
- d) Descrever o princípio de funcionamento dos aparelhos de medição de oxigênio dissolvido e teor de extrato aparente na cerveja.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Matérias primas de produção da cerveja

As matérias primas básicas utilizadas para a fabricação de cerveja são: água, malte, adjunto e lúpulo. Todas devem ser submetidas a um controle rígido de tratamento, a fim de garantir a qualidade do produto acabado.

3.1.1 Água

A água é um dos principais constituintes da cerveja e representa aproximadamente 90% de sua composição, por isso exerce forte influência sobre a qualidade do produto acabado.⁶ Dessa forma, a água cervejeira passa por um tratamento completo por meio da utilização de sistemas modernos de purificação, como osmose reversa, a fim de garantir que esta satisfaça as necessidades gerais da água potável.

3.1.2 Malte

O malte é um produto que resulta do processo artificial e controlado da germinação e posterior dessecação da cevada.

Figura 1 - Planta da cevada.



Fonte: <<http://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2013/07/10/brasil-produz-mais-cevada-anima-cervejaria-artesanal-mas-preco-nao-vai-cair.htm>>⁷

Figura 2 – Grãos de cevada.



Fonte: <<http://www.saudedica.com.br/os-10-beneficios-da-cevada-para-saude/>>⁸

A cevada é um cereal pertencente à família das gramíneas e ao gênero *Hordeum*. Os grãos de cevada são utilizados no processo de produção de cerveja, pois eles apresentam várias características importantes que justificam sua utilização, como:⁹

- a) Facilidade do controle da germinação;
- b) Alto teor de amido;
- c) Presença de enzimas;
- d) Cascas que formam uma camada filtrante natural e conferem proteção aos grãos durante etapa de malteação;
- e) Teor de proteínas em proporção ideal em relação ao teor de amido;
- f) Aroma e sabor característicos da cerveja.

Figura 3 – Morfologia da semente da cevada.

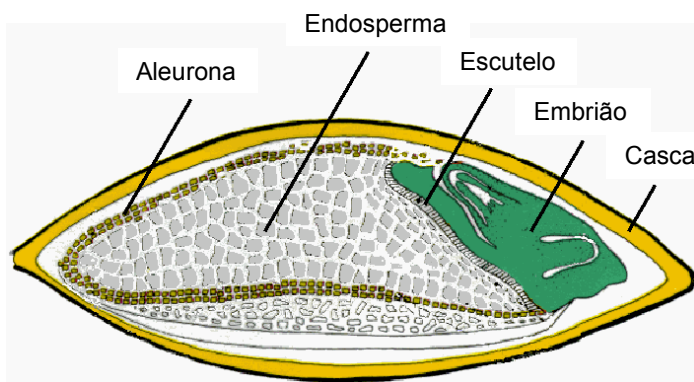
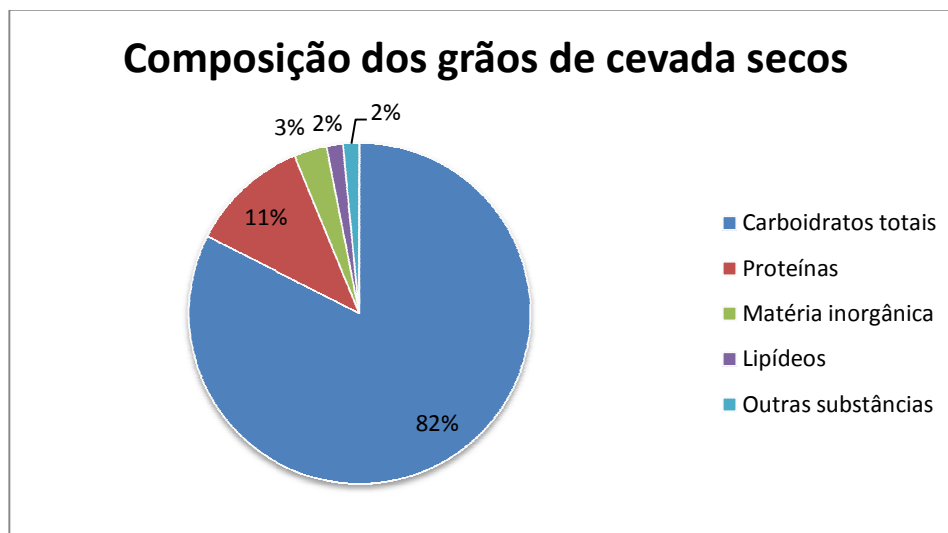


Imagem original em inglês traduzida pelo autor para o português.
 Fonte: <<http://www.debiq.eel.usp.br/~joaobatista/AULACERVEJA2.pdf>>¹⁰

O embrião representa a parte viva do grão, que germina durante a etapa de malteação. O endosperma constitui a reserva energética do embrião e é formado principalmente por amido. Durante a germinação, as substâncias presentes no endosperma são hidrolisadas, para que o embrião utilize-as durante o seu processo de respiração e crescimento. A aleurona é uma camada de células vivas e de lipoproteínas que envolvem o endosperma. Quando o grão é hidratado, sinais hormonais são enviados à aleurona que estimulam a liberação de enzimas que hidrolisam o material contido no endosperma. Esses nutrientes migram para o embrião e são metabolizados por ele para promover seu crescimento. A casca protege o embrião e o endosperma contra danos mecânicos e ataques de fungos e insetos.¹¹

O grão de cevada seco apresenta a seguinte composição:

Figura 4 – Gráfico representativo dos principais constituintes nutricionais dos grãos de cevada.

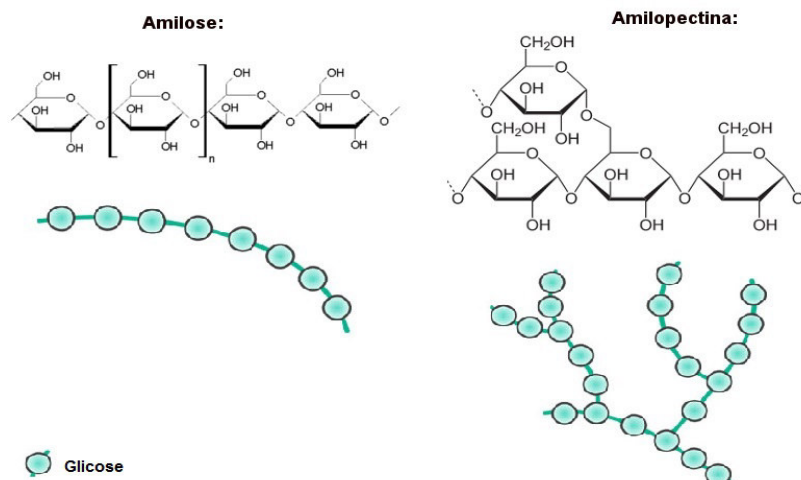


Fonte: Dados retirados de PORTO, 2011.¹¹

Baseado no gráfico acima, observa-se que os grãos de cevada são formados principalmente por carboidratos. De acordo com Porto (2011)¹¹, os carboidratos mais presentes são o amido, a celulose, a hemicelulose, a glicose e a maltose.

O amido representa a substância de reserva em maior quantidade no grão (55 – 65%). Ele fica armazenado no endosperma na forma de grânulos e é somente consumido quando há um período de desenvolvimento, isto é, a germinação. Os grânulos de amido são formados pela amilose e amilopectina, e ambas são constituídas de cadeias longas de glicose. A amilose é formada por unidades de glicose ligadas em uma estrutura que apresenta um pequeno grau de ramificação, enquanto que a amilopectina é formada por unidades de glicose com elevado grau de ramificação.¹¹

Figura 5 – Estrutura molecular da amilose e da amilopectina demonstrada na parte superior da figura. Abaixo de cada uma, encontra-se a representação de suas respectivas estruturas organizacionais.



Fontes: <<http://s2.static.brasilecola.uol.com.br/img/2014/03/amilose-e-amilopectina.jpg>>¹²
 <http://2.bp.blogspot.com/-yrVJqe_33r0/TeABxpxVX4I/AAAAAAAAAXk/T204i7W7vuk/s1600/amilose.jpg>¹³

Malteação é o nome que se dá ao processo de tratamento do malte, a fim de elevar seu conteúdo enzimático para que essas enzimas atuem no catabolismo de macromoléculas durante o processo posterior de mosturação. O processo de malteação é dividido nas etapas de maceração, germinação e secagem dos grãos de cevada.⁹

3.1.2.1 Maceração

O objetivo da maceração é dispor ao embrião da cevada as condições ideais para que ele inicie sua germinação. Dessa forma, é fornecida ao embrião oxigênio e bastante água, de modo que o teor de umidade chegue a 43 - 45%. Além disso, a temperatura durante todo o processo é controlada de modo que se estimule uma maior absorção de água pelo grão.¹¹

3.1.2.2 Germinação

A germinação é o processo de desenvolvimento do embrião em uma nova planta. Para isso, o grão produz enzimas que degradam as reservas energéticas

presentes no endosperma que servem de nutrientes ao embrião. Porém, o objetivo nas maltarias não é obter uma nova planta, mas sim produzir enzimas e liberar nutrientes que serão usados para a produção do mosto.¹¹

Como já mencionado anteriormente, o processo de maceração fornece água, umidade, oxigênio e temperatura nas condições ideais para o grão de cevada, a fim de promover a germinação do embrião. Esta água estimula a liberação de hormônios no escutelo, que são distribuídos para toda a camada de aleurona, onde irá ocorrer a síntese e liberação de enzimas responsáveis pela degradação das reservas energéticas presentes no endosperma. β -glucanases, α -amilases e proteases são algumas das enzimas formadas durante a germinação, e todas elas se formam em períodos diferentes. A enzima β -amilase já se encontra presente no grão de cevada, porém sua concentração aumenta durante o processo de germinação.

As enzimas responsáveis pela degradação do amido, as α -amilases e β -amilases, são as mais importantes para o processo de mosturação, pois elas degradam o amido em açúcares menores.⁶ Dessa forma, um complexo enzimático fundamental ao processo é a citase, responsável pela degradação dos componentes presentes na parede celular do endosperma. Isso permite que este se solubilize mais facilmente durante a mosturação, e as enzimas amilolíticas atuem de forma rápida.¹¹

3.1.2.3 Secagem

O objetivo da etapa de secagem é desumidificar o malte, a fim de torná-lo estável e armazenável. Dessa forma, quando toda a água presente no grão é evaporada, ocorre a inativação dos processos bioquímicos das enzimas. Além disso, o processo de secagem também altera as características do malte fornecendo um paladar e aroma característicos.⁹ Segundo Kunze (1999)¹⁴, moléculas de baixo peso molecular que foram hidrolisadas durante a germinação reagem a altas temperaturas modificando algumas características organolépticas do malte.

Outra finalidade do processo de secagem é retirar as radículas formadas durante o processo de germinação. Estas possuem um alto teor proteico e geram um amargor indesejável à cerveja.⁹

3.1.3 Adjuntos

Os adjuntos são fontes de carboidrato não maltado que complementam ou suplementam o malte da cevada mantendo um padrão de qualidade similar. Sua utilização apresenta grande vantagem econômica, pois como estão mais disponíveis no mercado que o malte, apresentam menor custo, além de que favorece a produção de cervejas mais claras e suaves ao paladar.⁶

O mais comum adjunto utilizado é o grits de milho que é produzido pela moagem a seco do milho desgerminado. O grão desse vegetal possui de 76% a 80% de carboidratos, e dentre eles, 63% constitui amido em sua composição.¹⁵ Dessa forma, o grits de milho fornece uma alta concentração de amido ao mosto e deve ser tratado na sala de brassagem, onde as enzimas irão quebrar em açúcares menores.⁶

A legislação brasileira permite que parte do malte da cevada seja substituído por adjunto cervejeiro, como o grits de milho, porém não deve exceder 45% em relação ao extrato primitivo.¹⁵

Figura 6 – Grits de milho (pequenos grãos de milho moído).



Fonte: Autor

3.1.4 Lúpulo

O lúpulo é uma flor da família das canabidáceas e é nativa da Ásia, América do Norte e Europa. Apes Fonte: Autor. mesma família da maconha, não possui nenhum efeito entorpecente. A função do lúpulo é fornecer amargor e aroma à cerveja. Além disso, juntamente com o álcool e o gás carbônico (produtos da fermentação), o lúpulo cria um ambiente hostil para a proliferação de bactérias patogênicas.¹⁶

Figura 7 – Flor da planta do lúpulo.



Fonte:
<<http://www.canalcatarinense.com.br/santa-catarina-pode-ser-a-primeira-produtora-de-lupulo-do-brasil>>¹⁷

Figura 8 – Pellets de lúpulo.



Os pellets de lúpulo são fabricados a partir da moagem e prensagem da flor.
Fonte: Autor.

Existem basicamente dois tipos de lúpulo:⁹

- a) Lúpulo amargor: Fornece amargor e pouco aroma à cerveja.
- b) Lúpulo aromático: Fornece amargor, mas principalmente aroma à cerveja, pois possui alto teor de óleos essenciais e compostos aromáticos.

3.2 Processo de fabricação de cerveja

A área do processo de fabricação de cerveja é dividida em três subáreas: brassagem, adegas de fermentação e maturação e filtração.

