**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Uso da goma Oenogum para a estabilização coloidal
e de espuma em cerveja**

Bianca Zuppardo

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de
Alimentos

Piracicaba
2010

Bianca Zuppardo
Engenheira de Alimentos

“Uso da goma Oenogum para a estabilização coloidal e de espuma em cerveja”

Orientador:
Prof.. Dr. **ANDRÉ RICARDO ALCARDE**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Ciência e Tecnologia
de Alimentos

Piracicaba
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Zuppardo, Bianca

Uso da goma Oenogum para a estabilização coloidal e de espuma em cerveja / Bianca
Zuppardo. - - Piracicaba, 2010.
115 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.
Bibliografia.

1. Cerveja - Análise sensorial 2. Composição química 3. Estabilizantes 4. Gomas e resinas
Vida-de-prateleira I. Título

CDD 663.42
Z95u

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATORIA

Dedico à Deus pela benção desse trabalho, a minha família por todo o esforço dedicado a minha formação, a minha mãe *in memorian*, a minha amiga Tatiani por toda ajuda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a FAPESP pelo apoio educacional e o investimento necessário para realização desse trabalho, com a implantação da Planta Piloto da USP.

Agradeço ao Professor André Alcarde pela oportunidade, dedicação e compreensão durante todo o curso.

Agradeço aos demais colaboradores que prestaram auxílio como consultoria de produção de cerveja e realizações de análises.

Agradeço aos mestres cervejeiros que me auxiliaram durante todo o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço a ESALQ por todas as oportunidades intelectuais e auxílio para com os alunos de pós graduação.

Meus agradecimentos aos meus amigos que me ajudaram nos momentos decisivos como na rematrícula e no desenvolvimento prático de todo o trabalho.

“la bière c’est de l’amitié liquide” - Ronny Coutteure

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	17
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. OBJETIVO.....	25
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.1 Mercado Atual.....	27
3.2 Perspectiva de mercado	29
3.3 Legislação da cerveja	30
3.4 Definição e Caracterização química de Cerveja.....	35
3.5 Matérias primas cervejeiras	37
3.5.1 Água	37
3.5.2 Cevada.....	42
3.5.3 Malte	45
3.5.3.1 A estrutura do malte	46
3.5.4 Lúpulo	46
3.5.4.1 Polifenóis	48
3.5.5 Adjuntos não maltados.....	49
3.5.6 Levedura Cervejeira	52
3.6 Adjuntos de Fabricação	53
3.6.1 PVPP	54
3.6.2 APG	55
3.6.3 Isótopos Estáveis	56
3.6.4 Goma Oenogum.....	64
3.7 Processo de produção de cerveja.....	65
3.7.1 Processo Clássico (Descontínuo).....	66
3.7.2 Moagem do malte	67
3.7.3 Mosturação	67
3.7.4 Brassagem.....	69
3.7.5 Decocção	70
3.7.6 Filtração do mosto.....	70

3.7.7	Fervura do mosto	70
3.7.8	Característica do mosto.....	71
3.7.8.1	Tratamento do mosto	72
3.7.9	Preparo do inoculo	72
3.7.10	Fermentação da cerveja.....	72
3.7.11	Maturação da cerveja.....	74
3.7.11.1	Clarificação por sedimentação	76
3.7.11.2	Saturação com gás carbônico.....	78
3.7.11.3	Melhora do flavour da bebida.....	79
3.7.12	Filtração da cerveja	82
3.7.12.1	Exigências do sistema de filtração	83
3.7.12.2	Filtros esterilizantes	84
3.7.13	Pasteurização da cerveja	86
3.7.14	Envasamento da cerveja	86
3.7.15	Sabor da cerveja	86
3.7.16	Espuma.....	91
3.7.17	Prevenção das reações de oxidação.....	93
3.7.18	Valor calórico da cerveja	93
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	97
4.1	Material.....	97
4.2	Métodos	98
4.3	Planejamento experimental	99
4.4	Análises.....	104
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	105
6.	CONCLUSÃO.....	111
	REFERÊNCIAS	113

RESUMO

Uso da goma *Oenogum* para a estabilização coloidal e de espuma em cerveja

O objetivo deste projeto é verificar a possibilidade da substituição dos produtos PVPP (Polivinilpolipirrolidona) e APG (Alginato de Propileno Glicol), estabilizantes empregados na fabricação de cervejas, pela goma *Oenogum*, analisando parâmetros físico-químicos, composição química e atributos sensoriais da bebida. O PVPP é utilizado como estabilizante coloidal da cerveja, porém é de alto custo. O APG é estabilizante da espuma de cervejas, principalmente aquelas com baixo teor de proteínas, aquelas que recebem na sua fabricação adjuntos não maltados. Em vinhos, o *Oenogum* diminui adstringência, inibe o turvamento e previne o depósito de compostos polifenólicos, contribuindo para a produção de vinhos de qualidade superior. O *Oenogum* cria uma película ao redor dos taninos e dos polifenóis, deixando-os inativos, sem, no entanto, afetar os compostos voláteis do vinho e, assim sendo, não afetando o equilíbrio organoléptico da bebida. Será produzida cerveja elaborada com 55% de malte e 45% de maltose de milho em pó (cerveja com malte e adjuntos não maltados), com a adição de 0, 5 ou 10 g/hL da goma *Oenogum* e a cerveja denominada como padrão comercial com PVPP e APG em substituição à goma *Oenogum* para efeito de comparação. As cervejas serão analisadas quanto a parâmetros físico-químicos (extrato, fermentabilidade, pH, cor, amargor, estabilidade de espuma e turbidez), composição química (acidez, etanol, ésteres, cetonas, aldeídos, álcoois superiores, metanol e polifenóis) e atributos sensoriais (impressão global, cor, odor e sabor) da bebida. Espera-se que a goma *Oenogum* possa promover estabilização coloidal e de espuma na cerveja produzida, sem, no entanto, alterar negativamente a composição química e parâmetros físico-químicos e sensoriais da bebida.

Palavras-chaves: Cerveja; Espuma; *Oenogum*

ABSTRACT

Use of gum Oenogum for colloidal stabilization and foam in beer

The objective of this project is to verify the possibility of replacing the products PVPP (Polivinilpolipirrolidona) and APG (Propylene glycol alginate), stabilizers used in making beer, by gum Oenogum, analyzing physical and chemical parameters, chemical composition and sensory attributes of the drink. The PVPP is used as a colloidal stabilizer in beer, but it is expensive. The APG is the foam stabilizer of beers, especially those with low protein content, those who receive in its manufacture Assistant unmalted. In wine, the astringency Oenogum decreases, inhibits and prevents blurring the deposit of polyphenolic compounds, contributing to the production of superior quality wines. The Oenogum creates a film around the tannins and polyphenols, making them inactive, without, however, affect the volatile compounds of wine and, therefore, not affecting the organoleptic balance of the drink. Will be produced beer made with 55% malt and 45% maltose corn powder (beer with malt and adjuncts unmalted), with the addition of 0, 5 or 10 g / hL Oenogum gum and beer named as standard commercial PVPP and APG to replace gum Oenogum for comparison. The beers will be analyzed for physico-chemical parameters (extract, fermentability, pH, color, bitterness, foam stability and turbidity), chemical (acidity, ethanol, esters, ketones, aldehydes, higher alcohols, methanol and polyphenols) and attributes sensory (overall impression, color, odor and taste) of drinking. It is expected that the gum can promote Oenogum and colloidal stabilization of beer foam produced without, however, adversely affected the chemical composition and physico-chemical and sensory characteristics of the drink.

Keywords: Beer; Foam; Oenogum

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de tratamento da água em cervejarias.....	40
Figura 2 - Estrutura dos açúcares do malte.....	46
Figura 3 -Estrutura química do lúpulo	47
Figura 4 - Esquema químico processo de isomerização	48
Figura 5 - Polifenóis presentes no lúpulo	49
Figura 6 -Fluxograma de processo genérico da produção de cerveja.....	65
Figura 7 - Exemplo de fluxograma da microfiltração da cerveja.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo <i>per capita</i> de cerveja em alguns países do mundo.....	21
Tabela 2 - Consumo de cerveja no Brasil (1990-1998).....	29
Tabela 3 - Crescimento do PIB (FMI).....	30
Tabela 4 - Decreto nº 2.314.....	32
Tabela 5 - Relação dos diversos tipos de cerveja.....	33
Tabela 6 - Mostra características de alguns adjuntos amiláceos empregados na formulação de cervejas.....	35
Tabela 7 - Divisão dos constituintes da cerveja em várias categorias por tipo Químico.....	37
Tabela 8 - Especificações Físico-Químicas da Água Cervejaria.....	39
Tabela 9 - Composição média do grão de cevada.....	43
Tabela 10 - Composição do endosperma do grão de cevada.....	44
Tabela 11 - Álcoois Superiores.....	89
Tabela 12 - Ésteres encontrados na cerveja.....	90
Tabela 13 - Compostos presentes na espuma da cerveja.....	92
Tabela 14 – Resultados isotópicos da cerveja.....	105
Tabela 15 – Resultados das amostras produzidas.....	106

1. INTRODUÇÃO

A cerveja é a mais antiga e mais conhecida bebida alcoólica do mundo. Ela é produzida através da fermentação de produtos amiláceos, principalmente o malte de cevada, trigo, arroz e milho.

Em 1516 o Duque Guilherme IV da Baviera instituiu a “Lei da Pureza” (“Reinheitsgebot”). De acordo com essa lei a cerveja deveria ser produzida apenas a partir do Malte, da Água e do Lúpulo. Na época não havia conhecimento sobre o papel das leveduras no processo de produção da cerveja.

Hoje em dia há cervejarias que ainda seguem a “Lei da Pureza”, mas a maioria das fábricas produz variações, proporcionando bebidas diferentes, com adjuntos, frutas, etc.

Existem inúmeros tipos de cerveja provenientes de diversas combinações de métodos, ingredientes e características que resultam em produtos completamente diversos. Hoje em dia estima-se que haja mais de 20 mil tipos de cerveja.

É possível separar as cervejas em dois grandes grupos: as Ales e as Lagers. As Ales são cervejas de alta fermentação. Estas fermentam a uma temperatura mais elevada (20°C-25°C) e as leveduras tendem a flotar nas dornas de fermentação. Essas cervejas normalmente apresentam uma cor mais avermelhada, um teor alcoólico mais elevado e um sabor mais forte e complexo, podendo apresentar aromas de frutas, flores e especiarias. Existe uma enorme variedade de Ales produzida pelo mundo, como as famosas Trapistas da Bélgica, Weissbier da Alemanha, Porter da Inglaterra e Stout da Irlanda.

As cervejas tipo lagers, são fermentadas abaixo dos 12°C. As leveduras decantam na fermentação e essas cervejas possuem um aroma menos complexo que o das Ales. Dentre as Lagers a mais importante é a Pilsner, originada na República Tcheca. Este tipo de cerveja é o mais produzido industrialmente hoje em dia e é amplamente difundido pelo mundo.

As cervejas são alimentos altamente nutritivos, que em média fornecem 400 kcal/litro, além de minerais, proteínas, carboidratos e vitaminas, principalmente as do complexo B. Inclusive, o álcool presente na cerveja, em quantidades moderadas, é considerado benéfico à saúde.

O consumo per capita do Brasil foi de 47 litros/habitante ano em 2003, um consumo relativamente baixo se comparado a países como a República Tcheca e a Alemanha (Tabela 1), revelando o grande potencial a ser explorado no país.

A produção industrial de cerveja é um mercado que movimenta bilhões de dólares no mundo e é muito forte no Brasil. Em 2004 a produção de cerveja no país atingiu a marca dos 8,5 bilhões de litros. Esse mercado gerou direta e indiretamente mais de 150 mil empregos no Brasil, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Consumo *per capita* de cerveja em alguns países do mundo

País	litros/habitante/ano
República Tcheca	157
Irlanda	131
Alemanha	116
Austrália	110
Áustria	108
Reino Unido	99
Bélgica	93
Espanha	84
Estados Unidos	82
Holanda	79
Canadá	68
Portugal	60
Rússia	59
Venezuela	59
México	52
Japão	51
Brasil	48
Colômbia	37
França	34
Argentina	32
China	18

Fontes: Per Capita Beer Consumption by Country, Kirin Holdings company, Limited, 2004, <http://www.kirinholdings.co.jp/english/ir/news_release051215_4.html>, Qui sont les champions de la bière, Journal du Net, 2006, <<http://www.journaldunet.com/management/0602/0602120biere.shtml>>.

O processo de produção de cerveja, apesar de inúmeras variações, segue um mesmo princípio. Obter açúcares fermentáveis pela ação de enzimas presentes no

malte e fermentar estes açúcares sob ação de leveduras produzindo assim álcool e gás carbônico. O lúpulo é adicionado ao mosto proporcionando características de aroma e sabor à bebida.

A produção de cerveja é um processo relativamente simples, porém a qualidade do produto depende de muitos fatores, tornando a produção de uma cerveja de qualidade um processo que requer cuidados, tecnologia e conhecimento.

A qualidade da cerveja depende do tipo desejado e de sua utilização. As cervejas são avaliadas segundo as seguintes características:

- Tipo de fermentação
- Extrato primitivo
- Cor
- Teor Alcoólico
- Teor de extrato

Além disso, é importante também o sabor, o aroma, a duração da espuma, o tamanho das bolhas de gás, o *“after taste”*, dentre outras características do produto final.

Uma característica degradável de algumas cervejas Pilsner produzidas comercialmente no país é a adstringência que ela causa na boca. Atentos a este problema, responsáveis pelas indústrias cervejeiras buscam soluções para eliminar este problema causado pelo excesso de taninos e polifenóis encontrados nesta bebida.

Atualmente é uma prática comum nas cervejarias do mundo a utilização de um produto comercialmente conhecido como PVPP (Polivinilpolipirrolidona) que visa eliminar os taninos e polifenóis da cerveja, no entanto este produto apresenta custo elevado. O PVPP é empregado pelas cervejarias como estabilizante coloidal pela alta eficiência em extração de polifenóis, evitando assim que estes reajam com as proteínas. Como consequência, é alcançado um longo período de estabilidade da cerveja. A sua aplicação, no entanto, acaba sendo limitada pelo alto custo do PVPP descartável e devido ao investimento em equipamentos para a utilização do PVPP regenerável. Assim muitas cervejarias têm aplicado em substituição ao PVPP, a sílica

gel, que absorve seletivamente certas proteínas responsáveis pela turvação. Outra opção é empregar ambos os sistemas a fim de obter um melhor custo-benefício.

No Brasil, existem motivos ainda mais fortes para a utilização do PVPP, pois as condições de armazenagem dos produtos são, em muitos casos, inadequadas, além dos percursos de transporte até o ponto de consumo ser muito longos. Assim, o PVPP tem grande participação na manutenção da qualidade do produto para os consumidores.

No entanto, existe no mercado outro produto, chamado *Oenogum* (Colloids Naturels International – CNI, Rouen, França), que parece cumprir a mesma função do PVPP. Este produto, no entanto, ainda não é utilizado na produção de cerveja, mas sim na de vinho. Este produto é uma Goma Acácia, um colóide natural utilizado amplamente no mercado alimentício. Em vinhos este produto diminui eficientemente a adstringência, pois interage com taninos e polifenóis; inibe o turvamento que aparece em vinhos brancos após a precipitação das proteínas de baixo peso molecular; previne o depósito de compostos polifenólicos que normalmente se manifestam durante o envelhecimento de vinho tinto. Desta forma a goma *Oenogum* contribui para o desenvolvimento de vinhos tintos de qualidade superior, aumentando o *shelf life* de vinhos brancos e tintos jovens.

Este produto age criando uma película ao redor dos taninos e polifenóis, deixando-os “inativos”. Mesmo com esse efeito, a goma não afeta as características da bebida preservando as características da mesma.

Um dos objetivos dessa pesquisa será testar a substituição deste produto PVPP por este estabilizante coloidal chamado de *Oenogum*, que já vem sendo utilizado com sucesso na produção de vinhos.

A substituição deste produto é de enorme interesse para a indústria cervejeira nacional, pois o PVPP é um produto importado de custo elevado, enquanto o *Oenogum* pode ser adquirido por um preço mais acessível. Para comparação, o custo médio do PVPP é de US\$ 6/hL de cerveja, enquanto que o do *Oenogum*, caso se comprove sua eficiência, seria de aproximadamente US\$ 0,2/hL de cerveja. Considerando a produção nacional de 8,5 bilhões de litros de cerveja anualmente, a goma *Oenogum* poderia representar, teoricamente, uma economia anual de aproximadamente US\$ 490 milhões

para o setor cervejeiro, o que representaria uma economia de 5,76 centavos de dólar por litro de cerveja produzida no Brasil.

Além de substituir o PVPP, a goma tem potencial para substituir outro produto, o “Alginato de Propileno Glicol” (APG), que é um produto retirado de algas. A função deste produto é estabilizar a espuma para cervejas com teor baixo de proteína (que recebem como uma parte da matéria prima adjuntos não maltados). Dessa forma a espuma se mantém por mais tempo sobre a bebida, uma característica qualitativa muito importante para manter a bebida sem alteração no copo até o ultimo gole dado pelo consumidor, e conseqüentemente de grande interesse pela indústria.

Por fim, a goma ainda pode aumentar a vida de prateleira (evita a formação de turbidez protéica na cerveja pronta), por impedir algumas reações que causam envelhecimento e alterariam características organolépticas da bebida.

2. OBJETIVO

O objetivo deste projeto foi verificar a possibilidade da substituição dos produtos PVPP e APG, aditivos empregados em cervejas, pela goma *Oenogum*, analisando parâmetros físico-químicos (pH, cor, amargor, estabilidade de espuma e turbidez), composição química (acidez, etanol, ésteres, cetonas, aldeídos, álcoois superiores, metanol e polifenóis) e atributos sensoriais (impressão global, cor, odor e sabor).

A proposta foi analisar e testar que a utilização da goma *Oenogum* poderia promover estabilização coloidal e de espuma na cerveja produzida, sem, no entanto, alterar negativamente a composição química e parâmetros físico-químicos e sensoriais da bebida.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Mercado Atual

A cerveja é uma bebida consumida há pelo menos 6000 anos, de acordo com relatos históricos. Até o século XIX, o processo de fabricação de cerveja era caracterizado pela experimentação e tradição. A partir dos estudos de Louis Pasters (microorganismos), Emil Cristian Hansen (microscopia) e Carl Von Linde (geração de frio), a fabricação de cerveja passa a ser dominada pela ciência e pela técnica. No Brasil, a cerveja foi introduzida pela família real portuguesa em 1808 (Biazon, 2008).

O mercado mundial de cerveja, principalmente na Europa Ocidental e Estados Unidos, apresenta tendência de estagnação. Enquanto que nos países industrializados o consumo per capita estagnou ou até diminuiu, aumenta o consumo nos países do Leste Europeu, China e América do Sul (www.cervesia.com.br)

O Brasil apresenta dimensões continentais, com seus 8,5 milhões de km² (aproximadamente 23 vezes maior que a Alemanha) e uma população de 169 milhões de habitantes. O país conta hoje com mais de 60 cervejarias de médio e grande porte, que adotam a mais moderna tecnologia cervejeira para fabricar suas cervejas. A enorme polarização do mercado cervejeiro, onde apenas três grandes grupos concentram mais de 90% do mercado (Ambev, Kaiser, Schincariol) está levando ao surgimento de cervejarias regionais e microcervejarias, número esse que cresce continuamente e já perfaz mais de quarenta (www.cervesia.com.br).

Atualmente a cerveja é uma das bebidas mais consumidas no mundo e seu consumo apresenta constante crescimento. Segundo reportagem do jornal do Comércio em sua edição de 18/06/2009 em uma reportagem sobre a feira Brau Brasil 2010, o jornal relata que os números do Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja (Sindicerv) mostram que o Brasil ocupa a quarta posição no ranking mundial dos produtores de cerveja, tendo produzido 10,34 bilhões de litros de cerveja em 2007, e tem consumo per capita de 56 litros, também um dos maiores do mundo. Nos últimos cinco anos, o setor faturou R\$ 25,8 bilhões e investiu R\$ 3 bilhões. O consumo nos pontos-de-venda se divide aproximadamente em 50% para cold market (mercado frio - bares e restaurante), 35% para self service (autosserviço, lojas de conveniência e supermercados. Com a

menor fatia, está o traditional market (mercado tradicional - padarias, minimercados e mercearias), com 15%.

De acordo com Araujo (2005), Biazo (2008) entre outros o Brasil se entra na quinta posição entre os maiores produtores de cerveja do mundo perdendo apenas em volume, para a China (27 bilhões de litros/ano), Estados Unidos (23,6 bilhões de litros/ano), Alemanha (10,5 bilhões de litros/ano) e Rússia (9 bilhões de litros/ano), porém em estudos e pesquisas recentes apresentado no site cervesia em Janeiro de 2010, mostra que o Brasil ocupa a quarta posição em volume de produção, estando atrás de países tais como, China (35 bilhões de litros/ano), Estados Unidos (23,6 bilhões de litros/ano) e Alemanha (10,7 bilhões de litros/ano). No ano de 2008, houve crescimento de 5%, três vezes maior que o mercado total de cervejas.

Recentemente, em pesquisa divulgada pelo IBGE, o grupamento de alimentos e bebidas elaborados para consumo doméstico foi um dos poucos que registrou alta (5,8%), impulsionado pelas cervejas, chopes e refrigerantes. As cervejas especiais tiveram crescimento de 12%, resultado expressivo se comparado à taxa de crescimento do mercado de cervejas em geral, que registrou 6,7%, segundo a Sindicerv (www.cervejariafraga.com.br)

Os maiores consumidores de cerveja, no que tange o consumo per capita/ano, são a Rep. Checa (163 litros), a Irlanda (150,5 litros) e a Alemanha (127,5 litros). Apesar do consumo brasileiro não se apresentar entre os maiores do mundo (atualmente o consumo está em torno de 50 litros per capita/ano), o mercado apresenta um crescimento médio anual de 4%, enquanto que a Europa Ocidental no mesmo período (1990-1998) apresentou uma redução média anual de - 0,7% e os Estados Unidos de - 0,3%, conforme tabela 2:

Tabela 2 - Consumo de cerveja no Brasil (1990-1998):

Ano	Milhões de hl	Variação %
1990	58	-
1991	61	5,2 %
1992	50	-18,0%
1993	51	2,0%
1994	60	17,7%
1995	74	23,3%
1996	76	2,7%
1997	79	3,9%
1998	82	3,8% 5,2% de crescimento médio/ano
1999	80	-2,5% 4,2% de crescimento médio/ano

Fonte: Adaptado www.cervesia.com.br, 2010.

A distribuição da produção de cerveja no Brasil não é feita de modo uniforme, de modo que existe uma concentração mais acentuada nos estados mais industrializados da União, como a região Sudeste que conta com 57,5% da produção e 46 milhões de hectolitros anuais. As outras regiões, como a região Nordeste fica com 17,3% da produção e 13,88 milhões de hectolitros, a região Sul com 14,8% do mercado e 11,8 milhões de hectolitros, a região Centro-Oeste com 7,5% e 5,97 milhões de hectolitros e a região Norte com 2,9% e 2,35 milhões de hectolitros. O potencial de consumo brasileiro evolui à medida em que aumenta a população da faixa etária que começa a consumir cerveja e também devido ao aumento do poder aquisitivo.

3.2 Perspectiva de mercado

Segundo o site [cervesia](http://www.cervesia.com.br), o segmento de cervejas especiais no Brasil possui uma participação de 4,5% do mercado e seu crescimento é da ordem de 15% ao ano, o que traz boas perspectivas para os próximos anos.

As projeções do FMI para o crescimento do PIB brasileiro em 2009 e 2010 confirmam que o país sairá da retração antes dos países da Zona do Euro, isto significa que há potencial para novos investimentos no setor cervejeiro. A tabela 3 ilustra o crescimento do PBI:

Tabela 3 - Crescimento do PIB (FMI)

<i>Crescimento do PIB (FMI)</i>		
<i>País</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>
Brasil	-1,3	+3,5
Russia	-6,0	+0,5
Zona do Euro	-4,2	-0,4
EUA	-3,8	0,0
Mexico	-3,7	+1,0
Africa	+2,0	+3,9
Oriente Médio	+2,5	+3,5
India	+4,5	+5,6
China	+6,5	+7,5

Fonte: Adaptado: cervesia,2010

Para 2010, foi mantida a estimativa de que a economia deve se recuperar e o PIB apresentará crescimento de 3,5%. Segundo o IBGE, enquanto a produção industrial total do País despencou cerca de 15% em abril, na comparação com o mesmo mês de 2008, os fabricantes de bebidas registraram alta de 5%.

André Macedo, economista da coordenação de indústria do instituto, disse ao site cervesia que o bom desempenho vem sendo puxado especialmente por produtos como cerveja e refrigerante, que registram expansões mensais em torno de 10% em comparação com o ano passado. Ele atribui a expansão à manutenção de crescimento da renda, fator determinante para os resultados de bens de consumo não duráveis, como as bebidas.