3.2.1 Brassagem

Todo o processo de fabricação de cerveja se inicia na subárea conhecida como brassagem. É nela onde ocorre o processo de mosturação, ou seja, a produção do mosto cervejeiro, um substrato rico em nutrientes que são utilizados pelo fermento para sua propagação e fermentação. Esta subárea é responsável pela realização das seguintes operações:

- a) Recebimento de malte e adjunto.
- b) Beneficiamento de malte e adjunto.
- c) Mosturação.

3.2.1.1 Recebimento de malte e adjunto

O caminhão com carga de malte ou grits, ao chegar à fábrica, é primeiramente inspecionado visualmente. Tanto as condições do caminhão, quanto as condições da lona de proteção da carga são averiguadas com o intuito de observar se há algum ponto de contaminação do produto com outros grãos, insetos ou umidade. Além da inspeção visual, faz-se a coleta da amostra em diferentes pontos da carreta através do uso de um calador, a fim de realizar análises granulométricas e sensoriais da amostra.

Figura 9 – Calador.



Equipamento utilizado para fazer coleta de amostra de grãos.

Fonte: <<http://www.motomco.com.br/2014/equipamentos.php?section=3&equipment=GRANELEIRO-2.2M><http://www.motomco.com.br/2014/equipamentos.php?section=3&equipment=GRANELEIRO-2.2M>>¹⁸

Ao finalizar as análises e observar que todas estão em conformidade, seleciona-se o silo para descarga do malte ou grits pelo supervisor e aciona-se o sistema de sucção de pó e palha. O produto é despejado dentro da moega e de lá segue para seu respectivo silo.

Diversos métodos mecânicos de separação de misturas, como a tamisação, a separação magnética e a filtração de mistura gás-sólido, que são estudados na disciplina de *Química Geral I*, são encontrados na área de recebimento e beneficiamento.

A moega, por exemplo, contém uma tela, com abertura de aproximadamente 2,0 cm, para impedir que impurezas volumosas, que não foram detectadas durante inspeção, sejam carregadas para dentro do silo junto com a amostra.

Ao longo do transporte, existe um grande imã que impede que peças metálicas sejam transportadas junto com o produto. Peças metálicas, além de serem impurezas, representam um enorme risco de segurança, pois seu atrito com os pontos do transporte pode produzir faíscas e causar explosões.

O sistema de aspiração de pó e palha ao longo da região de recebimento e beneficiamento é formado por filtros de mangas, equipamentos que filtram e eliminam partículas sólidas existentes no fluxo de gases. Eles garantem a redução dos riscos de explosão na área, pois a mistura seca de pó e ar promove a formação de uma atmosfera explosiva.⁶

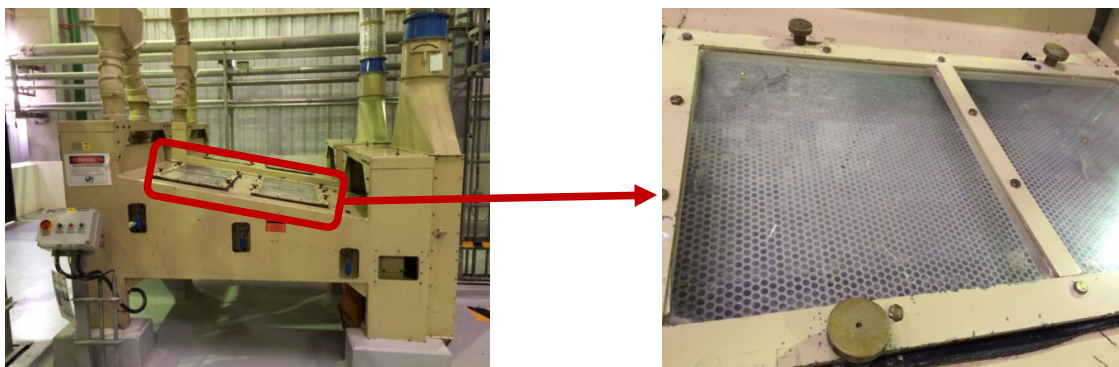
3.2.1.2 Beneficiamento de malte e adjunto

Essa etapa consiste em pesagem do adjunto, limpeza do malte em máquinas de limpeza e despedradeira e sua posterior pesagem e moagem.

O processo de beneficiamento de malte é mais longo que o de adjunto, pois o malte, antes de ser pesado, passa por equipamentos que garantem a limpeza dele, enquanto que o grãos já chega à fábrica pronto para ser utilizado.

O primeiro equipamento é a máquina de limpeza. Este é formado por duas peneiras granulométricas que diferem entre si pelo tamanho da abertura de seus poros. Dessa forma, o equipamento separa os grãos de malte de outras partículas presentes por diferença de tamanho.

Figura 10 – Máquina de limpeza e peneiras de separação por volume.



A figura à esquerda demonstra a máquina de limpeza, e à direita observa-se as peneiras de separação por volume presentes no interior do equipamento.

Fonte: Autor.

Após a máquina de limpeza, o malte é transportado para a máquina despedradeira, que faz a separação da mistura por diferença de densidade. Dessa forma, partículas que possuem tamanhos e dimensões similares a do grão de malte e que não foram separadas na máquina de limpeza são eliminadas na despedradeira.

Figura 11 – Máquina despedradeira (vista frontal à esquerda e vista traseira à direita).



A região demarcada na figura à esquerda representa a área de descarte de material com densidade superior à densidade do malte. A região demarcada na figura à direita demonstra a área de destino do malte após processamento pela máquina, de onde é transportado para a balança de malte.

Fonte: Autor.

Ao sair da máquina despedradeira, o malte é transportado para a balança de malte, onde é pesado, e logo após, enviado para o moinho. O processo de moagem ocorre para separar a casca do endosperma sem promover a fragmentação do primeiro e para triturar o endosperma do malte, a fim de torná-lo mais acessível à atuação enzimática durante a etapa de mosturação. As cascas devem ser mantidas intactas, pois atuam como elemento filtrante natural durante o processo de preparo do mosto, e porque liberam substâncias indesejáveis ao paladar da cerveja quando fragmentadas. O processo de moagem ocorre com adição simultânea de água quente (43 – 45 °C), a fim de facilitar a separação sem fragmentação da casca do endosperma, e também ocorre com adição constante de CO₂, para evitar oxidação do mosto.⁶

O beneficiamento do adjunto é mais simples que o do malte, porque o adjunto não passa por nenhuma das máquinas de limpeza. Ele é carregado do silo

diretamente para a balança de grits onde é pesado antes de iniciar o processo de mosturação.

3.2.1.3 Mosturação

É nessa etapa onde ocorre a fabricação do mosto cervejeiro, que se forma a partir da transformação do amido contido no grits de milho e no endosperma dos grãos do malte em açúcares fermentescíveis - que serão transformados em etanol e gás carbônico pelas leveduras - e açúcares não fermentescíveis - que contribuirão para formação do corpo da cerveja.

O mosto é formado por vários componentes químicos, como carboidratos, enzimas (amilases, proteases, glucanases), proteínas, aminoácidos, lipídios, ácidos orgânicos, compostos fenólicos dentre outros.¹⁹

A etapa de mosturação é composta por diversos equipamentos. Os principais são:

- a) Cozinhador de adjunto.
- b) Tina de mostura.
- c) Tina filtro.
- d) Tina de fervura.
- e) Decantador.

3.2.1.3.1 Cozinhador de adjunto

A produção do mosto se inicia com o processamento do grits de milho. Como mencionado anteriormente, o grits apresenta um elevado teor de carboidratos, e o principal constituinte é o amido, que precisa ser gelatinizado e hidrolisado. Dessa forma, o grits é transferido da balança para o cozinhador de adjunto, onde é misturado com água quente para promover sua fervura e conseqüente gelatinização do amido. Além disso, durante este processo, também ocorre a adição da enzima comercial α -amilase, a fim de provocar a quebra do amido em açúcares fermentescíveis. Como toda enzima, ela possui temperatura e pH específicos correspondentes a sua atividade máxima. De acordo com a literatura (Universidade Ambev, 2012)⁶, a faixa de temperatura e pH ideais de atuação dessa enzima são, respectivamente, 85 – 90 °C e 6,0 – 7,0, e a temperatura mínima de inativação da

enzima é 98 °C. A fim de garantir a estabilidade do pH, é adicionado à mistura cloreto de cálcio que formará um tampão e garantirá o pH dentro da faixa de atividade máxima da enzima.

O processo de cozimento do grits é subdividido em duas etapas de repouso: o primeiro ocorre à temperatura entre 85 – 90 °C para garantir a eficácia de hidrólise do amido presente na mistura pela α -amilase, e o segundo repouso ocorre à temperatura acima de 98 °C a fim de inativar a enzima e promover a quebra das ligações de hidrogênio dos grânulos de amido ainda presentes, por meio da fervura em água quente.

Os tempos de repouso, assim como o controle da temperatura e do pH, devem ser criteriosamente obedecidos.

3.2.1.3.2 Tina de mostura

Paralelo ao cozimento do adjunto, ocorre o cozimento do malte na tina de mostura onde há o mesmo controle rígido de temperatura e pH ao longo do processo, a fim de garantir a atuação máxima das enzimas já presentes nas sementes da cevada. As principais enzimas presentes no malte estão descritas na tabela abaixo, assim como suas respectivas atividades, o pH e a temperatura ideais de atuação de cada uma.

Tabela 1 – Temperatura e pH ótimos de atuação das enzimas presentes no malte durante o preparo do mosto de cerveja, assim como a atividade de cada uma.

(continua)

Enzima	Atividade	pH (ótimo)	Temperatura (ótima)
α -amilase	Decomposição do amido em dextrinas.	5,6 – 5,8	70 – 75 °C
β -amilase	Decomposição do amido em maltose.	5,4 – 5,6	60 – 65 °C
Dextrinase	Decomposição do amido em maltose e maltotriose.	5,1	55 – 60 °C

Tabela 1 – Temperatura e pH ótimos de atuação das enzimas presentes no malte durante o preparo do mosto de cerveja, assim como a atividade de cada uma.

(continuação/conclusão)

Enzima	Atividade	pH (ótimo)	Temperatura (ótima)
Endopeptidase	Decomposição de proteínas em produtos de alto e médio peso molecular.	5,0	50 – 60 °C
Exopeptidase	Decomposição de proteínas de alto e médio peso molecular em aminoácidos.	5,2 – 8,2	40 – 50 °C
Hemicelulase	Decomposição de hemicelulose em gomas.	4,5 – 4,7	40 – 45 °C

Fonte: Técnico Cervejeiro Aquiraz - ABInbev, 2015.⁹

Além da presença natural das enzimas apresentadas na tabela acima, ocorre também a adição da enzima β -glucanase, que atua quebrando os β -glucanos, polímeros de glicose que conferem rigidez ao amido. Suas faixas de temperatura e pH ideais para atuação são, respectivamente, 35 – 45 °C e 5,0. Além disso, durante processo de mosturação, ocorre dosagem de ácido fosfórico grau alimentício, a fim de garantir o pH do meio na faixa ideal, e de cloreto de cálcio para estabilização de pH. Como estudado na disciplina de *Química Analítica III*, a adição do sal garante que a força iônica dos íons H^+ torne-se constante, e conseqüentemente sua atividade não varie. Além disso, o cloreto de cálcio também é adicionado a fim de garantir proteção das amilases contra desnaturação térmica.⁶

A fase de mosturação é dividida em quatro etapas:

- a) Repouso proteico: a temperatura permanece constante por um determinado tempo* na fase ideal para atividade das proteases (endopeptidase e exopeptidase). É também durante este repouso que ocorre a atuação da enzima β -glucanase. Após o primeiro repouso, o

* Informações sobre tempo ou período de processo não podem ser divulgados, pois são confidenciais à empresa.

- grits de milho é transferido para a tina de mostura para participar do processo de decomposição de açúcares juntamente com o malte.
- b) Repouso β -amilase: a temperatura se eleva e permanece na faixa ideal de atividade desta enzima por um determinado período.
- c) Repouso α -amilase: a temperatura sobe para um terceiro patamar onde permanece por um tempo para garantir a atuação eficaz desta enzima com a consequente sacarificação e liquefação do amido. Ao fim dessa etapa, ocorre o teste do iodo. Uma alíquota da mostura é coletada e gotas de solução de iodo são adicionadas. Como estudado na disciplina de *Química Inorgânica Experimental*, o iodo reage com amido e forma um complexo de coloração azul. Dessa forma, caso a coloração da mistura se torne azul, o repouso de sacarificação deve ser prolongado, pois indica que ainda há presença de amido no meio. Caso a coloração se torne amarela clara, subentende-se que todo o amido já foi convertido em açúcares menores.

Figura 12 – Imagem ilustrativa da molécula de iodo complexada com amido.



Ocorre aprisionamento da molécula de iodo no interior da estrutura helicoidal da amilose, que formam um complexo de coloração azul.