3.3 Legislação da cerveja

O processo de fabricação é realizado atualmente através de equipamentos de alta tecnologia embora muitos conceitos artesanais ainda são ensinados nos mais renomados cursos de mestres cervejeiros. A utilização de técnicas de análise modernas, eficazes e rápidas para o controle de qualidade, a identificação de melhorias, pontos ótimos de processo, enfim situações que permitam a obtenção de um

produto de melhor qualidade podem fazer grande diferença neste mercado tão competitivo e lucrativo (SLEIMAN M., 2006).

A cerveja pode conter mais de 800 substâncias orgânicas presentes em sua constituição. Tais substâncias são provenientes de suas matérias primas e do processo de fabricação.

No Brasil o ministério da agricultura regulamenta esta bebida, através INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 54, DE 5 DE NOVEMBRO DE 2001, DOU de 07/11/2001, onde é aprovado o Regulamento Técnico MERCOSUL de Produtos de Cervejaria, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, estabelecendo definições para os tipos de cervejas de acordo com suas características de matéria prima e conteúdo.

As cervejas são classificadas em:

1 - Quanto ao extrato primitivo ou original (quantidade de substâncias dissolvidas (extrato) do mosto, que deu origem à cerveja e se expressa em porcentagem em peso):

a) Cerveja leve, a que apresentar extrato primitivo igual ou superior a 5% e inferior a 10,5%, em peso;

b) Cerveja comum, a que apresentar extrato primitivo igual ou superior a 10,5% e inferior a 12,5%, em peso;

c) Cerveja extra, a que apresentar extrato primitivo igual ou superior a 12,5% e inferior a 14,0%, em peso;

d) Cerveja forte, a que apresentar extrato primitivo igual ou superior a 14,0%, em peso.

Quando se tratarem de açúcares vegetais não provenientes de cereais, a quantidade empregada em relação ao extrato primitivo é limitada conforme o tipo de cerveja produzida, ver tabela 4.

Tabela 4 - Decreto nº 2.314

	<i>Decreto nº 2.314</i>	<i>IN-054</i>
Cervejas Claras	15% (10% para cervejas extras)	10%
Cervejas Escuras	50%	25% (50% para cervejas tipo Malzbier)

Fonte: Adaptado SLEIMAN M., 2006

2 - Quanto à cor:

a) Cerveja clara, a que tiver cor correspondente a menos de 20 unidades EBC (European Brewery Convention).

b) Cerveja escura, a que tiver cor correspondente a 20 ou mais unidades EBC.

3 - Quanto ao teor alcoólico em:

a) Cerveja sem álcool, quando seu conteúdo em álcool for menor que 0,5% em volume, não sendo obrigatória a declaração no rótulo do conteúdo alcoólico;

b) Cerveja com álcool, quando seu conteúdo em álcool igual ou superior a 0,5% em volume, devendo obrigatoriamente constar no rótulo o percentual de álcool em volume, sendo:

Cerveja de baixo teor alcoólico: a que tiver mais de 0,5 até 2,0% de álcool

Cerveja de médio teor alcoólico: a que tiver mais de 2 até 4,5% de álcool

Cerveja de alto teor alcoólico: a que tiver mais de 4,5 a 7% de álcool

4 - Quanto à fermentação:

a) De baixa fermentação

b) De alta fermentação

Tabela 5 - Relação dos diversos tipos de cerveja

CERVEJA	ORIGEM	COLORAÇÃO	TEOR ALCOOLICO	FERMENTAÇÃO
Pilsen	Alemanha	Clara	Médio	Baixa
Dortmunder	-	-	Médio	Baixa
Stout	Inglaterra	Escura	Alto	Geralmente Baixa
Porter	Inglaterra	Escura	Alto	Alta ou Baixa
Weissbier	Alemanha	Clara	Médio	Alta
Munchen	Alemanha	Escura	Médio	Baixa
Bock	Alemanha	Escura	Alto	Baixa
Malzbier	Alemanha	Escura	Alto	Baixa
Ale	Inglaterra	Clara	Médio ou alto	Alta
		Avermelhada		
Ice	Canadá	Clara	Alto	Baixa

Fonte: adaptado sindicerv, 2006

5 - Quanto à proporção de malte de cevada em:

a) Cerveja puro malte – aquela que possuir 100% de malte de cevada, em peso, sobre o extrato primitivo, como fonte de açúcares;

b) Cerveja – É a cerveja elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo contém um mínimo de 55% em peso de cevada malteada.

c) Cerveja com o nome do vegetal predominante – aquela que possuir proporção de malte de cevada maior do que 20% e menor do que 55%, em peso, sobre o extrato primitivo, como fonte de açúcares.

6- Tipos de cervejas.

Existem diferentes categorias de cerveja:

Ale: cerveja produzida pelo processo de “alta fermentação” (as leveduras se aglomeram e são levadas para o alto, ou topo durante a fermentação com a produção de CO₂), de coloração clara a avermelhada e teor de extrato em geral

maior que 12,5%;

Bock: termo alemão para cerveja forte possui alto teor alcoólico e coloração escura que pode ser proveniente da utilização de malte torrado ou adição de corante caramelo (INS 150c);

Draft: é o termo utilizado pelo processo de tirar cerveja de um barril utilizando bomba manual, ou pressurizador com CO₂, (como é retirado o chope do barril), entretanto as cervejas que levam este título, são fabricadas através do processo de baixa fermentação, e utilização de lúpulo hidrogenado/reduzido, que permite a utilização de garrafas de cor clara;

Dunkel: “escuro” em alemão, cervejas que utilizam malte torrado e/ou adição de caramelo, podendo ser fabricadas tanto pelo processo de baixa quanto de alta fermentação;

Ice: a cerveja ice nasceu em 1993 no Canadá, é fabricada por meio do "ice process", depois de fermentada, sofre um resfriamento a temperaturas abaixo de zero, quando a água se transforma em finos cristais de gelo, no estágio seguinte, esses cristais são retirados e o que permanece é uma cerveja mais forte;

Lager: produzidas pelo processo de “baixa fermentação” (as leveduras formam flocos que permanecem na parte de baixo do tanque fermentador);

Lambic: também conhecidas como *fruit beer*, são feitas com frutas, passam por um processo de fermentação espontânea em barris, já com as frutas;

Malzbier: cerveja de coloração escura, originada na Alemanha, produzida pelo processo de baixa fermentação, característica pelo sabor adocicado pela adição de caramelo e sacarose;

Pale: cervejas de coloração clara, do amarelo passando pelo bronze ao cobre.

Pilsen: Cervejas claras, as mais consumidas no mercado brasileiro, de médio teor alcoólico, sabor amargo pronunciado;

Porter: de origem inglesa, coloração escura, cujo sabor amargo vem também da utilização de cevada não-malteada torrada;

Stout: cerveja de coloração quase negra, sabor tostado e seco, com pronunciado sabor amargo, são produzidas por alta fermentação;

Weissbier (cerveja de trigo): são produzidas pelo processo de alta fermentação, com maturação secundária em barris.

Cervejas com adjunto em sua composição são mais leves, atendendo melhor às necessidades do mercado consumidor brasileiro. Cada empresa define a proporção de malte e adjunto em seus produtos, conforme lhe convém, seguindo uma tendência mundial de aumento de adjuntos por parte das cervejarias. Entretanto, seu uso abusivo poderia resultar em cerveja pouco encorpada e com má qualidade de espuma (VENTURINI FILHO, 2000).

Tabela 6 - Características de alguns adjuntos amiláceos empregados na formulação de cervejas

Adjunto Amiláceo	Umidade (%)	Extrato (%)	Proteína (%)	Lipídeo (%)	Temp. de gomificação (°C)
Grits de milho	12	90	9,5	0,9	62-74
Grits de arroz	12	92	7,5	0,6	61-78
Flocos de milho	9	83	9,5	0,9	-

Fonte: Adaptado HOUGH (1985)

3.4 Definição e Caracterização química de Cerveja

Na Europa, o processo de fabricação de cervejas, segue os padrões estabelecidos pela Comunidade Européia baseados na Lei de Pureza da Baviera, ("Reinheitsgebot") estabelecida na Alemanha em 1516, na qual limita os fabricantes a apenas utilizarem para a fabricação de cervejas, água, malte, lúpulo e a levedura para fazer a fermentação. Em outros países, são utilizados diferentes tipos de fontes de açúcares vindos do arroz e do milho (chamados de adjuntos do malte), mistura de açúcares comercializada especialmente para este processo (alta maltose), enzimas, co-enzimas e outros aditivos a fim de diminuir os custos de fabricação da cerveja. Esses açúcares são necessários, pois após passarem pelo metabolismo das leveduras, são

transformados em álcoois e em outros compostos orgânicos responsáveis pelo aroma e sabor da cerveja.

No Brasil, quando uma cerveja é produzida sem a utilização dos adjuntos do malte, ela é considerada puro malte, sendo que toda fonte de açúcares, enzimas e coenzimas virão do próprio malte, fornecendo um produto de maior custo.

O lúpulo é responsável pelo sabor amargo da cerveja, conferido através dos α -ácidos. Além dos diferentes tipos de processo de fabricação, a composição mineral da água utilizada é relevante em todo o processo de fabricação da cerveja.

A quantidade de cálcio e magnésio, responsáveis pela dureza da água, pH, alcalinidade, entre outros, podem ser tratados se a água na fonte não possui os atributos ideais para o processo, no qual uma faixa de concentração para cada substância é considerada desejável na fabricação da cerveja.

Tabela 7 - Divisão dos constituintes da cerveja em várias categorias por tipo Químico

Substâncias	Concentração	N. de compostos	Fontes
Água	90 – 94 %	1	-
Álcool Etílico	2,5 - 5,0 %	1	Levedura, malte
Dióxido de Carbono	2,1 – 2,9 v/v	1	Levedura, malte
Outros alcoóis	0,1 – 0,3%	15	Malte, adjunto
Carboidratos	1,0 – 5,0 %	+/- 100	Levedura, malte
Sais Inorgânicos	0,5 – 0,8%	26	Água, Malte
Compostos Nitrogenados	0,26 – 0,45%	+/- 100	Levedura, malte
Ácidos Orgânicos	0,17 – 0,22%	+/- 200	Levedura, malte
Aldeídos	30 – 40 mgL ⁻¹	+/- 50	Levedura, lúpulo
Ésteres, Cetonas	0,03 – 0,06%	+/- 150	Levedura, malte
Compostos Sulfurados	2,0 – 3,0 mgL ⁻¹	41	Levedura, malte
Derivados do lúpulo	30 – 60 mgL ⁻¹	>100	Lúpulos
α- ácidos			
β- ácidos			
Compostos De Vitamina B	5,0 – 11,0 mgL ⁻¹	13	Levedura, malte

3.5 Fonte: **Adaptado, Araujo, 2005.** Matérias primas cervejeiras

3.5.1 Água

A água é a matéria-prima, mais importante para a fabricação de cerveja, pois a cerveja é constituída basicamente de água, assim sendo as suas características físicas e químicas serão de fundamental importância para se obter uma cerveja de boa qualidade na fabricação de cerveja a água obrigatoriamente tem de ser potável, podendo sofrer correções químicas de acordo com a sua composição.

A indústria cervejeira consome grandes volumes de água, por isto, é importante que a fonte utilizada possua água em abundância. Em média, uma indústria cervejeira ocupa 10L de água, para cada litro de cerveja produzido.

A sua importância é tanta que ela é um dos fatores decisivos na escolha do local para a instalação de uma cervejaria, pois para uma água que precisa de muitas correções requer um tratamento mais minucioso, o que irá resultar em um aumento no custo do produto final. Então é necessário que a fábrica esteja instalada próxima a uma fonte abundante de água de boa qualidade.

A composição da água em seus reservatórios naturais depende da natureza mineral de sua região. Em áreas onde as rochas são mais rígidas, a água não penetra profundamente e neste caso não será “dura”, ou seja, baixa concentração de sais dissolvidos. Por outro lado, em regiões que as rochas são mais permeáveis, como por exemplo, formações rochosas do tipo gipsita, a água penetra profundamente e dissolve vários minerais rumo aos reservatórios.

Toda a água requer alguma forma de tratamento antes de ser utilizada em uma cervejaria, não importando se ela provém de poços artesianos, rios, lagos ou mananciais. Sendo necessárias, antes de sua utilização, algumas análises químicas, como: cor, turbidez, dureza, pH, entre outras, para definir o tipo de tratamento a ser empregado .

Quando a água possui concentração alta de cálcio e/ou magnésio dissolvido, (> 150 mg/L CaCO_3) é chamada de “água dura”. Uma composição desejada de água para a fabricação de cerveja encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Especificações físico-químicas da água cervejeira

Parametro	Unidade	Especificação
Aparência	-	Límpida e clara
Sabor	-	Insípida
Odor	-	Inodora
pH	pH	8,5 – 8,0
Cor	(mg Pt/L)	0 – 5
Turbidez	NTU	Menor que 0,4
Matéria Organiza	(mg O ₂ cons/L)	0 – 0,8
Sólidos dissolvidos totais	Mg	50 – 150
Dureza Total	(mg CaCO ₃ /L)	18,0 – 79,0
Dureza temporária	(mg CaCO ₃ /L)	18,0 – 25,0
Dureza permanente	(mg CaCO ₃ /L)	0 – 54,0
Alcalinidade	(mg CaCO ₃ /L)	0,8 – 25,0
Sulfatos	(mg SO ₄ /L)	1 – 30
Cloretos		1 - 20
Nitratos	(mg NO ₂ /L)	Ausência
Nitritos	(mg NO ₂ /L)	Ausência
Sílica	(mg SiO ₂ /L)	1 – 15
Cálcio	(mg Ca ²⁺ /L)	5 – 22,0
Magnésio	(mg Mg ²⁺ /L)	1 – 6
Ferro	(mg Fe/L)	Ausência
Aluminio	(mg Al/L)	max. 0,05
Amoníaco	(mg N/L)	Ausência
CO ₂ livre	(mg CO ₂ /L)	0,5 - 5

Fonte: Adaptado, Araújo, 2005

Um controle sobre o pH da água é fundamental, pois um pH alcalino poderá ocasionar a dissolução de materiais existentes no malte e nas cascas, que são indesejáveis no processamento. O ideal é que se tenha uma relação ácida facilitando maior atividade enzimática, com um conseqüente aumento no rendimento de maltose, e um maior teor alcoólico. Em geral, o pH ideal da água para a fabricação de cerveja está

em torno de 6.5 a 7.0, mas o tipo de cerveja a ser produzido é que vai determinar qual o pH ideal.

Dependendo da origem da água, todas ou apenas algumas das seguintes operações são efetuadas na cervejaria:

- Aeração - oxidação: para remover odores;
- Clarificação: adição de produtos químicos para a aglomeração ou coagulação de material em suspensão, que será decantado ou filtrado;
- Filtração: remoção de sólidos em suspensão, filtrando-se sobre a areia;
- Cloração: para eliminação de microorganismos;
- Desmineralização: para a remoção de sais em águas que contenham alto teor de sais dissolvidos.

Figura 1 - Esquema de tratamento da água em cervejarias

Fonte: Adaptado, Cervesia, 2010

Dentre os íons necessários para o processo de fabricação da cerveja, o íon Cálcio desempenha um importante papel em diferentes etapas como, por exemplo, no

efeito acidificante que ele tem na mosturação. O mosto, possui alta concentração de fosfato derivado do malte, produzindo um efeito tampão e elevando o pH.

Os íons Cálcio formam o precipitado fosfato de cálcio liberando íons H⁺ na solução:

O pH mais baixo favorece a enzima β -amilase, a qual possui pH ótimo ao redor de 4,7. Um mosto produzido através de água ausente de cálcio possui pH entre 5,8 e 6,0 enquanto que um mosto produzido através de água tratada com cálcio possui pH entre 5,3 e 5,5.

Esta enzima promove a quebra do amido em maltose, tornando o mosto mais fermentável. Proteínas presentes no mosto formam precipitados com cálcio e liberam íons H⁺ em solução favorecendo um pH mais ácido que é propício para enzimas do tipo protease (presentes no malte e que possuem pH ótimo na faixa de 4,5 a 5,0) realizem a conversão de proteínas em estruturas menores denominadas de Amino Nitrogênio Livre (FAN).

Os compostos de Amino Nitrogênio Livre são utilizados pelas leveduras durante a fermentação para a produção de aminoácidos, sendo assim o aumento do nível de FAN no Mosto proporciona melhores condições para as leveduras durante a fermentação. Por outro lado, o excesso de proteínas é indesejável, dificultando as etapas de filtração e as proteínas de alto peso molecular também é susceptível a formação de turbidez na cerveja, diminuindo também o tempo de prateleira.

Outros papéis desempenhados pelo Cálcio são a precipitação de oxalato de cálcio, melhora da viscosidade para a filtração e outros processos que são favorecidos por um pH mais ácido. O íon Magnésio também pode disputar pelas reações de precipitação com fosfato, porém produzindo um sal mais solúvel. Este íon é importante para as leveduras, pois desempenha um papel de co-fator na produção de algumas enzimas durante a fermentação, assim como os íons Potássio.

Os íons sulfato e cloreto possuem uma correlação, pois são usados na razão de 2:1 respectivamente. O sulfato é importante para a produção dos aminoácidos cisteína e metionina. Algumas cepas de leveduras excretam sulfetos que podem ser reduzidos a dióxido de enxofre e sulfeto de hidrogênio que possuem odor mesmo a concentrações

de ppb. A presença de bactérias também pode causar a produção de várias substâncias derivadas de enxofre. Conforme descrito anteriormente, a concentração de sais depende das características minerais da região de origem da água, entretanto se a composição mineral não a desejável é realizado um tratamento para que sejam atingidas as condições ideais para o preparo da cerveja, como por exemplo, adição de cloreto de cálcio nos casos de níveis baixos deste íon ou tratamento por resinas de troca-iônica quando há excesso do mesmo.

3.5.2 Cevada

A cevada é uma gramínea pertencente ao gênero *Hordeum*, cujos grãos na espiga são alinhados em duas ou seis fileiras. Essa diferença não é apenas morfológica. A cevada de seis fileiras, quando comparada a de duas, apresenta menor teor de amido, maior riqueza protéica, seus grãos são menos uniformes e possuem cascas mais grossas. Portanto, a cevada de seis fileiras pode apresentar alguma dificuldade na produção de malte e na moagem dos grãos na cervejaria, menor rendimento na mosturação, mas, por outro lado, facilita a filtração do mosto e aceita maior proporção de adjunto na formulação da cerveja (VENTURINI FILHO, 2000).

A composição química dos cultivares cervejeiros segue estritos parâmetros de qualidade quanto a variedade, tamanho, conteúdo protéico e potencial de modificação. Devem, ainda, apresentar altos teores de amido para aumentar o rendimento da produção da bebida (BAMFORTH; BARCLAY, 1993).

A composição média do grão de cevada está apresentada no Tabela 9.

Tabela 9 - Composição média do grão de cevada

<i>Características</i>	<i>Cevada</i>
Massa do grão (mg)	32-36
Umidade (%)	10-14
Amido (%)	55-60
Açúcares (%)	0,5-1,0
Nitrogênio Total (%)	1,8-2,3
N _{solúvel} / N _{total} (%)	10-12
Poder diastático (° Lintner)	50-60
α-amilase (DU)	Traços

Fonte: Adaptado Curi R., 2006

No grão de cevada, o amido é constituído, em média, de 30% de amilose, que é uma fração solúvel em água e 70% de amilopectina, que é insolúvel (CEREDA, 1983).

Ambas as frações correspondem a carboidratos de peso molecular elevado. Por tratamento ácido ou pela ação de enzimas, os componentes do amido se hidrolisam lentamente, originando dextrina (mescla de polissacarídeos de baixo peso molecular), maltose e glicose (MORRISON; BOYD, 1990).

Na tabela 10 está apresentado à composição média do endosperma do grão de cevada.

Tabela 10 - Composição do endosperma do grão de cevada

<i>Componentes</i>	<i>Teores na matéria seca</i>
Amido	63,0-65,0
Sacarose	1,0-2,0
Outros açúcares	1,0
Hemicelulose	8,0-10,0
Lipídios	2,0-3,0
Proteínas	8,0-13,0
Cinzas	2,0-2,5
Outros	5,0-6,0

Fonte: Adaptado Curi R., 2006

As paredes do endosperma são fontes de beta-glucanos, polímeros que conferem viscosidade ao mosto e a cerveja, dificultando a sua filtração (VENTURINI FILHO, 2000).

Algumas cervejarias usam uma mistura de malte e cevada não maltada para fabricação de cerveja. Com menos de 30% de cevada, as enzimas do malte podem ser suficientes para degradar o amido e a proteína durante o processo de mosturação (HOUGH, 1985). MOLL (1995) menciona que cevada não maltada pode ser empregada para até 50% do malte total, mas normalmente não é utilizado mais do que 10 a 15%, já que, quantidades maiores podem contribuir com sabor de cereal, ligeiramente, desagradável na cerveja.

Quando se utiliza cevada para fabricação da cerveja, é necessário completar as enzimas existentes no malte com enzimas industriais de origem microbiana, tais como, β -glucanase e α -amilase (HOUGH, 1985).

STEWART (1995) cita que ao contrário de outros adjuntos, cevada não maltada contribui para retenção de espuma na cerveja por causa dos níveis de proteólise mais baixos. Ainda, segundo o autor, a utilização de cevada provoca diminuição na intensidade da cor do mosto e da cerveja. A cevada não maltada pode ser moída a seco ou com água.

Posteriormente, é misturada com malte e enzimas comerciais e então é submetida ao processo de mosturação (HOUGH, 1985).

3.5.3 Malte

O malte utilizado na indústria cervejeira é obtido a partir de cevadas de variedades selecionadas especificamente para essa finalidade. A cevada é uma planta da família das gramíneas – parente próximo do trigo – e sua cultura é efetuada em climas temperados.

No Brasil, é produzida em algumas partes do Rio Grande do Sul durante o inverno; na América do Sul, a Argentina é grande produtora. Após a colheita da safra no campo, os grãos (sementes) de cevada são armazenados em silos, sob condições controladas de temperatura e umidade, aguardando o envio para a maltaria – indústria que faz a transformação da cevada em malte. Este processo consiste, basicamente, em colocar o grão de cevada em condições favoráveis à germinação, deixar que ela ocorra, e interrompê-la tão logo o grão tenha iniciado o processo de criação de uma nova planta. Nessa fase, o amido do grão apresenta-se em cadeias menores que na cevada, o que o torna menos duro e mais solúvel, e, no interior do grão, formam-se enzimas que são fundamentais para o processo de fabricação de cerveja. A germinação é então interrompida por secagem a temperaturas controladas, de modo a reduzir o teor de umidade sem destruir as enzimas formadas, podendo-se então definir o malte como o grão de cevada que foi submetido a um processo de germinação controlada para desenvolver enzimas e modificar o amido, tornando-o mais macio e solúvel e consequentemente através dos diferentes tipos influenciando diretamente na formação do sabor, odor e corpo característicos da cerveja (VENTURINI FILHO, 2000).

HARDARDWICK (1995) cita que o malte usado para a fabricação das cervejas tipo Pilsen deve apresentar peso de 100 grãos em torno de 35,1 g, em base seca. Para Reinold (1995) o malte deve apresentar umidade entre 4 e 5%, extrato de no mínimo 80%, poder diastático mínimo de 350 WK (Windisch-Kolbach), pH entre 5,5 e 6,0, cor após fervura 6,0 a 7,5 EBC (European Brewery Convention), proteína total no máximo de 11,5% e nitrogênio solúvel de 610 a 800mg/100g. O malte deve, ainda, fornecer casca que será utilizada como auxiliar de filtração na clarificação do mosto (VENTURINI FILHO, 2000).

3.5.3.1 A estrutura do malte

O malte é o fornecedor dos açúcares, entre outras substâncias, necessários para o processo de fermentação. A concentração dos maltooligossacarídeos influencia o metabolismo das leveduras e conseqüentemente algumas características da cerveja, pois várias substâncias orgânicas voláteis são metabólitos produzidos durante a fermentação/maturação.

A Figura 2 ilustra os principais açúcares encontrados nos Malte.

Figura 2 - Estrutura dos açúcares do malte

Fonte: Adaptado Araújo, 2005

Outros carboidratos presentes no malte são os β -Glucanos. Sua alta concentração é indesejável, pois aumenta a viscosidade durante o processo de fabricação do mosto, dificultando e podendo provocar turbidez na cerveja devido à sua baixa solubilidade. A concentração de β -Glucanos deve ser diminuída durante o processo de malteamento, através da enzima β -Glucanase presente na cevada ou através da adição de enzimas para realizarem hidrólise, sem que haja prejuízo com a modificação das proteínas presentes.