Fonte: <http://www.fcfar.unesp.br/alimentos/bioquimica/praticas_ch/teste_amido.htm>²⁰

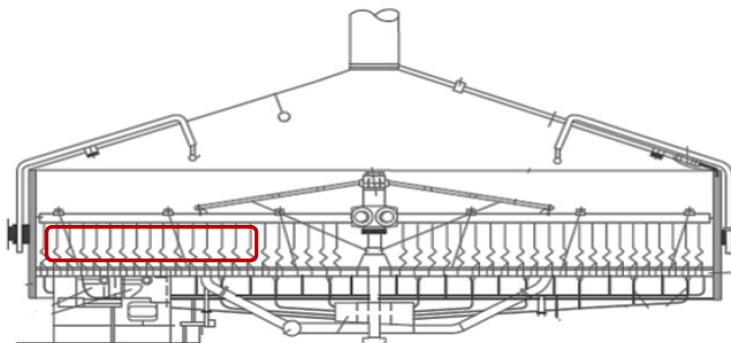
- d) Repouso de inativação enzimática: ocorre elevação da temperatura de terceira fase para a de quarta fase, a fim de promover a inativação das enzimas presentes no meio, reduzir a viscosidade do mosto e diminuir a extração de substâncias amargas da casca.⁶

Ao finalizar o tempo do último repouso, o mosto é transferido para a tina filtro onde ocorrerá a separação das substâncias solubilizadas na mostura (extrato) daquelas insolúveis presentes no bagaço do malte, como casca, proteínas segregadas e pequenas partículas.

3.2.1.3.3 Tina filtro

Previamente à adição do mosto, ocorre a injeção de água quente por baixo da tina para pré-aquecê-la e para eliminar a presença de ar que se deposita no fundo. Procede-se então com a trasfega da mostura, que é mantida na tina filtro sob agitação constante, o que garante a homogeneização do líquido e a consequente formação do leito filtrante. Além disso, um pequeno repouso da mistura garante a sedimentação e uma melhor formação da camada do leito. As facas da tina filtro fazem então a remoção do mosto para o tanque intermediário (tanque pulmão onde a mostura fica depositada antes de ser transferida para a tina de fervura) sem que o bagaço seja descoberto. Dessa forma, o mosto nunca é removido completamente a fim de evitar incorporação de oxigênio pelo bagaço.⁶

Figura 14 – Imagem ilustrativa do interior de uma tina filtro. Este equipamento é utilizado para a filtração do mosto após ser preparado na tina de mostura.



A região demarcada na figura demonstra as facas presentes no interior da tina filtro que são responsáveis pela formação do leito filtrante, separação do extrato do bagaço e remoção do mosto para o tanque intermediário.

Fonte: ROCHAEL, 2015.²¹

A fim de garantir um maior rendimento e extração de mosto, ocorre uma adição sucessiva de água quente ao bagaço remanescente na tina filtro. Além disso, durante essa etapa, a máquina de afofar é acionada continuamente para garantir a

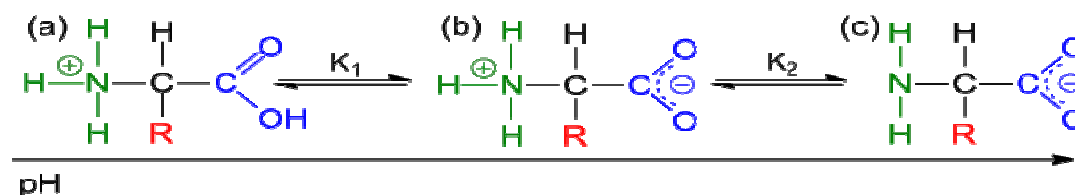
homogeneização da camada filtrante. Ao fim do processo, o mosto obtido também é encaminhado para o tanque intermediário, e após sua completa extração, o bagaço é removido e transferido para as caixas de bagaço e posteriormente para o silo de bagaço. Este, por ser nutritivo, será vendido como ração animal.¹⁹

3.2.1.3.4 Tina de fervura

Ao finalizar todo o processo de filtração do mosto, o extrato, que se encontra no tanque intermediário, é transferido para a tina de fervura, onde ocorrerá o cozimento da mostura e a dosagem de zinco (mineral extremamente necessário para o crescimento da levedura), ácido fosfórico e lúpulo.

A dosagem de ácido fosfórico durante a fervura se dá para promover a coagulação proteica, que ocorre ao atingir o pH de 5,2, identificado como ponto isoelétrico da maioria das proteínas que constituem o mosto. Como estudado na disciplina de *Bioquímica Geral*, as proteínas quando em solução de pH isoelétrico, se encontram em sua forma neutra. Por causa disso, elas diminuem sua solubilidade e precipitam levando à formação do trub (material denso formado por proteínas coaguladas, polifenóis, substâncias amargas e outros componentes que deterioram a qualidade da cerveja).⁶

Figura 14 – Estrutura genérica de um aminoácido (unidade básica constituinte da proteína) baseado no pH do meio.



Em pH baixo, a estrutura se encontra em sua forma totalmente protonada - catiônica (a). Ao diminuir a concentração de íons H^+ em solução, a estrutura começa a perder seus prótons, até atingir o ponto onde a molécula se encontra completamente neutra, apresentando carga negativa e positiva de forma igualmente distribuída - zwitterion (b). Este pH é conhecido como ponto isoelétrico. E a estrutura atinge sua forma totalmente desprotonada - aniônica (c) quando o pH é muito elevado.

Fonte (imagem): <<http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Amino%C3%A1cido>>²²

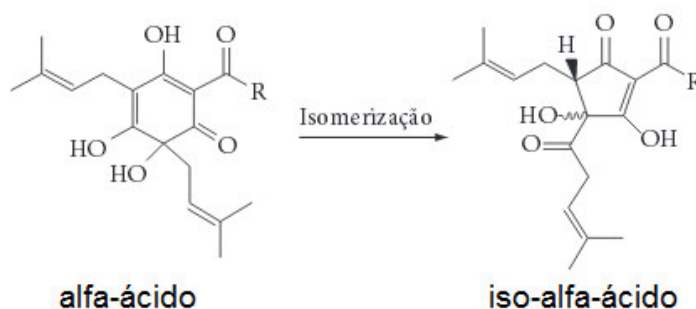
Outro fator que promove a coagulação e precipitação das proteínas com a consequente formação do trub é a elevada temperatura e a constante agitação do mosto que favorece a desnaturação das moléculas proteicas. Como estudado na

disciplina de *Bioquímica Geral*, altas temperaturas destroem a estrutura tridimensional das proteínas. A eliminação dessas moléculas é importante para evitar problemas de adstringência e turbidez na cerveja.

O lúpulo é dosado nesta etapa para promover a transferência dos compostos de amargor e de aroma para o mosto.

Uma das reações mais importantes que ocorre durante a fervura do mosto é a isomerização dos alfa-ácidos (composto constituinte do lúpulo) para os iso-alfa-ácidos, como pode ser visto na figura a seguir:

Figura 15 – Isomerização de alfa-ácidos em iso-alfa-ácidos.



Fonte: SILVA, 2008.²³

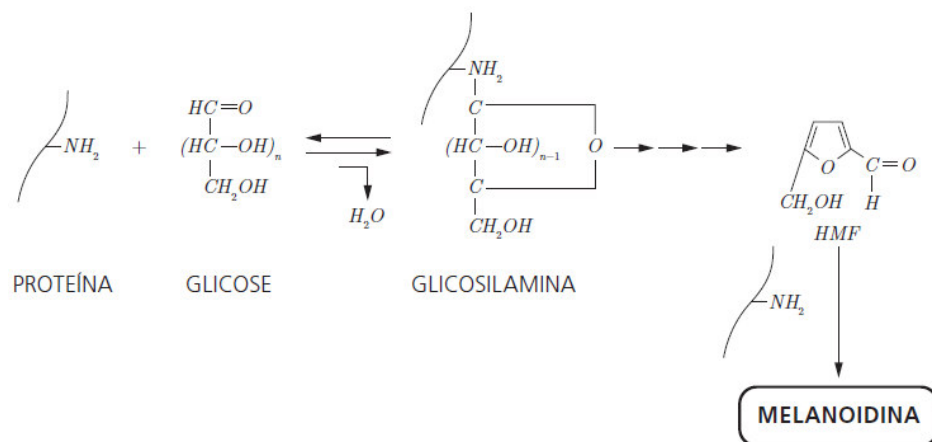
Como estudado na disciplina de *Química Orgânica Teórica II*, esta reação ocorre, porque os alfa-ácidos, durante a fervura, recebem energia suficiente para superar a energia de ativação de transição e são convertidos em iso-alfa-ácidos, suas formas mais termodinamicamente estáveis.

Os iso-alfa-ácidos são mais amargos que os ácidos não isomerizados e são responsáveis por mais de 70% do amargor na cerveja. Outro constituinte importante do lúpulo é o beta-ácido que contribui em menor intensidade com o amargor, mas que possui forte efeito bactericida.²³

Outra importante reação que ocorre durante a fervura é a formação de um pigmento escuro chamado de melanoidina, que garante mais cor à cerveja, e formação de compostos redutores que reagem com o oxigênio do meio impedindo envelhecimento precoce da cerveja. O hidroximetilfurfural (HMF) é um exemplo de composto fortemente redutor, pois possui o grupo funcional aldeído em sua estrutura. Como foi estudado na disciplina de *Química Orgânica Teórica II*, aldeídos são prontamente oxidados por vários reagentes em meio aquoso. A síntese desses

compostos, conhecida como reação de Maillard, ocorre pela reação entre o grupo amino de um aminoácido de uma proteína com a carbonila do açúcar redutor.²⁴

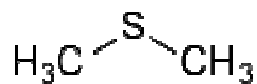
Figura 16 – Reação de Maillard.



Fonte: FILHO, 2011.²⁴

Durante o cozimento, ocorre também a volatilização de substâncias indesejáveis, como é o caso do sulfeto de dimetila (DMS) que causa um odor característico de vegetal cozido à cerveja. Este é produzido durante a fervura pela redução do S-metil-metionina que é sintetizado durante o próprio processo de malteação.

Figura 17 – Sulfeto de dimetila (DMS).



Fonte: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAf3K4AF/organica-quimica-dos-compostos-organicos-ii-aula-6>>²⁵

Outra característica importante da fervura é a inativação completa das enzimas, pois acima de 70 °C, a taxa de inativação enzimática é intensa. Enzimas, como as amilases e polifenoloxidasas, poderiam oxidar o mosto na presença de oxigênio e prejudicar o paladar e a cor da cerveja.

Outros objetivos da etapa de fervura são evaporação da água excedente e esterilização do mosto.²⁶

Dessa forma, essa etapa é de crucial importância, pois garante a estabilização do mosto cervejeiro e, conseqüentemente, da futura cerveja.

3.2.1.3.5 Decantador

Após o processo de fervura do mosto, este é transferido tangencialmente para o tanque decantador, em velocidade suficiente para deposição do trub na região central do fundo do tanque. A função dele é somente separar o trub do mosto. O tempo de permanência do mosto no decantador deve ser rigorosamente controlado, a fim de evitar alterações organolépticas de cor e amargor do produto.

Ao final do processo de decantação, o mosto limpo é levado ao resfriador através de saídas laterais com alturas diferenciadas presentes no decantador, a fim de evitar o arraste de trub.

O resfriador consiste em ser um equipamento formado por placas metálicas que proporciona a troca de calor do mosto quente para a água gelada.

Após resfriamento, ocorre a inoculação de oxigênio no mosto, pois a levedura necessita deste para sua propagação. Essa aeração só ocorre após resfriamento, pois, como estudado na disciplina de *Físico-Química I*, a solubilidade dos gases em um líquido aumenta com a redução de sua temperatura. Somente após resfriamento e aeração, o mosto é enviado para as adegas de fermento, onde será consumido pela levedura.

3.2.2 Adegas de fermentação e maturação

A segunda subárea do processo de fabricação de cerveja é a adegas de fermentação e maturação. Este setor é responsável pela transformação do mosto cervejeiro, produzido na brassagem, em cerveja fermentada. As principais atividades que ocorrem nessa subárea são:

- a) Propagação do fermento.
- b) Fermentação.
- c) Centrifugação.
- d) Maturação da cerveja.

Entretanto, antes de comentar sobre cada etapa, será feita uma abordagem sobre o fermento e sobre duas análises (atenuação de extrato e teor de dicetonas vicinais) que são de extrema importância para acompanhar o desenvolvimento dos processos de propagação e fermentação.

3.2.2.1 Fermento

A levedura de cerveja é um fungo unicelular responsável pela conversão de açúcares do mosto em álcool e gás carbônico. A espécie de levedura mais utilizada nas cervejarias é a *Saccharomyces uvarum*.²⁷

Figura 18 - *Saccharomyces uvarum*. Levedura utilizada no processo de fermentação da cerveja.