3.5.4 Lúpulo

As flores femininas do lúpulo (*Humulus lupulus*) conferem sabor amargo e aroma característicos à cerveja (VENTURINI FILHO, 2000). As dosagens de lúpulo são de 1,5 a 4,5 g/L (ALMEIDA E SILVA, 2005), e ainda segundo o autor, proteínas, lipídios, celulose, açúcares e aminoácidos encontram-se em pequenas proporções

nesta matéria-prima, portanto, apenas os óleos essenciais, substâncias minerais, polifenóis e resinas são fundamentais no processo cervejeiro, apesar de serem altamente voláteis.

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma trepadeira perene, cujas flores fêmeas apresentam grande quantidade de resinas amargas e óleos essenciais, os quais conferem à cerveja o sabor amargo e o aroma que caracterizam a bebida. A quantidade e a espécie (variedade) de lúpulo utilizado são características para cada tipo de cerveja.

Trata-se de uma cultura dos climas frios do hemisfério norte, sendo os países do norte europeu e os Estados Unidos os grandes produtores. No Brasil não existem condições climáticas adequadas à produção de lúpulo.

As substâncias responsáveis pelo sabor amargo são os ácidos do lúpulo, α -ácido (humulona) e β -ácido (lupulona). Além desta característica, possuem atividade bacteriostática, inibindo o crescimento de bactérias Gram-positivas.

Figura 3 - Estrutura química do lúpulo

Fonte: Adaptado Araújo, 2005

Durante a fervura do mosto (Mosturação) ocorre a volatilização e oxidação de diversas substâncias oriundas do lúpulo, porém uma das reações mais importante é a isomerização térmica dos α -ácidos (humulona), formando os iso- α -ácidos

(isohumulonas), através de uma contração de anel do tipo aciloin. Cada humulona gera duas iso-humulonas (Figura-6): a *cis*-iso-humulona e a *trans*-iso-humulona, dependendo do arranjo espacial do álcool terciário no carbono C(4) e cadeia lateral prenil no carbono C(5). A razão *cis/trans* depende das condições de fervura do mosto, em geral é 70:30. A isomerização pode ser favorecida pelo pH alto e adição de Cálcio e Magnésio.

O processo de isomerização está ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Esquema químico processo de isomerização

Fonte: Adaptado Araújo, 2005

Os iso- α -ácidos são responsáveis pelo amargor e sua concentração em ppm, é um parâmetro de controle da cerveja, medido em unidades de amargor (UA-ppm). Os produtores de cerveja utilizam o lúpulo em pellets (pequenas quantidades prensadas na forma de pastilhas) ou podem utilizar extratos de lúpulo que possuem maior concentração dos ácidos do lúpulo, isomerizados, podendo ser utilizados em etapas seguintes à fervura do mosto.

3.5.4.1 Polifenóis

Os polifenóis de baixo peso molecular são antioxidantes naturais e contribuem em grande parte no poder redutor durante a mosturação, protegendo a cerveja contra a oxidação e melhorando a estabilidade do sabor. Esta classe de substâncias reage também com proteínas e peptídeos formando complexos insolúveis, contribuindo para a

estabilidade contra a turbidez da cerveja e estabilidade da espuma. Os polifenóis encontrados no lúpulo estão ilustrados na Figura 5.

Figura 4 - Esquema químico processo de isomerização

Fonte: Adaptado Araújo, 2005

3.5.5 Adjuntos não maltados

Os adjuntos podem ser usados como matéria-prima alternativa, em substituição parcial do malte na produção de cerveja (VENTURINI FILHO, 2000). São vários os adjuntos que podem ser utilizados no processo cervejeiro, dentre os quais, os mais utilizados estão o milho, o arroz e o açúcar de cana. Destes, talvez o milho seja o principal deles, a partir do qual se produz o xarope de maltose (HMCS), considerado o adjunto mais utilizado pela indústria cervejeira nacional.

Os adjuntos podem ser definidos como produtos carboidratados não malteados de composição apropriada e propriedades que, benéficamente, complementam ou suplementam o malte na produção do mosto cervejeiro (ALMEIDA E SILVA, 2005).

Segundo Araújo (2005) adjuntos incluem os açúcares menores, amido, cereais, raízes e tubérculos. Contêm os elementos químicos: carbono, hidrogênio e oxigênio e utilizam-se estes complementos pelos seguintes motivos:

- produção de cervejas mais leves que as produzidas com malte puro;
- melhoramento da estabilidade coloidal, evitando a floculação e turvação;
- diminuição de custos.

O poder amilolítico do malte é que determina a quantidade de adjunto a ser utilizado na formulação da cerveja (VENTURINI FILHO, 1993). Qualquer planta que contenha amido, teoricamente, pode ser utilizada como complemento. No caso dos cereais, que não devem ser malteados, é preciso considerar, principalmente, o valor econômico, a disponibilidade e o teor de amido (KUIPER et al., 2001).

Segundo PERPETE e COLLIN (2000) cereais não malteados podem substituir o correspondente a 50% do peso de malte de cevada e para que ocorra uma perfeita hidrólise do amido desses adjuntos é necessário gelatinizá-los, previamente, para expô-los ao ataque das enzimas do malte. Para formulações com mais de 50% de adjunto amiláceo é necessária a utilização conjunta de enzimas industriais para complementar as já existentes no malte. Para HOUGH (1985), a quantidade de adjunto amiláceo a ser utilizada na formulação depende, também, do processo de mosturação empregado na fabricação da cerveja. BRADEE (1977) e HOUGH (1985) citam que os adjuntos são utilizados na fabricação de cerveja por razões econômicas, proporcionando extrato com menor custo, quando comparado ao malte.

Essa vantagem é limitada pela quantidade do adjunto a ser utilizado (BRADEE, 1977). Segundo esse autor, o limite máximo de uso é determinado pela capacidade do malte utilizado fornecer nutrientes em quantidade suficiente para a levedura e para obtenção do sabor desejado da cerveja.

O adjunto, quando utilizado em excesso, pode causar alguns problemas, tais como, mosto com baixo teor de nitrogênio, prejudicando o metabolismo da levedura; elevada viscosidade, retardando a filtração; e cerveja “aguada” e com baixa qualidade de espuma (BRADEE, 1977).

Os adjuntos são classificados em amiláceos e açucarados, conforme o tipo de carboidrato que predomina em sua composição. Os exemplos mais comuns de adjuntos amiláceos são o arroz, o milho, a cevada, o trigo e o sorgo, enquanto que o xarope de maltose (oriundo principalmente de milho) é um exemplo de adjunto açucarado (VENTURINI FILHO, 2000).

A utilização dos adjuntos açucarados tem algumas vantagens, tais como, o controle da fermentabilidade do mosto, diminuição do tempo de mosturação, aumento da produção, redução de custos na sala de brassagem, economia de espaço físico, mostos e cervejas mais uniformes e, em alguns casos, diminuição do tempo de fermentação (BRADEE, 1977).

O uso de adjunto melhora a estabilidade físico-química da cerveja, reduzindo a sua turvação (POLLOCK, 1979). É, também, responsável por conferir à cerveja cor mais clara, corpo mais leve, sabor e aroma mais “delicado”, uma vez que, com seu uso, ocorre redução das concentrações de sólidos solúveis do malte (HOUGH, 1985; LEWIS; YOUNG, 1995; VENTURINI FILHO, 2000).

A legislação dos diferentes países europeus, quanto ao emprego de adjuntos, pode ser dividido em três grupos:

- 1º grupo: Países em que é obrigatória a utilização de 100% de malte de cevada, devido à "Lei da Pureza" (exceto para a fabricação de cervejas de alta fermentação): Alemanha e Grécia;
- 2º grupo: Países com utilização limitada de adjuntos, variando de 25 a 40%: França, Bélgica e Itália;
- 3º grupo: Países com utilização ilimitada de adjuntos, por exemplo: Dinamarca, Irlanda, Grã-Bretanha.

Nos Estados Unidos, a utilização de adjuntos atinge, em certos casos até cerca de 50% da dosagem de matérias-primas na fabricação. No Brasil, a legislação não limita o percentual de arroz, griz de milho e xarope de milho. Limita, no entanto, o emprego de açúcar em cervejas claras, que deve ficar entre 10 e 15% em relação ao extrato primitivo e 50% no caso de cervejas escuras.

3.5.6 Levedura Cervejeira

A levedura é um dos quatro principais ingredientes constituintes da cerveja e, segundo alguns, talvez o mais importante. As leveduras são microorganismos unicelulares, biologicamente classificados como fungos e que têm uma excelente capacidade natural que consiste em sobreviverem sem oxigênio.

De fato, na presença do ar, os microorganismos multiplicam-se, mas, na ausência de oxigênio, fermentam os açúcares transformando-os em álcool, algo que é essencial para se produzir cerveja. Existem centenas de variedades de leveduras sendo que, habitualmente, se dividem em dois grandes grupos: as leveduras de fermentação alta (*Saccharomyces cerevisiae*, típicas das Ale) e as leveduras de fermentação baixa (*Saccharomyces uvarum*, antes conhecidas por *Saccharomyces carlsbergensis*, típicas das Lager).

As leveduras de fermentação alta adquiriram este nome por dois motivos: primeiro porque fermentam a alta temperatura, geralmente entre 12° e 26°, consoante a estirpe; em segundo lugar, porque as células de levedura tendem a subir à superfície durante o processo de fermentação, criando flocos. Neste caso, a fermentação dá-se em poucos dias ou até duas semanas, sendo que as cervejas produzidas segundo este método são tendencialmente mais alcoólicas e conservam-se por mais tempo. Estas leveduras são utilizadas para elaborar estilos tão diferentes como as Porter, Altbier, Kolsch e Stouts.

Relativamente às leveduras de fermentação baixa, demoram cerca de um mês a fermentar e fazem-no a temperaturas mais baixas, que variam entre os 7° e os 15°. Logicamente, a estas temperaturas as leveduras desenvolvem-se de uma forma mais lenta e tendem a repousar no fundo do local onde se está a proceder à fermentação

Há ainda uma terceira forma de fermentação, chamada fermentação espontânea, característica das cervejas Lambic. Neste caso, a cerveja encontra-se exposta aos elementos naturais, por forma a ser fermentada pelas bactérias e leveduras selvagens que existem no ar. Esta técnica é tradicional da Bélgica, mais propriamente da área da Flandres Ocidental, local onde esse tipo de leveduras (*Brettanomyces Lambicus*) crescem naturalmente

Finalmente, há que destacar que a levedura não serve apenas fermentar a cerveja e transformar os açúcares em álcool e dióxido de carbono. Para além do malte, lúpulo e outros ingredientes que se podem utilizar para dar determinadas propriedades à cerveja, a levedura ajuda também a definir o seu carácter e sabor.

De fato, as leveduras podem apresentar aspectos florais, frutados ou minerais, indicados para diferentes estilos de cerveja. Estes sabores são também produtos da fermentação sendo que, se em muitos casos são desejados, outros há que são de evitar, como sejam os exemplos do diacetil (aroma e paladar que lembra a manteiga), oxidado (cartão/papel), clorofenol (cloro/plástico/medicinal) ou solvente (tipo acetona) (CERVEJASDOMUNDO, 2010)

3.6 Adjuntos de Fabricação

▪ Antioxidantes

Tem como função evitar a ação do oxigênio, que é o principal fator da deterioração das gorduras dos alimentos. Quando sofrem transformações, essas gorduras acabam por alterar o sabor e odor dos alimentos, tornando-os impróprios para o consumo.

▪ Estabilizantes

Mantém as características físicas das emulsões e suspensões, isto é, misturas como a bebida alcoólica. São adicionados às cervejas com a finalidade de aumentar sua viscosidade.

▪ Acidulantes

Atuam como adjunto de aroma e sabor, são largamente encontrados na natureza, sendo disponíveis comercialmente na forma de soluções aquosas que são incolores, inodoras, viscosas e não voláteis.

São geralmente produzidos pela fermentação de sacarose altamente refinada.

Por ser um componente largamente distribuído na natureza, e um dos primeiros agentes acidificantes a ser utilizados no processamento de alimentos, o ácido láctico é utilizado na indústria cervejeira. Este componente também auxilia no ajuste do pH, obtendo rendimento máximo no extrato e diminuindo o tempo de maceração e

favorecendo a precipitação das proteínas, melhorando a cor e auxiliando a filtração do mosto.

O uso do ácido láctico é reconhecido como seguro e recomendado para alimentos e bebidas por instituições internacionais de grande prestígio como a FDA norte americana e o FAO/WHO da Organização das Nações Unidas.