Fonte: <<http://www.thescrewbybrewer.com/p/yeast-in-your-beer.html>>²⁸

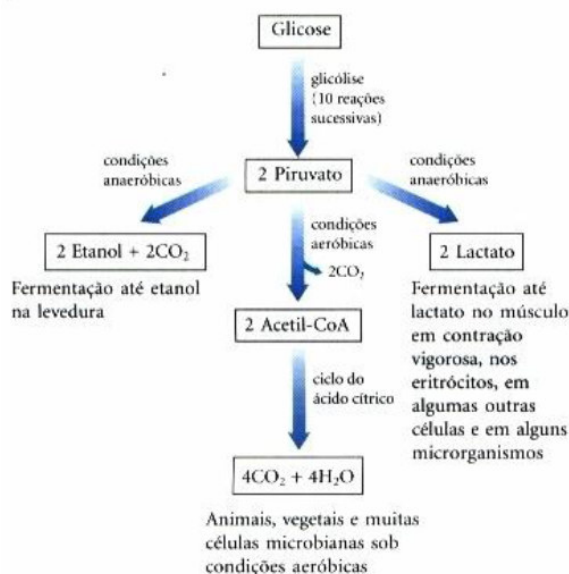
Existem dois tipos de levedura que caracterizam o tipo de cerveja que será produzida:²⁷

- a) Cervejas de Alta Fermentação ou Ale: durante sua fabricação se utilizam leveduras de difícil decantação, ou seja, elas flutam no fim do processo. Nesse caso, o tempo de fermentação demora de 3 a 5 dias, e as temperaturas são mais elevadas (15 – 25 °C).
- b) Cervejas de Baixa Fermentação ou Lager: para esse tipo de cerveja, se utilizam leveduras que decantam no final da fermentação. Nesse caso, o tempo de fermentação demora entre 5 e 8 dias, e as temperaturas variam de 10 a 15 °C.

A levedura é capaz de obter energia a partir da degradação de compostos orgânicos em condições aeróbicas (rota respiratória) e anaeróbicas (rota fermentativa).

Como mostra a figura abaixo, o piruvato, sintetizado a partir da catálise de açúcar fermentescível presente no meio, pode ser catabolizado de duas formas diferentes, dependendo da disponibilidade de oxigênio.

Figura 19 – Esquema representativo das vias de consumo da glicose em condições aeróbicas e anaeróbicas.



Na ausência de oxigênio, a levedura só é capaz de seguir o caminho da fermentação alcoólica. A fermentação láctica não ocorre no fermento.

Fonte: NELSON, 2011.²⁹

A rota respiratória ocorre em presença de oxigênio no meio e predomina sobre a rota fermentativa, porque é mais vantajosa, já que é mais fácil de ocorrer e gera um rendimento energético bem maior que a fermentação. De acordo com Hough (1990)³⁰, em condições aeróbicas, o rendimento final de consumo da glicose pela levedura por meio da via glicolítica, ciclo do ácido cítrico e fosforilação oxidativa é de aproximadamente 28 moléculas de ATP, o equivalente à 2,9 MJ de energia. Enquanto que em condições anaeróbicas, a glicose é convertida em etanol pela levedura gerando apenas 2 moléculas de ATP (0,209 MJ de energia). Entretanto, em ambos os casos, a energia produzida não é totalmente aproveitada e grande parte dela se dissipa em forma de calor.



A alta concentração de energia obtida pela levedura durante o processo de respiração é utilizada para produção de produtos celulares o que favorece seu crescimento e reprodução. Dessa forma, essa fase é caracterizada por uma intensa multiplicação celular, formação de membrana, reduzida queda de extrato e pouca formação de espuma.²⁷

Em condições adversas como na ausência de oxigênio, para manter sua sobrevivência, a levedura produz energia por meio da via fermentativa, que é caracterizada pela intensa queda de extrato, liberação de calor e formação de espuma.²⁷

A fermentação cervejeira, então, se divide em duas fases principais (ver Figura 20):²⁶

- a) Fase aeróbica, que se subdivide em etapas LAG e LOG. A etapa LAG é a de adaptação do fermento e organização metabólica pela levedura, ou seja, ocorre a síntese das enzimas necessárias para metabolizar os nutrientes no meio (etapa AB na Figura 20). Já a etapa LOG (fase BC na Figura 20) é a de multiplicação celular. Ocorre um crescimento exponencial da levedura e elevado consumo de nutrientes. Essa etapa se encerra juntamente com a fase aeróbica, quando o teor de oxigênio no meio está muito baixo. Devido à deficiência de oxigênio no meio e à alta concentração de biomassa presente, a fase de crescimento começa a diminuir.
- b) Fase anaeróbica (representada pela região CD na Figura 20) é uma fase estacionária em termos de crescimento. Nesta fase, a taxa de crescimento se iguala à taxa de morte e ocorre um acúmulo de glicogênio (reserva energética).

Figura 20 – Gráfico representativo do metabolismo da levedura.



A região AB do gráfico representa a fase de adaptação do fermento ao meio. A fase BC é de reprodução e propagação da levedura, e a etapa CD representa a fase fermentativa. Esta ocorre quando não há mais oxigênio no meio, e o fermento obtém sua energia por meio do processo de fermentação alcoólica.

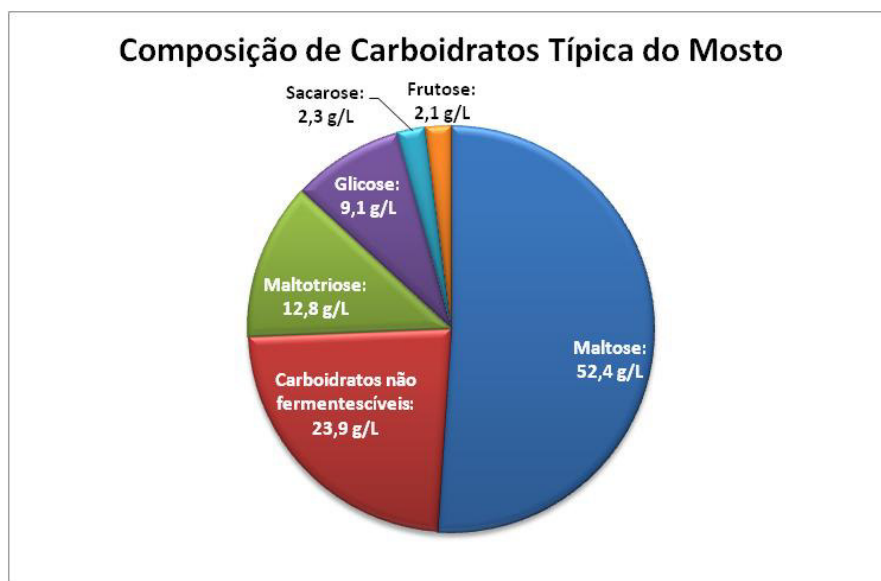
Fonte: MEDEIROS, 2010.²⁶

Durante o processo fermentativo ocorrem diversas análises, a fim de observar e acompanhar o progresso da fermentação, porém os controles de atenuação de extrato e redução do teor de diacetil são de extrema importância e serão comentados a seguir.

3.2.2.2 Atenuação de Extrato

Ao longo do processo, análises de atenuação de extrato são realizadas constantemente, a fim de se observar o desenvolvimento do processo de propagação e fermentação. O extrato é todo material solúvel presente no mosto, como açúcares, proteínas, aminoácidos, lipídios, ácidos orgânicos, compostos fenólicos, minerais entre outros. A figura a seguir mostra a composição de carboidratos típica de um mosto cervejeiro:

Figura 21 – Principais carboidratos e suas respectivas concentrações aproximadas presentes em um mosto cervejeiro.



A maltose, glicose, frutose e sacarose representam os açúcares totalmente fermentáveis, enquanto que a maltotriose é um carboidrato fermentado apenas parcialmente. As dextrinas são os principais açúcares que compõem os carboidratos não fermentescíveis.

Fonte: HOUGH, 1990.³⁰

À medida que o processo fermentativo ocorre, o extrato tem seu peso reduzido, porque parte dos carboidratos que constitui a fração fermentescível é consumida pela levedura durante suas fases aeróbica e anaeróbica. Essa diminuição da densidade do extrato em função da redução do seu peso é chamada de atenuação do extrato, e esse novo peso é chamado de extrato aparente. O gráfico abaixo demonstra o consumo de carboidratos em função do tempo de fermentação.

Figura 22 – Gráfico da concentração de carboidratos em função do tempo de fermentação.

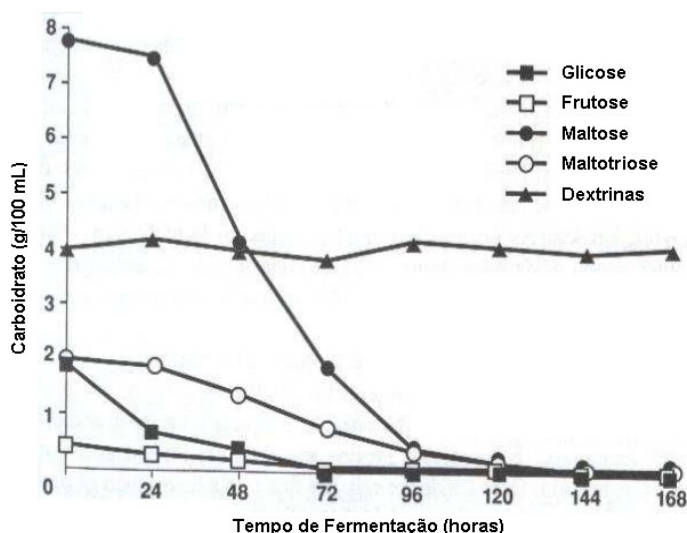


Imagem original em inglês traduzida pelo autor para o português.

Cinética do consumo dos carboidratos presentes no mosto pela levedura *S. uvarum* durante o processo fermentativo para produção de cerveja (extrato primitivo 16 °P com 30% de adjunto de milho utilizado fermentado à 15 °C).

Fonte:

<http://www.agraria.com.br/extranet/arquivos/agromalte_arquivo/mod_3_fermentacao_e_maturacao.pdf>³¹

Como estudado na disciplina de *Cálculo Diferencial e Integral I*, é possível calcular a taxa de consumo de cada carboidrato, a partir da determinação do coeficiente angular de cada curva no gráfico da Figura 22. A partir desses dados e com os conhecimentos obtidos na disciplina de *Físico-Química III*, pode-se determinar a cinética química das reações catabólicas.

Observa-se pela Figura 22 que a atenuação do extrato ocorre principalmente nas primeiras 96 h, e que a concentração de dextrinas não varia ao longo da fermentação, já que a levedura não é capaz de catabolizar as moléculas deste carboidrato.

O extrato é medido em termos de densidade através de um densímetro digital que fornece a medida em °P (graus Plato). Para ser calculado o valor da atenuação do extrato, basta subtrair o valor do extrato original pelo extrato aparente obtido durante análise.

Figura 23 – Densímetro digital.



Utilizado para determinar valores de extrato primitivo e aparente durante processos de propagação e fermentação.

Fonte: Autor.

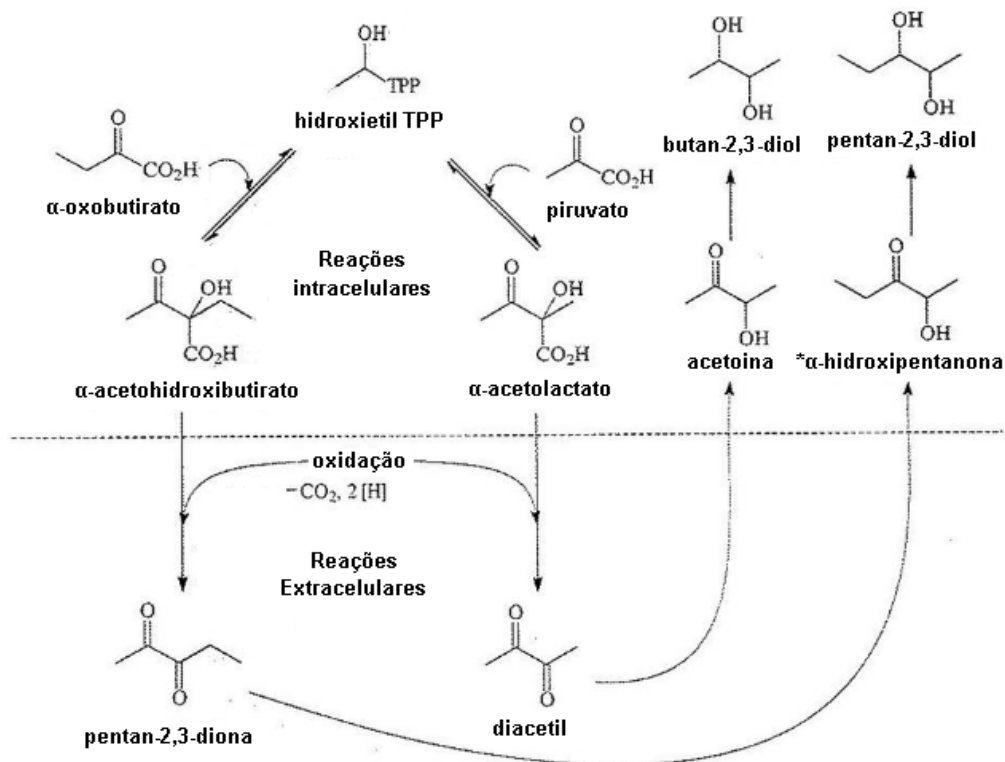
3.2.2.3 Teor de dicetonas vicinais

O diacetil (2,3-butanodiona) é um subproduto do processo de fermentação que confere à cerveja um aroma e sabor de manteiga rançosa. Outro fator crítico é que esse composto possui baixo limiar de percepção e deve estar abaixo do nível de 100 ppb para que não possa ser detectado. Além do diacetil, a 2,3-pentanodiona é mais um subproduto que confere o mesmo paladar indesejado à cerveja, mas este não é tão crítico quanto a 2,3-butanodiona, pois seu limite de perceptibilidade é mais elevado (600 – 900 ppb). Esses dois compostos estão incluídos no termo “dicetonas vicinais” e devem ser controlados durante o processo de fermentação.²⁶

Durante o ciclo de vida da levedura, ocorre a síntese de dois aminoácidos essenciais para o seu desenvolvimento (valina e isoleucina). Ao longo do processo bioquímico de formação desses aminoácidos, precursores das dicetonas vicinais são formados, o alfa-acetolactato e o alfa-acetohidroxibutirato. O excesso desses no interior da célula é tóxico e por isso são eliminados para o meio extracelular, onde se oxidarão e formarão, respectivamente, diacetil e 2,3-pentanodiona. Com o decorrer da fermentação e a redução da disponibilidade de oxigênio no meio, as dicetonas vicinais são reabsorvidas para dentro da célula e reduzidas à alcoóis, pois como estudado na disciplina de *Química Orgânica Teórica II*, cetonas são facilmente reduzidas à alcoóis secundários. Todo o processo de formação das dicetonas

vicinais no meio extracelular e redução das mesmas no meio intracelular pode ser observado na figura abaixo:³²

Figura 24 – Esquema demonstrativo do processo bioquímico de formação e redução das dicetonas vicinais.