▪ **Antiespumantes**

Atuam regulando a formação de espumas, principalmente durante a fervura.

3.6.1 PVPP

PVPP POLYVINYLPOLYPYRROLIDONE (PVPP)

O PVPP é um tipo do composto ligando insolúvel com elevação - peso molecular. PVPP pode com segurança ser usado nas bebidas e nas indústrias do setor de cervejeiro em consequência das seguintes características:

- Completamente insolúvel na cerveja (vinho vermelho e suco etc.)
- Melhora o tempo de armazenamento em contato com a cerveja (vinho vermelho, do suco etc.)
- Aplicável a todos tipos de cerveja (vinho vermelho, do suco etc.)
- Conserva o sabor característico da cerveja (vinho vermelho, do suco etc.), e não provoca desestabilidade na formação da espuma e do flavor ;

Durante a fermentação e a maturação da cerveja, formam-se também redes coloidais que podem precipitar, e ocasionar a turvação da cerveja engarrafada, durante o armazenamento a frio. Esses precipitados coloidais consistem de agregados de proteínas e polifenóis, extraídos do malte e do lúpulo. No processo de fabricação de cerveja, a maioria desses precipitados se forma durante a fase de maturação a frio. Os polifenóis e as proteínas remanescentes que poderiam levar a turvação do produto envasado, durante o armazenamento a frio, são normalmente removidos por tratamento com polivinilpolipirrolidona (PVPP) ou sílica hidrogel, antes ou após a filtração. Foi estabelecido, há muitos anos, que somente as chamadas “proteínas precursoras de turvação” são capazes de agregar-se aos polifenóis. A literatura disponível relaciona o elevado conteúdo de prolina dessas proteínas ao processo de formação de precipitado.

Na cerveja, as proteínas responsáveis pela turvação se originam, predominantemente, da fração de α -gliadina rica em prolina (hordeína) da cevada maltada. Substâncias polifenólicas tais como os flavonóides, estão presentes na maioria das plantas estando concentradas em suas sementes, pele ou casca do fruto e flores.

A associação de cadeias peptídicas ocorre simultaneamente via pontes com polifenóis e via associação de polifenóis entre si. Pode-se esperar que tais redes precipitem, turvando a cerveja, em condições de baixa temperatura (EDENS *et al.*, 2006a). Segundo EDENS *et al.* (2006b), entre várias opções disponíveis, o uso de adjuntos é a que, mais provavelmente, traz uma significativa contribuição para a redução do potencial de turvação a frio da cerveja.

As frações de proteínas presentes no milho e no arroz têm conteúdos relativamente baixos de prolina, diluindo o nível de proteínas formadoras de turvação, que são extraídas do malte. Entretanto, resfriar a cerveja a aproximadamente 0°C num tanque de maturação, adicionar PVPP e/ou sílica hidrogel e filtrar o precipitado da cerveja continua sendo o padrão industrial para prevenção da turvação a frio. Há algumas desvantagens no uso do PVPP. Estas incluem elevados custos operacionais, elevados custos de investimento, se o PVPP for regenerado, e uma redução do potencial antioxidante natural da cerveja, já que o PVPP se liga seletivamente aos polifenóis presentes (o PVPP se assemelha a poliprolina). Embora a sílica hidrogel tenha menor custo, sua capacidade de remoção do resíduo de proteínas formadoras de turvação é limitada, de modo que as cervejas clarificadas por este método devem apresentar estabilidade coloidal meramente marginal.

3.6.2 APG

Alginato de Propileno Glicol (PGA)

Alginato de Propileno Glicol é um tipo de alginato produzido mediante a esterificação do grupo carboxílico que se encontra no ácido algínico com o grupo do propileno glicol. Este alginato conta com características melhoradas, em especial em meios ácidos e salinos. Estes ésteres de ácido algínico foram desenvolvidos devido à alta dissolução do grupo carboxílico de todos os alginatos o que causa uma alta reatividade para trocas iônicas provocando gelificação não desejada ou precipitação

devido ao excesso de sal ou meio ácido traduzindo-se em restrições as suas aplicações (VOGLER, 2010)

- ***Propriedades da solução aquosa do PGA***

Dissolve-se em água fria e quente formando soluções viscosas.

A solução aquosa a 1% tem um pH 3-4

Possui uma grande afinidade com a água, mas poder formar grumos insolúveis e requer uma boa agitação ao dissolvê-lo.

- ***Propriedades antiácidas em solução aquosa do PGA***

O Alginato de Propileno Glicol apresenta uma viscosidade muito estável a pH 3-4 e é um efetivo agente espessante em bebidas acidificadas e estabilizante de emulsões.

- ***Propriedades antisalinas em solução aquosa do PGA.***

Uma alta concentração dos cátions monovalentes, como o NaCl, provoca a precipitação da molécula através do salting out (excesso de sal). Sem dúvida isso não ocorre com o PGA que é bem estável mesmo quando há um alto teor de eletrólitos inorgânicos.

O PGA não forma gel mesmo quando há coexistência dos cátions bivalentes e, portanto apresenta um rendimento muito estável como agente espessante, emulsificante e estabilizante de emulsão. (VOGLER, 2010)

- ***Propriedades estabilizantes de espumas e emulsões do PGA.***

PGA apresenta um alto rendimento como estabilizante de espuma por interagir com a água que se encontra entre as bolhas de ar e é amplamente aplicado em cervejas.

Também se destaca como emulsificante em sistemas óleo/água e água/óleo devido às propriedades emulsificantes do grupo propileno glicol e a formação de filmes com carga iônica negativa que farão com que as partículas de óleo se retraiam por repulsão eletrostática. Nesta aplicação destacam-se os molhos “Salad Dressing”.

3.6.3 Isótopos Estáveis

A palavra isótopo originou-se do grego (isso=igual, topos=lugar) e significa dizer que isótopos ocupam a mesma posição na tabela periódica dos elementos. Isótopos São átomos de um mesmo elemento com o mesmo número de prótons e diferente número

de massa, ou seja, apresentam propriedades químicas iguais e propriedades físicas diferentes. Isótopos estáveis são aqueles que não emitem radiação.

Isótopos estáveis de interesse biológico como o carbono hidrogênio oxigênio, nitrogênio e enxofre ocorrem naturalmente. Cada elemento apresenta um isótopo leve em geral mais abundante (^{12}C , ^1H , ^{16}O , ^{14}N , ^{32}S) e um ou mais isótopos pesados (^{13}C , ^2H , ^{17}O , ^{18}O , ^{13}N , ^{33}S , ^{34}S , ^{36}S).

A medida relativa, adimensional, é expressa na terminologia delta (δ), que compara o valor da razão de isótopos da amostra em relação a um padrão internacional pré estabelecido, através das equações 1 e 2:

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \right) * 1000 \quad (1)$$

$$\delta^{15}\text{N} = \left(\frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \right) * 1000 \quad (2)$$

Sendo:

$\delta^{13}\text{C}$ = terminologia simplificada do enriquecimento isotópico relativo da amostra em relação ao padrão internacional PDB ($\delta_{\text{‰}}^{13}\text{C}$, PDB) para o elemento carbono,

$\delta^{15}\text{N}$ = terminologia simplificada do enriquecimento isotópico relativo da amostra em relação ao padrão internacional nitrogênio atmosférico ($\delta_{\text{‰}}^{15}\text{N}$, N_2 atm) para o elemento nitrogênio,

R_{amostra} = razão isotópica de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ da amostra (adimensional),

$R_{\text{padrão}}$ = razão isotópica de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ do padrão (adimensional)

A variação da razão de isótopos estáveis de carbono $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ é medida com alta precisão através de espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS). O uso da espectrometria de massa de baixa resolução para a análise das variações naturais admite um desvio padrão de ordem 0,2% na mensuração de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ nas amostras e de 0,3% na mensuração de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. É necessário que a amostra seja transformada em sua forma gasosa a fim de realizarem as leituras, assim como o padrão de referencia. A forma gasosa mais comumente utilizada para a análise do carbono é o CO_2 e para o Nitrogênio é o N_2 .

Apesar da reprodutibilidade e exatidão das mensurações realizadas em IRMS, há restrições quanto ao manuseio e preparo das amostras, exigindo-se qualidade durante sua conversão em gás (combustão completa), a fim de prevenir o fracionamento do isotópico. Exatidão, limite de quantificação, linearidade faixa de trabalho e precisão são parâmetros que devem ser conhecidos num método quantitativo.

Na prática as amostras são analisadas utilizando-se uma referência de laboratório previamente calibrada por um dos padrões internacionais, que apresentam valores próximos a zero. Resultados positivos indicam que a amostra é mais pesada que o referido padrão e resultados negativos indicam que a amostra é mais leve.

O padrão internacional utilizado para determinação de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ é obtido a partir da formação *Pee Dee Belemnite* (PDB) da Carolina do Sul –EUA e o padrão internacional para nitrogênio é N_2 atmosférico.

- **Isótopos de carbono e os ciclos fotossintéticos**

Três grupos de plantas (C_3 , C_4 e CAM) assimilam de forma diferente o CO_2 atmosférico durante seus ciclos fotossintéticos. As duas principais vias bioquímicas para a fixação de carbono são as de plantas com o ciclo fotossintético de Calvin – Benson (denominado C_3) e de plantas com ciclo fotossintético de Hatch – Slack (denominado C_4). Essa denominação se deve em função dos produtos iniciais formados conterem 3 e 4 átomos de carbono, respectivamente. As plantas de interesse para o ramo cervejeiro são dos grupos C_3 e C_4 .

As plantas de ciclo fotossintético C3 absorvem o CO₂ atmosférico através dos estômatos presentes nas folhas, que é transferido para as células do mesófilo, onde ocorre a síntese orgânica. Este processo é conhecido como ciclo fotossintético de Calvin – Benson. Neste grupo de plantas, a enzima ribulose bifosfato carboxilase oxigenase, conhecida como Rubisco ou Rudpase catalisa a reação de redução do CO₂ para 3-fosfoglicerato (3 átomos de carbono). As plantas de ciclo fotossintético C3 apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ numa faixa de –32% a –22%, com média de 27%. A cevada, o arroz e o trigo usados na fabricação de cerveja são exemplos de plantas C3.

As plantas de ciclo fotossintético C4 absorvem o CO₂ através dos estômatos por difusão, que passa às células do mesófilo, onde é fixado na forma de HCO₃ conhecido como ciclo fotossintético de Hatch – Slack. Este composto reage com fosfoenol-piruvato (PEP), cuja reação é catalisada pela fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcarboxilase), formando oxalacetato, que reduzirá a ácido aspártico ou ácido málico - ambos com 4 átomos de carbono. A PEPcarboxilase discrimina menos ¹³CO₂, resultando em valores de $\delta^{13}\text{C}$ numa faixa de –17% a –9%, com média de –11%. O milho, a cana-de-açúcar e o sorgo são plantas do grupo C4.

As vias metabólicas das plantas desses ciclos fotossintéticos apresentam valores de composição isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) distintos entre si e que não se sobrepõem, possibilitando que esses valores sejam utilizados na determinação da fonte de carbono (VOGEL, 1993), diferindo também do valor apresentado pelo CO₂ atmosférico, que é de –7,5%. O sinal negativo indica que a amostra apresenta composição isotópica mais leve que o padrão. Como exemplo prático, pode-se distinguir o açúcar de cana – C4 – do açúcar de beterraba – C3.

- **Isótopos de nitrogênio**

É vital a participação do nitrogênio no metabolismo das plantas. Ele está presente em aminoácidos, proteínas, enzimas. As plantas apresentam rotas metabólicas distintas quanto ao aproveitamento das fontes de nitrogênio, disponível para absorção pelas plantas, nas formas de amônio e de nitrato. A incorporação do elemento à planta se dá por diferentes processos, que variam de acordo com a espécie, cultivar, presença de microrganismos fixadores de nitrogênio, ambiente e forma de

nutriente. O armazenamento de proteínas ou fontes nitrogenadas é realizado em diferentes níveis durante o desenvolvimento celular e regulado geneticamente. A proporção dos isótopos estáveis de nitrogênio ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) ocorre naturalmente a uma taxa de 1:272. Não há evidência de grandes variações nas taxas de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ nos reservatórios naturais de nitrogênio: ar, solo e água.