TPP – Tiamina pirofosfato

*Apenas uma das duas estruturas isoméricas está representada.

Imagem original em inglês traduzida pelo autor para o português.

Fonte: MORAIS, 2010.³²

A temperatura exerce forte influência sobre o processo de formação e consumo de diacetil, por isso há um controle crítico desta ao longo de toda a fermentação.

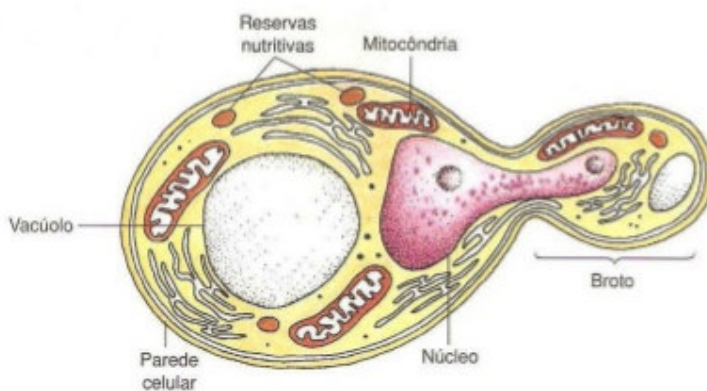
3.2.2.4 Propagação do fermento

O objetivo da propagação é “multiplicar sob condições controladas de temperatura, pressão e assepsia uma determinada massa de fermento”.²⁷ Dessa forma, nessa etapa, a fase aeróbica é priorizada.

A levedura se multiplica por um processo de reprodução assexuada conhecida como gemulação. Forma-se uma dilatação na superfície do organismo

chamada de gêmula ou broto, no qual se desenvolve e se separa formando um novo indivíduo. O tempo total de duplicação dura em média 3 h, e uma célula mãe gera em torno de 20 a 30 células filhas.²⁷

Figura 25 – Reprodução assexuada por gemulação da *Saccharomyces cerevisiae*.



Fonte: <<http://pt.slideshare.net/kelvin45170/fungos-presentation-658078>>³³

A unidade recebe o fermento dentro de bombonas de 15 Kg cada e é responsável por realizar análises de qualidade antes que seja transferido ao tanque de propagação. O fermento estocado dentro de cada bombona é previamente propagado em escala laboratorial e está apto para ser transferido ao tanque (OD propagador) a fim de que seja multiplicado em escala industrial. Este fermento é chamado de R, que significa puro em alemão (reinheit), ou seja, é um fermento novo, que nunca foi utilizado e que precisa ser vigorosamente aerado para estimular sua propagação antes de proceder com sua primeira fermentação.²¹

Antes de realizar a inoculação do fermento no propagador, certa quantidade de mosto é transferida da brassagem para dentro do OD, que ocorre a quente (75 °C) para prevenir alguma possível contaminação microbiológica. Após transferência, se inicia o processo de resfriamento e aeração do mosto. Somente quando este atinge a temperatura de 15 °C, as bombonas de fermento são inoculadas. O fermento então fica em contato direto com o mosto nesta temperatura submetido a condições de agitação e aeração constantes.

Ao longo do processo, análises de atenuação de extrato são realizadas constantemente, a fim de se observar o desenvolvimento do processo de propagação. Dessa forma, quando o valor do extrato atinge uma determinada

atenuação, um fabrico (mosto) aerado, chamado de “R”, que possui maior quantidade de zinco que um fabrico normal, é transferido da brassagem para um OD fermentador, simultaneamente com a transferência do fermento de dentro do propagador. O zinco é adicionado em maior quantidade, porque, conforme comentado anteriormente, esse mineral é essencial para o desenvolvimento e reprodução da levedura, logo, durante o processo de propagação, se faz necessária uma maior quantidade deste elemento.

A partir deste momento, se inicia o processo de fermentação do fermento R. Dentro do OD fermentador, a inoculação de oxigênio é interrompida, dessa forma, a única disponibilidade de oxigênio que o fermento tem é o que está dissolvido no mosto. Análises sucessivas de atenuação de extrato são realizadas, a fim de determinar o melhor momento de envio de mais dois fabricos R aerados ao OD fermentador.

Dentro do tanque, a qual possui sua contra-pressão regulada por gás carbônico, a levedura obedece ao gráfico mostrado na Figura 20. Em presença de oxigênio, oriundo dos fabricos enviados pela brassagem, ocorre seu processo de adaptação e multiplicação celular. Ao cessar o envio do mosto, não há mais fonte de oxigênio disponibilizada para a levedura, e quando este é totalmente consumido, o fermento entra em sua fase anaeróbica.

Por ser uma cerveja do tipo lager, todo o processo ocorre a 15 °C, tanto no OD propagador quanto no OD fermentador, e demora em média 8 dias. Após esse tempo, caso a concentração de diacetil esteja abaixo de 100 ppb, a levedura decantada é recolhida para uma tina de fermento, onde permanecerá estocada à uma temperatura baixa (1 – 3 °C) para conter sua propagação e depois ser reutilizado em um novo processo fermentativo. Após processo de recolha do fermento, a cerveja do tanque é centrifugada e enviada para um dos OD's de maturação, onde permanecerá por até 48 h.

3.2.2.5 Fermentação

Antes de iniciar o processo de fermentação, a levedura, que fica armazenada nas tinas de fermento, deve ser aerada e acidificada. Utiliza-se então solução de ácido fosfórico (grau alimentício) para promover essa acidificação, que ocorre para eliminar a presença de bactérias do meio que, em sua maioria, preferem

o meio alcalino para seu desenvolvimento. Além disso, a adição do ácido reduz a viscosidade da solução, tornando-o menos pastoso, o que favorece a reabsorção das dicetonas contidas no meio e diminui o tempo total de fermentação. A lavagem ácida não prejudica a vitalidade das leveduras, porque, durante o processo fermentativo, elas conseguem acumular grande quantidade de reserva energética em forma de glicogênio e assim sobreviver a certas condições adversas.²⁶

Uma vez aerado e acidificado, o fermento é dosado em um dos OD's fermentadores, paralelo ao envio de mosto resfriado e aerado da brassagem. A quantidade de fabricos enviados depende da quantidade de fermento dosado.

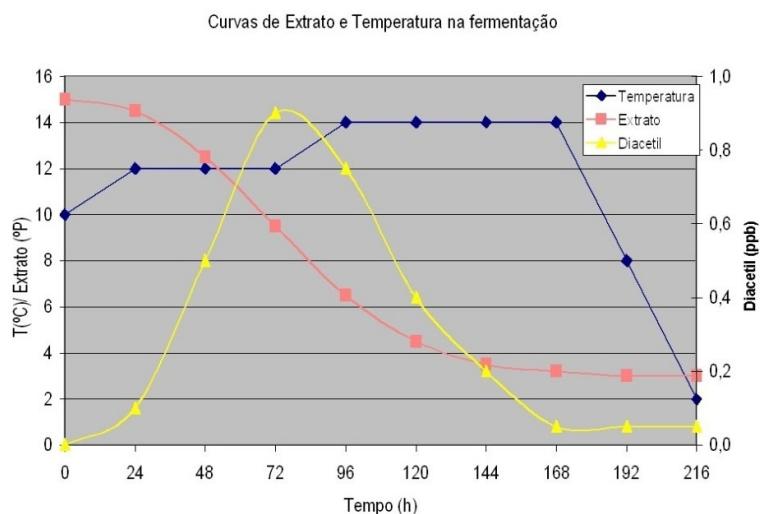
O processo de fermentação se divide em duas fases de temperatura:²⁷

- a) Primeira fase (10 °C – 72 h): nas primeiras 24 h, ocorre a adaptação da levedura ao meio, duplicação do fermento e início de formação de CO₂. Nas 48 h subsequentes, a fermentação se intensifica, levedura triplica, há uma maior liberação de CO₂ e uma pequena formação de espuma. Ocorre também precipitação de proteínas e resinas de lúpulo. Após esse período, o fornecimento de frio do tanque é interrompido, e a temperatura sobe para aproximadamente 15 °C, por efeito do calor gerado pelo processo natural de fermentação.
- b) Segunda fase (15 °C – 72 h): Do quarto ao sexto dia, a fermentação ocorre de forma intensa. Ocorre o pico de formação de CO₂, grande formação de espuma e intensa precipitação de proteínas, resinas de lúpulos além de outras partículas insolúveis. Ao fim da fermentação, a camada de espuma reduz e o pH se encontra estável em torno de 4,2.

A primeira fase ocorre a uma temperatura mais baixa, a fim de garantir uma maior solubilidade do oxigênio no meio para propiciar a etapa inicial de adaptação e respiração da levedura. Além disso, a baixa temperatura garante um início de fermentação não turbulento, na qual apresenta uma pequena formação de espuma e baixa liberação de dicetonas. Assim que se eleva a temperatura para a segunda fase, a concentração de dicetonas aumenta até atingir seu valor máximo. Depois, essa mesma temperatura elevada favorece uma rápida redução das dicetonas vicinais presentes no meio e propicia uma maior formação dos produtos da fermentação como CO₂, etanol e subprodutos.²⁶

O gráfico abaixo demonstra como as temperaturas de primeira e segunda fases podem ser ajustadas. Observa-se também que as reações de diacetil dependem diretamente dessas temperaturas, que quando altas favorecem a sua formação, mas também propiciam seu consumo. Outra importante observação é que durante as primeiras 96 h ocorre uma elevada queda de extrato, o que condiz com o gráfico de consumo de carboidratos mostrado na Figura 22.

Figura 26 – Gráfico de variação de temperatura, atenuação de extrato e teor de diacetil durante o tempo de fermentação para produção de cerveja.



Fonte:

<http://www.agraria.com.br/extranet/arquivos/agromalte_arquivo/mod_3_fermentacao_e_maturacao.pdf>³¹

Após aproximadamente 168 h de fermentação, procede-se com a recolha do fermento acumulado na base do tanque (cerveja tipo lager) para uma ou duas tinas de fermento, que permanecerá estocado a uma temperatura de aproximadamente 1 – 3 °C. A cerveja fermentada que se encontra no tanque fermentador será centrifugada ao atingir concentração de diacetil menor que 100 ppb.

3.2.2.6 Centrifugação

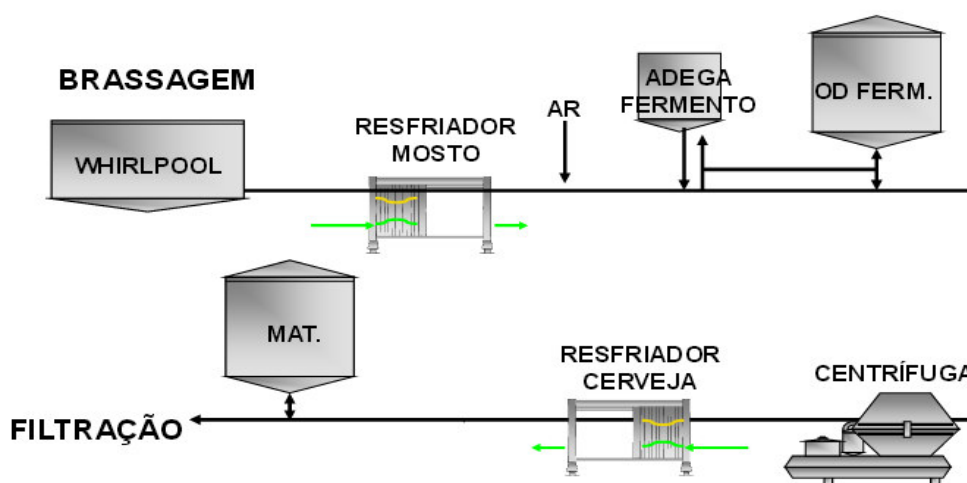
A etapa de centrifugação ocorre para promover a separação mecânica do excesso de leveduras da cerveja no final da fermentação após recolha.²¹ Como

estudado na disciplina de *Química Geral I*, este processo consiste em segregar sólidos de um líquido, onde as partículas mais pesadas decantam por ação da força centrífuga.