Diferenças na abundância natural de ^{15}N têm sido usadas para estimar a contribuição relativa de duas fontes para um produto comum. Portanto, o isótopo de nitrogênio torna-se um elemento importante na análise de produtos oriundos de duas matérias-primas com o mesmo ciclo fotossintético. Plantas com ciclo fotossintético C3 (arroz e soja) podem ser separadas, pois a razão isotópica do nitrogênio da soja é semelhante a do ar atmosférico, enquanto que a razão isotópica do arroz fica próxima a do nitrogênio presente no solo. A utilização do enriquecimento relativo ($\delta^{15}\text{N}$) tem aplicações limitadas em estudos de autenticidade de alimentos, haja vista que valores de $\delta^{15}\text{N}$ refletem o uso de fertilizantes sintéticos.

- **Fracionamento isotópico**

Fator de fracionamento isotópico pode ser interpretado como a variação das concentrações das várias espécies isotópicas participantes em diferentes regiões de um sistema sujeito a um determinado processo físico ou químico. O fracionamento isotópico ocorre em todo processo de síntese de carboidrato na planta, de fermentação alcoólica.

Apenas 1,1 % dos átomos de carbono encontrados na natureza, são do isótopo ^{13}C . Processos físicos, químicos e enzimáticos associados à fotossíntese contribuem para o fracionamento isotópico de carbono nas plantas, dentre os quais: a solubilidade do CO_2 em água, hidratação do CO_2 , difusão de CO_2 no ar, difusão de CO_2 em solução aquosa, hidratação espontânea do CO_2 , hidratação do CO_2 catalizado pela anidrase carbônica, carboxilação da PEP carboxilase ou da Rubisco.

Fatores ambientais (irradiação, déficit da pressão de vapor, umidade do solo, salinidade do solo, poluição do ar, altitude, concentração do CO_2 atmosférico) e biológicos (capacidade fotossintética, variação genética, competição, forma de crescimento, estado de desenvolvimento, tempo de cultivo) tem potencial para influenciar a composição isotópica de carbono nas plantas C₃ e C₄. Fracionamento

isotópico por processos ambientais e condições de concentração provavelmente ocorrem durante o crescimento normal da planta.

- **Diluição isotópica**

O princípio da diluição isotópica é baseado na suposição de que duas fontes que diferem em sua composição isotópica, quando uniformemente misturadas, resultam numa composição que reflete as quantidades relativas dessas fonte.

Quando houver somente duas fontes isotopicamente diferentes (exemplo: malte e milho ou malte e açúcar de cana, na elaboração da cerveja comercial), utiliza-se os isótopos estáveis de um único elemento químico. A mensuração quantitativa pode ser obtida pela equação 3, cujo valor de $\delta^{13}\text{C}$ do produto reflete a proporção de ^{13}C de cada fonte. Semelhante consideração é válida para o $\delta^{15}\text{N}$.

$$[\delta a * (A)] + [\delta b * (B)] = \delta P \quad (3)$$

Sendo que : δa e δb = enriquecimento relativo ($\delta^{13}\text{C}$) das fontes de carbono,

δP = enriquecimento relativo ($\delta^{13}\text{C}$) do produto formado,

A e B = proporções relativas das fontes (matérias-primas), para as quais $A + B = 1$.

- **Aplicações de isótopos estáveis em bebidas**

Nos últimos anos, as determinações das razões de isótopos estáveis de carbono, hidrogênio e oxigênio foram aplicados para elucidar vias bioquímicas e mecanismos de reações, além de elevar a importância no controle de autenticidade e origem de substâncias específicas, ingredientes ou o produto alimentício processado. A aplicabilidade desse método é uma ferramenta importante na determinação de adulteração e controle de qualidade de alimentos e bebidas.

O método de isótopos estáveis é reconhecido oficialmente por instituições como a European Commission for Normalization (ECN) e Association of Official Analytical Chemists (AOAC), como um procedimento com fundo científico para variações das razões isotópicas em substâncias naturais. Pelo fato de ser um método padronizado, podem-se conseguir valores de reprodutibilidade e repetibilidade inferiores a 1%.

O método de isótopos estáveis permite verificar a origem geográfica de sucos de frutas, vinhos, destilados e cervejas, e a autenticidade dessas bebidas. Valores de isótopos estáveis na matéria-prima são muito semelhantes aos respectivos valores do produto industrializado, sendo possível detectar adulteração fraudulenta de méis, xaropes, vinagres, etanol, destilados, cervejas, conhaques, óleos, compostos aromáticos, aditivos entre outros. A adição de açúcar líquido em sucos de frutas concentrados é uma adulteração que reduz o custo do produto, causando desvantagens para os produtores honestos; porém, normalmente não afeta a saúde do consumidor. Segundo Sleiman (2006), analisaram matérias-primas (cevada, malte, arroz e trigo) e cervejas procedentes de diversos países, e verificaram que algumas delas não contêm adjuntos, enquanto outras apresentaram milho (C_4) ou arroz (C_3) em sua composição. De acordo com o mesmo trabalho foram usados apenas o isótopo de carbono, por isso não puderam afirmar se havia presença do arroz nas cervejas analisadas; ou seja, quando eles fizeram referência à presença dessa matéria-prima, citaram-na de forma duvidosa: “arroz?”. Os autores também afirmaram que a cerveja descarbonatada possui valor de $\delta^{13}C$ aproximadamente 1,5 ‰ maior que a cerveja inalterada. Recolheram e analisaram o CO_2 resultante de cerveja fabricada com extrato de malte desidratado (C_3) e açúcar de milho (C_4), e afirmaram que a levedura metaboliza os açúcares do milho mais rapidamente que os açúcares provenientes do extrato de malte. Analisaram amostras de café, vinho, vodka e cerveja e compararam o $\delta^{13}C$ com o preço destas bebidas. Os autores utilizaram os isótopos estáveis do carbono para identificar a porcentagem de plantas de ciclo C_3 e C_4 dessas bebidas. Brooks et. al. (2002) analisaram matérias-primas e cervejas de diversos países. Eles afirmaram que a análise do $\delta^{13}C$ permite uma detecção acurada de carbono de plantas C_4 em cervejas, porém não podem detectar todos os adjuntos, como por exemplo, o arroz. Para a verificação do $\delta^{13}C$ da bebida, eles desidrataram-na a 60°C, e submeteram a fração de sólidos solúveis (não volátil) à análise. Os autores também afirmaram que as massas de carbono originárias de lúpulo e de fermento utilizados no processo de fabricação de cerveja são muito menores que as massas de carbono de malte e adjuntos presentes no mosto.

Em seu experimento, eles removeram o lúpulo do processo e separaram a levedura, haja vista que o valor de $\delta^{13}\text{C}$ do lúpulo e da levedura não apresentam importância quantitativa quando comparados ao malte.

Mostraram a possibilidade de se produzir cerveja a partir de malte de milho. Eles compararam esta bebida com marcas comerciais de cervejas, e embora tivessem obtido valores sensoriais inferiores, concluíram que houve boa aceitação.

O CIE utiliza-se da diferença isotópica na origem botânica do álcool (plantas C_3 versus plantas C_4) na identificação da adulteração de vinhos e fermentados nacionais. Essa metodologia foi adotada pelo MAPA para mensurar fraude em vinhos, vinagres de vinho, fermentados de maçã, fermentados de laranja, fermentados de cana e outros; também auxilia no controle de qualidade das matérias-primas e produtos das indústrias de vinagres e viti-vinícolas nacionais. O CIE é uma instituição credenciada pelo MAPA para proceder análises isotópicas e emitir laudos oficiais nos produtos citados.

. A determinação da razão de isotópica de carbono e nitrogênio foi realizada em matérias-primas utilizadas no processo de fabricação cervejeira, e demonstrou ser possível a diferenciação de matérias-primas de mesmo ciclo fotossintético (cevada e arroz, ambas C_3).

3.6.4 Goma Oenogum

Oenogum (Colloids Naturels International – CNI, Rouen, França), parece cumprir a mesma função do PVPP. Este produto, no entanto, ainda não é utilizado na produção de cerveja, mas sim na de vinho. Este produto é uma Goma Acácia, um colóide natural utilizado amplamente no mercado alimentício. Em vinhos este produto diminui eficientemente a adstringência, pois interage com taninos e polifenóis; inibe o turvamento que aparece em vinhos brancos após a precipitação das proteínas de baixo peso molecular; previne o depósito de compostos polifenólicos que normalmente se manifestam durante o envelhecimento de vinho tinto. Desta forma a goma *Oenogum* contribui para o desenvolvimento de vinhos tintos de qualidade superior, aumentando o *shelf life* de vinhos brancos e tintos jovens.

Este produto age criando uma película ao redor dos taninos e polifenóis, deixando-os “inativos”. Mesmo com esse efeito, a goma não afeta as características da bebida preservando as características da mesma.

A busca de produtos alternativos ao PVPP é de enorme interesse para a indústria cervejeira nacional, pois o PVPP é um produto importado de custo elevado. Por sua vez, o *Oenogum* pode ser adquirido por um preço mais acessível. Para comparação, o custo médio do PVPP é de US\$ 6/hL de cerveja, enquanto que o do *Oenogum*, caso se comprove sua eficiência, seria de aproximadamente US\$ 0,2/hL de cerveja. Considerando a produção nacional de 8,5 bilhões de litros de cerveja anualmente, a goma *Oenogum* poderia representar, teoricamente, uma economia anual de aproximadamente US\$ 490 milhões para o setor cervejeiro, o que representaria uma economia de 5,76 centavos de dólar por litro de cerveja produzida no Brasil.

Além de substituir o PVPP, a goma tem potencial para substituir outro produto, o “Alginato de Propileno Glicol” (APG), que é um produto retirado de algas. A função deste produto é estabilizar a espuma para cervejas com teor baixo de proteína (que recebem como uma parte da matéria prima adjuntos não maltados).

Dessa forma a espuma se mantém por mais tempo sobre a bebida, uma característica qualitativa muito importante para manter a bebida sem alteração no copo

até o ultimo gole dado pelo consumidor, e conseqüentemente de grande interesse pela indústria.

Por fim, a goma ainda pode aumentar a vida de prateleira (evita a formação de turbidez protéica na cerveja pronta), por impedir algumas reações que causam envelhecimento e alterariam características organolépticas da bebida.

3.7 Processo de produção de cerveja

Figura 6 - Fluxograma de processo genérico da produção de cerveja

Fonte: MELNIKOV G.,2007. (CETESB11, 2005).

3.7.1 Processo Clássico (Descontínuo)

O processo tradicional intermitente é o mais utilizado pelas indústrias e se emprega para fabricar cervejas pouco fermentadas. As dornas de fermentação são fechadas para evitar a perda de CO_2 e deve haver perfeito controle da temperatura através de serpentinas ou camisas de refrigeração.

O processo tradicional de cerveja tipo lager, predominante em todo o mundo nos dias atuais, pode ser resumido em poucas etapas, conforme descrito por VIRKAJARVI (2001).

Na primeira fase, denominada mosturação, o malte é moído e misturado com água. As enzimas presentes no próprio malte são então ativadas de acordo com um perfil de temperatura controlado, o qual permite hidrolisar o amido em mono, di, trissacarídeos, e dextrina e as proteínas em peptídeos e aminoácidos. Essa fase do processo necessita de um tempo de aproximadamente 2h para ser completada.

Após esse tempo, a fração insolúvel do malte (bagaço de malte) é removida por filtração, obtendo-se uma solução denominada mosto. A próxima etapa consiste na adição de lúpulo e cozimento do mosto durante 60 min para assegurar a assepsia necessária do meio, promover a precipitação de compostos (complexos formados com proteínas e polifenóis), solubilizar componentes do lúpulo, remover compostos responsáveis por sabores desagradáveis no produto final, inativar as enzimas presentes e permitir a obtenção da concentração desejada do extrato. Ao final do cozimento, o precipitado formado é removido e o mosto é resfriado até uma temperatura de fermentação, aerado e inoculado na linha de transferência para o fermentador.

A etapa inicial de fermentação do mosto, denominada fermentação primária ou principal é a fase de maior atividade metabólica de levedura durante a qual quase todo o extrato fermentescível é convertido em álcool e gás carbônico. Durante este período ocorrem também algumas reações que resultam na formação de subprodutos (ésteres, alcoóis superiores e outros) que exercem um importante efeito no sabor da cerveja. Em função das baixas temperaturas utilizadas (6 à 15°C) durante essa fase, a fermentação primária pode durar até dez dias. A etapa seguinte corresponde ao período de maturação da cerveja, onde a temperatura é reduzida normalmente à 0°C sendo mantida durante duas semanas. Caso haja presença de extrato fermentescível residual

na cerveja, esta continua a ser fermentado nessas condições, porém de forma mais lenta, sendo esse processo denominado fermentação secundária.