O processo de centrifugação antes da maturação proporciona uma redução da perda de extrato, um menor risco de espumação e uma melhoria na estabilidade organoléptica da cerveja, além de outras vantagens.²⁷

Após centrifugação, a cerveja passa através de um trocador de calor para garantir que todo o processo de maturação ocorra a uma temperatura baixa.

Figura 27 – Fluxograma total da área do processo de fabricação de cerveja.



Fonte:

<http://www.agraria.com.br/extranet/arquivos/agromalte_arquivo/mod_3_fermentacao_e_maturacao.pdf>³¹

3.2.2.7 Maturação

Maturação é a etapa de clarificação da cerveja. Esta permanecerá no OD maturador, em repouso, por no mínimo 48 h a uma temperatura baixa de aproximadamente $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. As baixas temperaturas e o tempo de descanso propiciam uma estabilidade coloidal que favorece a precipitação da massa turva, chamada de geläger.²¹ Este geläger é constituído principalmente por células de levedura que não foram retiradas durante centrifugação, partículas de proteínas, polifenóis e trub. Além disso, espera-se obter uma maior incorporação de CO_2 pela cerveja e um amadurecimento das características de paladar e aroma.²⁷

3.2.3 Filtração

Após o término da etapa de maturação da cerveja, as partículas decantadas, que constituem o galäger, são removidas, a fim de evitar o entupimento dos poros dos elementos filtrantes. O objetivo principal da filtração é remover partículas em suspensão que causam turbidez à cerveja, como polifenóis, alfa-glucanos, pentosanas, resinas de lúpulo e outras substâncias que coagularam durante a etapa de fermentação e maturação. Além disso, esta etapa reduz a carga microbiótica, pois remove possíveis células de leveduras ainda presentes e garante a estabilidade organoléptica da cerveja.³⁴

A filtração é realizada utilizando-se um equipamento conhecido como filtro KG, que é composto por um conjunto de velas (Figura 28) que servem de sustento para a terra diatomácea, o auxiliar filtrante. O nome do equipamento, KG, é uma abreviação da palavra alemã *kieselgur* que significa terra diatomácea.²¹

Figura 28 – Imagem ilustrativa de uma das velas constituintes do filtro KG.

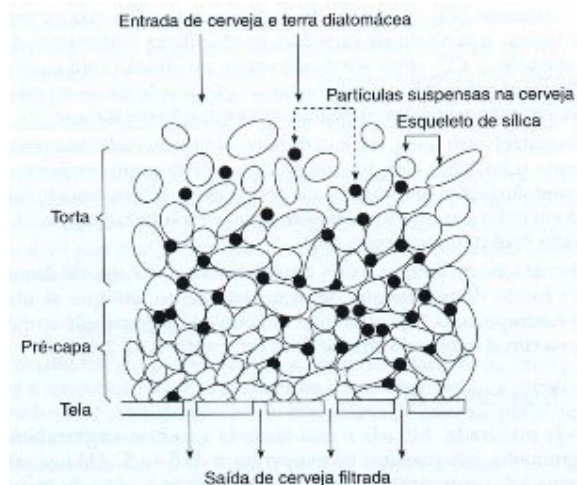


Fonte: ROCHAEL, 2015.²¹

A terra diatomácea também, chamada de terra infusória, é formada a partir do esqueleto de algas diatomitas fossilizadas. Elas filtram a cerveja retendo as partículas sólidas e permitindo passagem do líquido. Essa substância pode ser classificada em fina, média ou grossa dependendo de sua porosidade e permeabilidade.

Sobre as velas do filtro KG, são formadas duas pré-camadas de terra infusória. A primeira é constituída por partículas grandes (alta porosidade e de média permeabilidade) para evitar que quando agrupadas ultrapassem a malha da vela e para servir de sustento para a segunda pré-camada que é menos porosa e realizará o processo de retenção das partículas da cerveja.³⁴

Figura 29 – Representação das pré-camadas de terra e fluxo de cerveja.

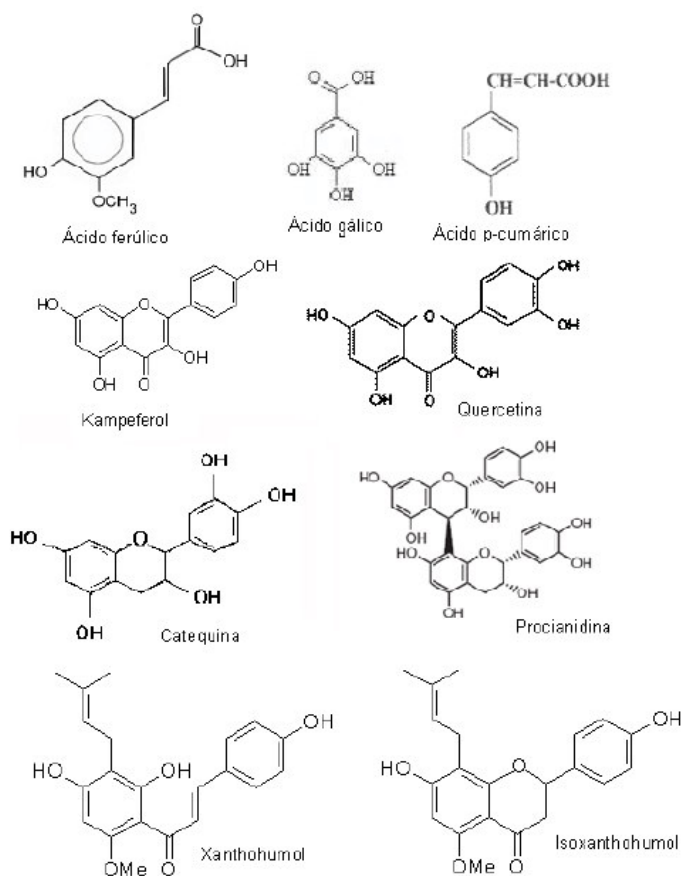


Fonte: <<http://www.debiq.eel.usp.br/~joaobatista/AULACERVEJA2.pdf>>¹⁰

Durante a etapa de filtração da cerveja também ocorre a adição de alguns produtos necessários para garantir a qualidade do produto acabado. Dentre eles, antioxidantes, a fim de reagir com o oxigênio do meio e evitar a oxidação da cerveja; lúpulo, para aumentar o teor de amargor; PVPP (polivinilpolipirrolidona), um polímero que reage com polifenóis para garantir a ideal turbidez do produto acabado e APG (Alginato de Propileno Glicol), um polissacarídeo estabilizante de espuma. Os dois últimos serão comentados a seguir em mais detalhes.

A cerveja possui um alto teor de polifenóis em sua composição que são oriundos principalmente do malte e do lúpulo. Aproximadamente 75% dos compostos fenólicos são de origem do malte, enquanto que 25% são extraídos do lúpulo.³⁵

Figura 30 – Estrutura química dos principais compostos fenólicos encontrados na cerveja.



Fonte: SIQUEIRA, 2008.³⁶

Os compostos fenólicos de baixo peso molecular, chamados flavonoides, tendem a se polimerizar entre si formando cadeias curtas de polifenóis condensadas denominadas taninos (*tannoids* em inglês).³⁵ Além disso, como estudado na disciplina de *Química Orgânica Teórica I*, esse é um processo de oxidação, pois ocorre remoção de hidrogênio da molécula, logo o oxigênio funciona como um catalisador e por isso não deve ser incorporado.

Figura 31 – Processo de condensação de polifenóis e formação de taninos.

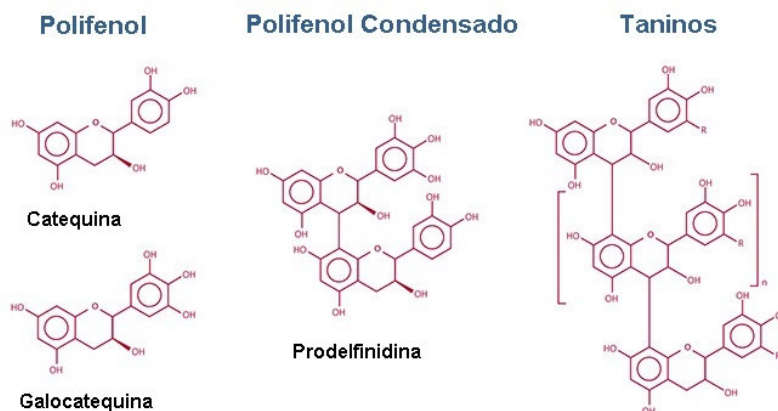


Imagem original em inglês traduzida pelo autor para o português.
 Fonte: <<http://www.ashland.com/beer-wine-stabilizer/colloidal-instability>>³⁷

Esses taninos são capazes de formar ligações hidrogênio com proteínas presentes na cerveja, o que gera coágulos insolúveis e aumenta a turbidez do produto acabado.

Figura 32 – Complexação de taninos com proteínas e a formação de coágulos insolúveis que geram turbidez à cerveja.

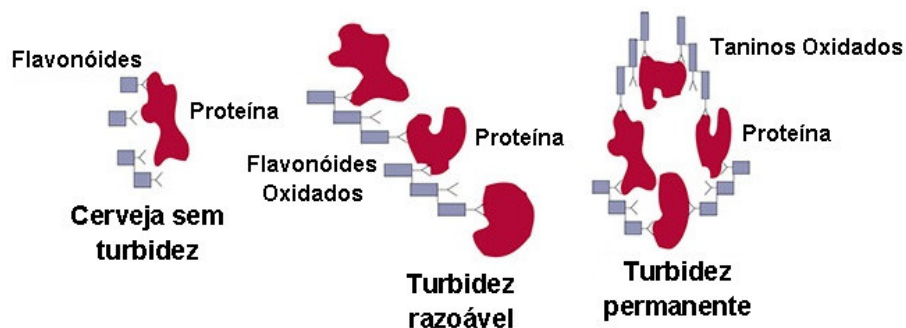
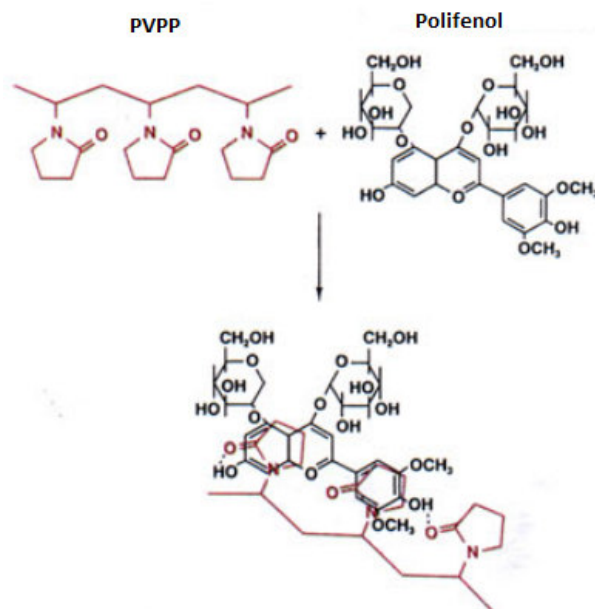


Imagem original em inglês traduzida pelo autor para o português.
 Fonte: GOPAL, 2000.³⁵

Essa reação entre os flavonoides oxidados e as proteínas, além de aumentar a turbidez, geram um amargor indesejável (adstringente) ao produto acabado, por isso durante o processo de filtração é utilizado o polivinilpirrolidona (PVPP) que reage com os polifenóis presentes na cerveja.

Figura 33 – Modelo de reação do PVPP com polifenol.



Fonte: GOPAL, 2000.³⁵

O PVPP é um polímero insolúvel em álcool e água e forma ligações de hidrogênio fortes com os polifenóis. Ao final da filtração, o PVPP é facilmente regenerado a partir da adição de hidróxido de sódio para quebrar as ligações PVPP-polifenóis. A soda cáustica torna o meio alcalino, aumentando assim a concentração de íons hidroxila. Como estudado na disciplina de *Química Orgânica Teórica II*, OH⁻ é um excelente nucleófilo, logo substitui facilmente a ligação entre a hidroxila do fenol e a carbonila do PVPP. Dessa forma, as moléculas de PVPP ficam livres para serem reutilizadas.

Além disso, ao longo da filtração, deve-se garantir que o produto acabado irá apresentar uma boa formação de espuma, sendo esta consistente e que permaneça aderida ao vidro após o copo ser esvaziado. Essa espuma, que constitui o colarinho da cerveja, serve para protegê-la da oxidação e conservar aromas. A fim de garantir uma maior estabilidade da espuma e melhorar sua aparência, utiliza-se o alginato de propileno glicol (APG) durante a etapa da filtração.³⁴

As proteínas solúveis de alto peso molecular oriundas do malte são as responsáveis pela formação da espuma. Entretanto, os lipídios na cerveja podem causar ruptura das bolhas gerando instabilidade ao meio proteico e consequentemente uma espuma de baixa qualidade.³⁸

De acordo com Jackson (1980)³⁸, o APG estabiliza a bolha por meio de interação eletrostática entre o grupo carboxil do polissacarídeo com o grupo amino dos polipetídeos presentes na parede da bolha. Essa interação também protege a bolha contra a ação destrutiva dos lipídeos.

Após todo o processo de filtração, a cerveja é armazenada em tanques de pressão, e passará por diversas análises físico-químicas, como determinação do teor de oxigênio dissolvido, pH, extrato, cor, álcool, amargor, turbidez e análises sensoriais. Após todas as análises terem sido realizadas e estarem dentro das conformidades, a cerveja é liberada para envasilhamento em garrafas e latas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nos últimos quatro meses, foi feito um levantamento das principais causas das anomalias mais recorrentes e mais críticas à qualidade do produto acabado em cada subárea do processo de fabricação de cerveja e das ações que foram tomadas para corrigi-las.

Dessa forma, na brassagem fez-se um estudo de caso à respeito do tempo total de fabricação (TTF) elevado. Na adegas de fermentação e maturação, a anomalia analisada foi teor elevado de oxigênio dissolvido no maturador, já na filtração, foram observadas as análises de extrato aparente fora de faixa na cerveja filtrada.

4.1 Tempo total de fabricação (TTF)

A empresa se utiliza de um sistema computacional que registra todas as análises de automação que ocorrem na área. Dessa forma, tanto o momento inicial quanto o final da produção do mosto são registrados automaticamente no sistema, ou seja, desde o momento em que se inicia a pesagem do grãos de milho, até o momento de resfriamento do mosto e envio deste para o fermentador. Todos esses períodos são computados, incluindo o tempo de permanência em cada equipamento.

A partir desses dados é possível analisar o tempo total de fabricação do mosto e em que momento de sua produção ocorreu atraso.

4.2 Teor de oxigênio dissolvido no maturador

As medições de oxigênio dissolvido na cerveja do maturador são feitas através de um orbisphere da marca Hach, modelo 3100 LDO.

Figura 34 – Orbisphere.



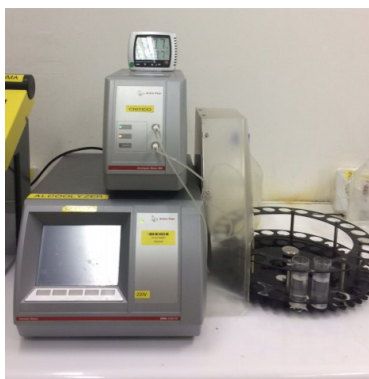
Aparelho utilizado para medições de oxigênio dissolvido na cerveja
Fonte: Autor

Para fazer as medições, acopla-se uma serpentina na provadeira do maturador, e a esta conecta-se o orbisphere através de uma mangueira de látex. Abre-se a provadeira e deixa fluir a amostra por aproximadamente 60 segundos. Depois desse tempo, liga-se o equipamento para leitura, aguarda-se a estabilização do medidor no display e anota-se o resultado.

4.3 Extrato aparente na cerveja filtrada

O extrato na cerveja é determinado em termos de densidade da amostra através do alcoolyzer da Anton Paar DMA 4500 M.

Figura 35 – Alcoolyzer



Aparelho utilizado para medição de extrato aparente em cerveja.
Fonte: Autor

A amostra de cerveja é coletada em uma garrafa de vidro do tipo “long neck”, e esta é deixada em banho de água à 25 °C por 30 minutos. Após esse

tempo, a cerveja é descarbonatada, por meio de agitação manual da amostra e liberação de gás por abertura da tampa, e então filtrada através de terra diatomácea em papel de filtro.

A cerveja descarbonatada e filtrada é então transferida para o amostrador, e este é posicionado no carrossel do equipamento. Ao posicionar, pressiona-se a tecla “start” e o aparelho faz a medição da densidade do produto e converte este valor em teor de extrato aparente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Tempo total de fabricação (TTF) elevado

O tempo total de fabricação é um parâmetro de controle que está intrinsecamente relacionado à carga térmica a qual o mosto é submetido durante sua produção. O tempo que o mosto permanece exposto a temperaturas acima de 60 °C é denominado de carga térmica, e esta é extremamente prejudicial à qualidade do fabrico, porque afeta características organolépticas importantes. Quanto maior o tempo que o mosto fica exposto a temperaturas elevadas, mais concentrado ele fica e maior é o índice de volatilização de compostos de aroma e amargor, como ésteres e componentes do lúpulo. Além disso, o tempo também pode afetar a ação de algumas enzimas, o que compromete a degradação dos polissacarídeos de alto peso molecular e conseqüentemente a fermentação.²¹

Outro ponto negativo que um tempo elevado de fabricação causa é a menor produtividade pela brassagem que pode gerar atrasos ao processo de fermentação.

Dessa forma, é de extrema importância acompanhar atentamente a produção do mosto, a fim de que não ocorra nenhum tempo de permanência elevado em algum equipamento nem atraso de trasfega do fabrico de um equipamento para o outro.

Por conta disso, foi feito um levantamento das causas mais comuns ao tempo total de fabricação elevado, e o resultado obtido foi:

- a) Falha operacional.
- b) Problemas mecânicos de equipamentos.
- c) Indisponibilidade de recebimento de mosto pela subárea da adegas de fermentação e maturação.
- d) Indisponibilidade gerada pela área da utilidades*.

* Utilidades: setor da fábrica responsável pela produção e fornecimento de álcool a baixas temperaturas para ser utilizado nos sistemas de troca de calor. Além disso, também é responsável pela produção e fornecimento de vapor aos outros setores da fábrica.

Baseado no levantamento feito, pode-se observar que apenas as duas primeiras causas foram decorrentes de problemas que ocorreram na área da brassagem, enquanto que as outras causas ocorreram por problemas externos.

As falhas operacionais foram devido tanto a atrasos no momento de dosagem de algum aditivo, como lúpulo e ácido fosfórico, quanto no momento da realização de alguma análise de controle liberatório, como pH do mosto e teste do iodo. Os funcionários responsáveis pela realização das atividades no momento do atraso foram advertidos, e uma cobrança maior de cumprimento de rotina pela operação foi feita durante as passagens de turno. Todos também foram reorientados de que caso o mesmo erro venha a ocorrer, haverá aplicação de fluxo (metodologia utilizada pela empresa que consiste na aplicação de advertência escrita e suspensão do funcionário).

As falhas mecânicas de equipamentos - como problema na bomba de trasfega de malte do moinho para a tina de mostura e incrustação no trocador de calor de mosto entre o tanque intermediário e a tina de fervura - foram problemas casuais que puderam ser resolvidos em tempo hábil para não levar à perda do mosto. Ações como investimento maior em manutenções preditivas e realização dos “*checklists*” operacionais dentro do prazo, foram implementadas a fim de evitar o reaparecimento desses problemas e de outros casos similares.

As subáreas brassagem e adegas de fermentação e maturação, mesmo trabalhando em parceria, estão submetidas a problemas mecânicos e falhas operacionais que podem causar queda na produtividade do processo. Dentre os casos que ocorreram, houve atraso na etapa de acidificação do fermento e na de higienização do OD fermentador que iria receber o fabrico.

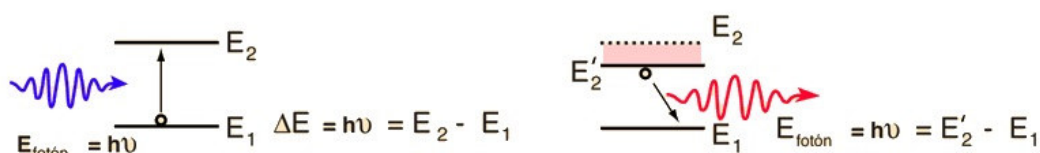
Os atrasos causados pela área da utilidades foram provocados por problemas no processo de produção e fornecimento de vapor para cozimento do mosto e por problemas nas torres de resfriamento, que estavam com capacidade de produção de água gelada baixa para promover o resfriamento dos fabricos.

5.2 Teor elevado de oxigênio dissolvido no maturador

O orbisphere, aparelho utilizado para medir a concentração de oxigênio dissolvido na cerveja, é um sensor óptico que se baseia na capacidade da molécula de oxigênio em suprimir a fluorescência do complexo indicador presente nele.³⁹

Como estudado na disciplina de *Química Inorgânica Teórica I*, uma molécula, ao receber energia quantizada, passa do seu estado fundamental de energia para o excitado. Quando esta molécula retorna ao seu estado fundamental, emite energia na forma de fóton. O fenômeno de fluorescência ocorre quando após a incidência de luz de alta energia sobre a molécula, há emissão de fóton de menor frequência. Os princípios de fluorescência são também estudados na disciplina de *Química Analítica IV*.

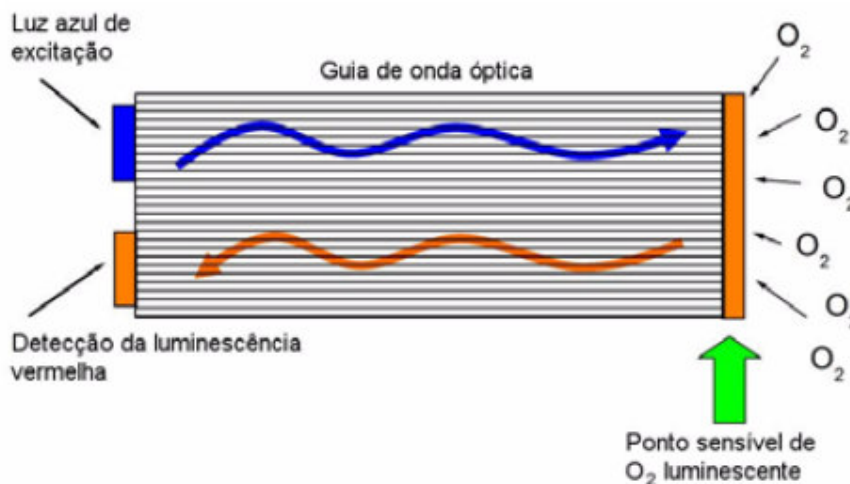
Figura 36 – Esquema de absorção/emissão de energia em níveis quantizados de uma molécula.



Fonte: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/mod5.html>>⁴⁰

O princípio de funcionamento do aparelho se baseia no que está exposto na figura abaixo:

Figura 37 – Sonda óptica de medição de teor de oxigênio.



Fonte: <<http://uk.hach.com/asset-get.download.jsa?id=25593618641>>³⁹

O aparelho é formado por um corante/indicador que quando iluminado por uma luz azul emite radiação fluorescente (luz vermelha – menor energia) que é

capturada por um detector. Quando as moléculas de oxigênio colidem com as do complexo indicador, o estado excitado do complexo reduz em nível de energia, isto é, torna-se “desativado”, por isso não consegue mais absorver a energia que incide sobre ele. Logo, a intensidade de radiação emitida diminui. Dessa forma, na ausência de oxigênio, a intensidade da radiação de emissão é máxima, e, ao aumentar a concentração, essa intensidade diminui, e o tempo de redução de energia emitida é convertido em termos de concentração de oxigênio dissolvido na cerveja.³⁹

Análises de teor de oxigênio devem ser feitas durante todo o processo de fabricação da cerveja, pois como comentado anteriormente, a presença do mesmo deve ser evitada para não provocar oxidação do produto acabado. Esta oxidação gera alterações indesejáveis nas características organolépticas da cerveja. Devido essa grande importância no controle desse parâmetro, foi feito um levantamento das principais causas de alto teor de oxigênio dissolvido na cerveja do maturador. Dentre elas estão:

- a) Problema de vazamento de cerveja pelo trocador de calor, provocando incorporação de oxigênio.
- b) Problema na bomba moduladora de envio de cerveja da centrífuga para o maturador, causando incorporação de oxigênio.
- c) Teor de oxigênio elevado no ácido tânico (matéria-prima utilizada em substituição à centrífuga por apresentar problemas de funcionamento).
- d) “Colchão de CO₂” do maturador fora das especificações de pureza.

As ações que foram adotadas a fim de sanar esses problemas estão descritas a seguir:

- a) Para sanar o problema de vazamento de cerveja pelo trocador de calor, foi necessário realizar abertura do equipamento e troca das gaxetas de vedação.
- b) Um problema de automação do sistema causou falha no funcionamento da bomba de envio de cerveja da centrífuga para o maturador. Foi observado que a bomba não estava modulando de forma correta e estava trabalhando na sua capacidade máxima. Isso gerou a formação de bolsão de ar dentro da linha que levou à incorporação de oxigênio na cerveja. O problema só foi solucionado

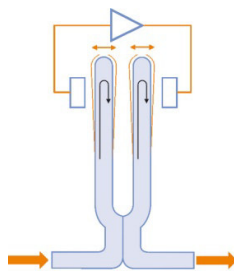
com a compra de um novo transmissor de pressão e com os reajustes de automatização feitos no sistema.

- c) Em decorrência de um problema técnico causado na centrífuga, esta ficou em desuso por um tempo, e para substituí-la, utilizou-se um produto chamado ácido tânico que promove a decantação de partículas sólidas levando a formação de uma maior quantidade de galáger. O ácido tânico é preparado antes do início de envio da cerveja do fermentador para o maturador, e este é dosado ao longo desse processo. Foi observado que, ao proceder com a dosagem do ácido tânico, estava ocorrendo um aumento da concentração de oxigênio no líquido. Dessa forma, foi implementada uma nova etapa de injeção de CO₂ durante seu preparo para cessar a incorporação de oxigênio durante a dosagem desse produto.
- d) Antes de proceder com o envio de cerveja para o maturador, é necessário garantir que este tanque esteja higienizado e com “colchão de CO₂” preparado. A formação deste colchão ocorre com o envio de CO₂ para dentro do tanque vazio, a fim de que a cerveja já chegue no OD livre da presença de oxigênio. Entretanto, algumas vezes não é injetado CO₂ suficiente, ou o gás enviado não se encontra completamente puro. Dessa forma, análises de pureza de gás carbônico no OD estão sendo feitas mais corriqueiramente para garantir a correta formação do “colchão de CO₂” dentro do tanque.

5.3 Extrato aparente fora de faixa na cerveja filtrada

O alcoolyzer introduz a amostra em um tubo em forma de U que vibra em uma determinada frequência. Essa frequência de oscilação depende diretamente da densidade da amostra que é convertida matematicamente e expressa em °P (graus Plato).⁴¹

Figura 38 – Tubo em U de mediação de densidade



Fonte: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1180-medidores-de-densidade-em-linha>>⁴¹

Essa unidade métrica é correspondente à quantidade de sacarose dissolvida no meio. Dessa forma, uma solução 10 °P significa que 10% da massa da solução é sacarose e os 90% restante são a massa da água. Apesar de apenas uma pequena fração do mosto ser composta por sacarose, isso não representa um problema, pois dentre os açúcares fermentescíveis, este carboidrato é o que apresenta maior influência sobre a densidade do mosto.⁴²

Como estudado na disciplina de *Físico-Química II*, o termo aparente é utilizado, pois o valor do extrato é determinado em termos de massa de soluto em água sem considerar a presença do álcool que possui uma densidade bem menor que o primeiro.

Outro fator importante a se considerar, é que todas as análises são feitas à temperatura ambiente, pois, como estudado na disciplina de *Química Geral II*, a temperatura exerce forte influência sobre o valor da densidade de uma amostra.

O teor de extrato está diretamente relacionado à formação do “corpo” do produto acabado. Cervejas com baixo teor de extrato são mais diluídas, enquanto que o contrário gera cervejas mais densas. A fim de não comprometer a qualidade sensorial deste produto, se faz necessário garantir sempre um teor de extrato aparente dentro da faixa especificada.

As principais causas de extrato aparente fora de faixa foram:

- a) Problemas na produção do mosto contendo alto teor de açúcares não fermentescíveis.
- b) Problemas durante a fermentação, no qual o fermento não foi capaz de garantir uma completa atenuação de extrato.

Modificações feitas na formulação de produção de mosto na brassagem comprometeram a eficácia do processo fermentativo, o que levou a baixas atenuações de extrato tornando-a fora de faixa no produto acabado. Correções nessa formulação estão sendo realizadas novamente para garantir a correta produção de mosto e não mais comprometer a qualidade do produto acabado.

6 CONCLUSÃO

Através deste trabalho observa-se que o profissional da química pode atuar de diferentes formas dentro da área do processo de fabricação de cerveja. O embasamento teórico obtido pelo químico durante sua graduação aliado com o seu conhecimento à respeito do processo produtivo permite que ele possa atuar sobre a correção de anomalias, o tratamento de não conformidades, o desenvolvimento de análises laboratoriais mais rápidas e precisas, o aprimoramento de técnicas que reduzam custos e melhorem a qualidade do produto acabado, entre outros.

Além disso, o levantamento das principais causas e ações às anomalias mais críticas e recorrentes em toda a área do processo de fabricação de cerveja é de fundamental importância, para que, caso o problema volte a ocorrer no futuro, já se tenha o registro das ações corretivas.

De acordo com os resultados obtidos com o estudo de caso feito sobre as anomalias, conclui-se que é extremamente necessário que haja uma contínua cobrança da operação para cumprimento da rotina diária, investimentos periódicos em manutenções preditivas e preventivas e que sejam realizados ajustes nos parâmetros de formulação de produção do mosto.

Dessa forma, faz-se necessário que um maior número de profissionais da química seja contratado para atuarem no processo produtivo da indústria cervejeira, a fim de que seu conhecimento possa ser aplicado e assim, garantir melhorias na qualidade do produto e aumentar a produtividade do processo.

REFERÊNCIAS

- 1 NEWRIK, M. S. **The history of beer**. Disponível em: <<http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/beer/history1.htm>>. Acesso em: 17 jun. 2016.
- 2 **Louis Pasteur: The man who led the fight against germs**. Disponível em: <<http://www.bbc.co.uk/timelines/z9kj2hv#z3r7xnb>>. Acesso em: 17 jun. 2016.
- 3 **Sørensen Invents the pH Scale**. Disponível em: <<http://www.carlsberggroup.com/Company/heritage/Historyofscientificachievements/Pages/pHValue.aspx>> Acesso em: 17 jun. 2016.
- 4 **The Kjeldahl Method**. Disponível em: <<http://www.carlsberggroup.com/Company/heritage/Historyofscientificachievements/Pages/Kjeldahl.aspx>> Acesso em: 17 jun. 2016.
- 5 **Louis Pasteur and Carlsberg Cure the ‘Beer Disease’**. Disponível em: <<http://www.carlsberggroup.com/Company/heritage/Historyofscientificachievements/Pages/Pasteur.aspx>> Acesso em: 17 jun. 2016.
- 6 **Universidade Ambev, 2012**.
- 7 FÁBIO, A. C. **País produz mais cevada, anima cervejarias, mas preço da bebida não cai**. Altura: 300 pixels. Largura: 615 pixels. 114 KB. Formato: JPEG. Disponível em: <<http://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2013/07/10/brasil-produz-mais-cevada-anima-cervejaria-artesanal-mas-preco-nao-vai-cair.htm>>. Acesso em: 07 maio 2016.
- 8 **Os 10 benefícios da cevada para saúde**. Altura: 547 pixels. Largura: 768 pixels. 149 KB. Formato: JPEG. Disponível em: <<http://www.saudedica.com.br/os-10-beneficios-da-cevada-para-saude/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- 9 **Técnico Cervejeiro Aquiraz – ABInbev, 2015**.
- 10 SILVA, J. B. A. **Processo – Microcervejaria**. Disponível em: <<http://www.debiq.eel.usp.br/~joabatista/AULACERVEJA2.pdf>>. Acesso em: 07 maio 2016.
- 11 PORTO, P. D.; **Tecnologia de fabricação de malte: uma revisão**; Porto Alegre, 2011.
- 12 **[Amilose e amilopectina]**. Altura: 380 pixels. Largura: 380 pixels. 47 KB. Formato: JPEG. <<http://s2.static.brasilecola.uol.com.br/img/2014/03/amilose-e-amilopectina.jpg>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

- 13 **[Amilose e amilopectina]**. Altura: 365 pixels. Largura: 947 pixels. 28 KB. Formato: JPEG. <http://2.bp.blogspot.com/-yrVJqe_33r0/TeABxpxVX4I/AAAAAAAAAXk/T204i7W7vuk/s1600/amilose.jpg>. Acesso em: 04 jun. 2016.
- 14 KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. 2. Ed.; Berlin: Vlb Berlin; 1999; 726 p.
- 15 D'AVILA, R. F.; LUVIELMO, M.; MENDONÇA, C. R. et al.; Adjuntos utilizados para a produção de cerveja: características e aplicações; **Estudos tecnológicos em engenharia**, v. 8, n. 2, p. 60-68, jul./dez. 2012.
- 16 **O que é lúpulo?** Disponível em: <<http://super.abril.com.br/ciencia/o-que-e-lupulo>>; Acesso em: 08 maio 2016.
- 17 **Santa Catarina pode ser a primeira produtora de lúpulo do Brasil**. Altura: 350 pixels. Largura: 660 pixels. 87 KB. Formato: JPEG. Disponível em: <<http://www.canalcatarinense.com.br/santa-catarina-pode-ser-a-primeira-produtora-de-lupulo-do-brasil>>. Acesso em: 04 jun. 2016.
- 18 **[Caladores]**. Altura: 400 pixels. Largura: 400 pixels. 29,6 KB. Formato: JPEG. Disponível em: <<http://www.motomco.com.br/2014/equipamentos.php?section=3&equipment=G RANELEIRO-2.2M><http://www.motomco.com.br/2014/equipamentos.php?section=3&equipment=GRANELEIRO-2.2M>>. Acesso em: 11 jun. 2016.
- 19 **Formação de Operador Cervejeiro – Módulo 2: Brassagem**. Universidade Ambev: 2013.
- 20 SOUZA, K. A. F. D. **Experimentos de bioquímica**. Altura: 190 pixels. Largura: 358 pixels. 10,8 KB. Formato: GIF. Disponível em: <http://www.fcfar.unesp.br/alimentos/bioquimica/praticas_ch/teste_amido.htm>. Acesso em: 11 junho 2016.
- 21 ROCHAEL, A. S. **Processo de fabricação de cerveja e qualidade – AmBev cervejaria Natal**. 2015. 58 f. Relatório de estágio supervisionado obrigatório (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
- 22 **Aminoácido**. Altura: 159 pixels. Largura: 700 pixels. 41,6 KB. Formato: PNG. Disponível em: <<http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Amino%C3%A1cido>>. Acesso em: 06 junho 2016.
- 23 SILVA, P.; FARIA, F.; Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 28, n. 4, p. 902-906, 2008.

- 24 FILHO, A. B. M.; VASCONCELOS, M. A. S. **Produção alimentícia – Química de Alimentos**. Recife: UFRPE, 2011. 78 p.
- 25 SILVA, M. A. L. **Orgânica – Química dos compostos orgânicos II – aula 6**. Altura: 43 pixels. Largura: 120 pixels. 1,32 KB. Formato: PNG. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAf3K4AF/organica-quimica-dos-compostos-organicos-ii-aula-6>>. Acesso em: 06 jun. 2016.
- 26 MEDEIROS, C. D. **Efeito de variáveis de processo no tempo de fermentação da cerveja na concentração das dicetonas vicinais totais (TVDK)**. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- 27 **Técnico em cerveja – fermento**, Universidade Ambev: 2014.
- 28 **Yeasts in your beer**. Altura: 200 pixels. Largura: 309 pixels. 13,5 KB. Formato: JPEG. Disponível em: <<http://www.thescrewybrewer.com/p/yeast-in-your-beer.html>>. Acesso em: 07 maio 2016.
- 29 NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.1273p.
- 30 HOUGH, J. S. **Biología de la cerveza y de la malta**. 1. ed. Espanha: Acibia, 1990. 194p.
- 31 **Entendendo a levedura cervejeira**. Disponível em: <http://www.agraria.com.br/extranet/arquivos/agromalte_arquivo/mod_3_fermentacao_e_maturacao.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2016.
- 32 MARAIS, L. M. **The effect of yeast propagation temperature on diacetyl reduction – an in process study at Spendrups brewery**. 2010. 33 f. Master of sciences thesis (Master degree programme in Biotechnology) – Department of Biotechnology, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2010.
- 33 **Fungos**. Altura: 217 pixels. Largura: 400 pixels. 112 KB. Formato: PNG. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/kelvin45170/fungos-presentation-658078>>. Acesso em: 06 jun. 2016.
- 34 **Técnico em cerveja – filtração**, Universidade Ambev: 2014.
- 35 GOPAL, C.; REHMANJI, M. PVPP – the route to effective beer stabilisation. **Brewers’s Guardian**, Surrey, UK, n. 1, p. 1-7, maio 2000.
- 36 SIQUEIRA, P. B.; BOLINI, H. M. A.; MACEDO, G. A. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v. 19, n. 4, p. 491-498, out./dez. 2008.
- 37 **Colloidal instability**. Altura: 354 pixels. Largura: 653 pixels. 51,3 KB. Formato: JPEG. Disponível em: <<http://www.ashland.com/beer-wine-stabilizer/colloidal-instability>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

- 38 JACKSON, G.; ROBERTS, R. T.; WAINWRIGHT, T. Mechanism of beer foam stabilization by propylene glycol alginate. **J. Ind. Brew.** Surrey, UK, v. 86, p. 34-37, jan./fev. 1980.
- 39 **Orbisphere modelo 3100 – analisador de O₂ portátil** (Manual do usuário)
Disponível em: <<http://uk.hach.com/asset-get.download.jsa?id=25593618641>>.
Acesso em: 12 jun. 2016.
- 40 **Procesos Cuánticos**. Altura: 139 pixels. Largura: 783 pixels. 6,99 KB. Formato: GIF. Disponível em: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/mod5.html>>.
Acesso em: 12 jun. 2016.
- 41 <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1180-medidores-de-densidade-em-linha>>. Acesso em: 12 jun. 2016.
- 42 MANNING, M. P. **Understanding specific gravity and extract**.
<<http://www.morebeer.com/brewingtechniques/library/backissues/issue1.3/manning.html>>. Acesso em: 12 jun. 2016.