Os principais objetivos da maturação são a redução da concentração dos compostos de sabor indesejável na cerveja, a saturação do produto final CO₂ e a remoção dos componentes responsáveis pela turbidez (VENTURINI FILHO; CEREDA, 2001). Segundo os autores, após o processo esse processo a cerveja ainda não está pronta para o consumo e requer vários tratamentos antes de ser engarrafada como a adição de estabilizantes de espuma, filtração, clarificação e carbonatação.

Serão descritos detalhadamente nos itens a seguir as principais etapas de produção de cerveja.

3.7.2 Moagem do malte

Constitui um preparo para a mosturação e também tem influência significativa no rendimento da brassagem, isto é, a solubilização máxima do conteúdo do grão do malte. No Brasil, as indústrias cervejeiras preferem não utilizar malte de uma só procedência, mas sim uma mistura de diversos maltes com o objetivo de obter um mosto mais padronizado. Existem duas tecnologias básicas de moagem: a seca e a úmida. A moagem do malte não deve ser muito fina a ponto de tornar lenta a filtragem do mosto ou, ao contrário muito grossa, o que dificulta a hidrólise do amido.

3.7.3 Mosturação

O processo de preparação do mosto subdivide-se em: desintegração dos cereais ou matérias-primas; maceração e extração dos conteúdos dos grãos; separação dos materiais sólidos da fase líquida (filtração); aquecimento do mosto com o lúpulo (cocção), resfriamento do mosto e eliminação dos materiais que conferem turgidez ao produto.

A mosturação compreende a mistura do malte moído com a água, e a adição de seu complemento, caso necessário, e do caramelo, se a cerveja a ser processada for escura. O objetivo é promover a gomificação e posterior hidrólise do amido a açúcares. O pH e a temperatura interagem para controlar a degradação do amido e das proteínas. Pelo processo de mosturação, consegue-se obter a extração de 65% dos sólidos totais

do malte que em dissolução ou suspensão em água constituirão o mosto para a fermentação da cerveja. Quando o arroz ou o milho são utilizados como complemento são gomificados à parte em "cozinhadores", com adição de cerca de um terço do peso total de malte, a fim de diminuir a viscosidade da pasta e a seguir acrescentados ao mosto. Neste caso, são extraídos de 80 a 90% dos sólidos totais do complemento, que passarão a constituir o mosto.

A mosturação pode ser levada a efeito pelo processo de infusão (brassagem) ou por decocção. O processo de transformação das matérias-primas cervejeiras (água, malte, adjunto e lúpulo) em mosto denomina-se mosturação. O seu objetivo é recuperar, no mosto, a maior quantidade possível de extrato a partir do malte ou da mistura de malte e adjuntos (VENTURINI FILHO, 2000).

A ação das enzimas produz mosto com aproximadamente 70 a 80% de carboidratos fermentescíveis, entre eles, glicose, maltose e maltotriose (STEWART, 2000).

A maioria dos processos de mosturação pode ser classificada como de infusão (figura 1A) ou decocção (figura 1B), sendo que o segundo não é utilizado no Brasil. Nos países que utilizam adjunto amiláceo, como é o caso do Brasil, a mosturação por infusão é feita com o uso de dois tanques para a produção do mosto cervejeiro. No tanque denominado "cozedor de cereal", ocorre adição de uma pequena quantidade de malte moído em água (38-50°C), permanecendo em maceração por até 30 minutos. Em seguida adiciona-se o adjunto amiláceo sob agitação e eleva-se a temperatura da massa até a ebulição na taxa de 1°C por minuto. Durante a elevação da temperatura haverá a gomificação da fração amilácea do adjunto e, posteriormente, ocorrerá liquefação da goma, pela atuação da enzima alfa-amilase do malte.

Após o período de fervura, que varia de 5 a 45 minutos, essa mistura (adjunto/malte/água) é transferida para a tina de mosturação. Neste tanque, o malte moído é inicialmente adicionado em água (38-50°C) e deixado em maceração por até 30 minutos. Com o final da maceração, a mistura do adjunto é transferida do cozedor de cereal para a tina de mostura, onde se encontra a massa de malte, ocorrendo elevação da sua temperatura até 70°C à 73°C, na velocidade de 1°C por minuto.

A velocidade de elevação da temperatura bem como o seu valor final (temperatura de sacarificação ou conversão), determinam a proporção de maltose e dextrina no mosto. Quando se usa adjunto açucarado, a fase do cozedor de cereal é suprimida, sendo que esse adjunto entra no processo durante a fervura do mosto (VENTURINI FILHO, 2000).

No processo por decocção de três fervuras, o malte moído é misturado com água quente no interior de um tanque chamado “mosturador”, permanecendo em repouso a 40°C por 2 horas, para que ocorra a ativação das enzimas do malte. Ao final da primeira hora um terço da mistura é enviada para uma caldeira, onde será fervida por 30 minutos. O material fervido retorna ao mosturador elevando a temperatura da mistura para 52-54°C, ótima para a atividade das enzimas proteolíticas. Após um breve período nessa temperatura, repete-se a operação por mais duas vezes, fazendo a temperatura da mistura atingir 65°C, ótima para a atividade das amilases, e 73-76°C, ótima para a filtração do mosto (VENTURINI FILHO, 2000).

3.7.4 Brassagem

É o método tradicional e também o mais simples. Têm por objetivo a solubilizar a maior quantidade possível de matérias hidrossolúveis do malte e dos adjuntos de fabricação empregados, o que se denomina extrato.

Em um tanque são misturados malte moído e água aquecida de 38 a 50°C, de modo a formar uma pasta homogênea; a temperatura é elevada gradualmente, cerca de 1°C por minuto, mas mantida abaixo da ebulição (de 65 a 70°C).

Vários fatores influenciam a qualidade e o rendimento da brassagem e, dentre eles, se destacam a qualidade do malte e dos adjuntos utilizados; a composição química da água utilizada; a relação água/quantidade de matéria sólida; o diagrama de tempos/temperaturas nas caldeiras de mostura e de adjuntos.

O método de brassagem deve ser adaptado ao tipo de mosto e conseqüentemente de cerveja que se deseja fabricar, às matérias-primas utilizadas e ao tipo de equipamentos da sala de brassagem.

3.7.5 Decocção

É o processo mais utilizado para a fermentação baixa de mosto que não deve sofrer alterações muito drásticas ou de teor elevado de proteínas. Por este método a mistura é realizada a baixa temperatura, cerca de 40°C, e em seguida o mosto é aquecido por etapas até que alcance a temperatura final ao redor de 75°C.

3.7.6 Filtração do mosto

Tem como objetivo a separação do bagaço de malte do mosto líquido, levando-se em conta os aspectos qualitativos (mosto límpido, com baixa turgidez) e econômicos, ou seja, obtenção do máximo de extrato e rapidez de operação.

O bagaço de malte, separado nesta operação, pode ser utilizado para a fabricação de ração animal ou, quando acrescido de outros componentes, como leveduras, depósitos proteicos e resíduos de cereais, utiliza-se na melhoria de alimentos para consumo humano por seu valor nutritivo e teor em fibras.

Atualmente se utilizam filtros de terra diatomácea, separadores centrífugos ou clarificadores e filtros prensa. No entanto ainda segue-se utilizando o algodão.

3.7.7 Fervura do mosto

A fervura do mosto a 100°C com o lúpulo estabiliza sua composição, inativando as amilases e proteases, por causar coagulação das proteínas, que se precipitam em flocos. O processo leva em torno de 2 horas. Outros efeitos da fervura no mosto são a aromatização, a concentração e a esterilização, além da caramelização de alguns açúcares. Também ocorrem diversas reações químicas entre os componentes do mosto, como a coagulação do tanino do lúpulo por reação com a proteína.

Muitas vezes, o lúpulo é acrescentado quando a fervura está no meio ou mesmo no final, outras vezes pode ser adicionado em parcelas durante o processamento. A razão é que os óleos essenciais responsáveis pelo desenvolvimento do aroma são voláteis, podendo perder-se na fervura. Se o açúcar (xarope) é usado como complemento do malte, sua adição é feita no final da fervura.

3.7.8 Característica do mosto

Dos carboidratos do mosto, a grande maioria consiste em açúcares provenientes da hidrólise do amido e apenas de 3% de outros carboidratos, como xilose, arabinose, ribose, galactose, melibiose, etc. Destes, alguns são total ou parcialmente fermentescíveis, outros não. Segundo pesquisas recentes, dos carboidratos formados pela hidrólise do amido, apenas glicose, maltose e maltotriose são fermentados.

Os compostos nitrogenados têm particular importância na estabilização da cerveja e no estabelecimento de infecções. Do total de compostos nitrogenados do mosto, 50% consistem em peptídio (de dois a trinta aminoácidos) e proteínas de natureza complexa. Os complexos protéicos mais pesados, em geral, são responsáveis pelo sabor da cerveja, e os mais leves (de cinco a dez aminoácidos) podem ser metabolizados pela levedura ou por bactérias. Os complexos formados pelas proteínas do mosto e taninos do lúpulo podem precipitar-se durante a fervura, o que é desejável. Em alguns casos, porém, podem permanecer solúveis até que as condições de resfriamento provoquem sua precipitação.

Quando o mosto empregado contém excesso de proteína (malte com alto teor de nitrogênio), pode ser corrigido pelo uso de proteínas suplementares ou pelo uso de complementos do malte. Este complemento (cevada sem maltar, açúcar, xaropes de carboidratos, soja, fécula de mandioca ou batata) dilui a proteína do mosto proporcionando cervejas de cor mais clara, com teor mais baixo de proteínas, que saciam menos e conservam melhor.

Do total de lipídios do malte, de 1% a 2% passam para a cerveja acabada, influenciando em sua qualidade. Como a composição do mosto varia, dentro de certos limites, como o tipo e a espécie do malte utilizado e com os complementos empregados, e como esta variação pode afetar a qualidade do produto final, é necessário um perfeito controle de cada um dos ingredientes utilizados.

Depois da fervura como o lúpulo, o mosto é novamente filtrado, pelo fundo falso do recipiente, através dos resíduos do lúpulo, que retêm boa parte dos precipitados formados por proteínas e taninos resultantes do complexo constituído durante a fervura.

3.7.8.1 Tratamento do mosto

Tem por objetivo separar o material sólido em suspensão no mosto; resfriar até a temperatura correta (10°C) para o início da fermentação e aerar o mosto de maneira estéril e com um conteúdo correto de oxigênio. Esta fase da fabricação de cerveja é muito importante e delicada por suas conseqüências em todas as demais fases subseqüentes do processo. São particularmente importantes os aspectos microbiológicos envolvidos nesta operação.

3.7.9 Preparo do inóculo

A técnica de preparo do inóculo varia de caso para caso, compreendendo duas fases: a de laboratório e a industrial.

Na fase de laboratório, partindo-se de uma cultura pura, inocula-se um volume relativamente pequeno de meio nutriente, que é, em seguida, incubado em condições favoráveis ao desenvolvimento do microorganismo. A suspensão obtida é transferida para um volume maior de meio que é, por sua vez, adequadamente incubado e, a seguir, transferido para um frasco contendo um volume maior de meio; e assim por diante, até se conseguir alguns litros de suspensão microbiana.

A suspensão obtida em laboratório é então utilizada, já na fase industrial, para inocular um volume apropriado de meio, que é mantido em condições favoráveis ao crescimento de células, repetindo-se agora em maior escala, as transferências para volumes crescentes de meio nutriente, até se conseguir o volume de inóculo desejado.

Em fermentações alcoólicas, o inóculo é preparado no próprio fermentador a partir de microorganismo já produzido industrialmente (fermento prensado), ao invés de cultura pura; coloca-se, no fermentador, um volume relativamente pequeno de meio, ao qual se adiciona uma suspensão de fermento prensado; quando a fermentação do material se encontra em fase bastante intensa, adiciona-se mais meio e, assim por diante, até completar a dorna.

3.7.10 Fermentação da cerveja

É nesta etapa que acontece a biotransformação do mosto doce à bebida que conhecemos como cerveja. Sendo uma fase em que se depende da atuação de

organismos vivos, a fermentação corresponde, em termos de controle, a um ponto crucial do processamento de cerveja.

Na elaboração de uma boa cerveja, vários aspectos podem ser citados na fermentação, tais como a seleção de uma cepa de microrganismo, se a cerveja será de baixa ou de alta fermentação, concentração celular a ser utilizada para a fermentação, dados de crescimento e morte celular do microrganismo, tempo e como determinar o término da fermentação.

A descrição tradicional do processo de fermentação em cervejarias é a conversão processada pela levedura (fermento) de glicose, em etanol e gás carbônico, sob condições anaeróbicas. Esta conversão se dá com a liberação de calor.

Uma vez resfriado o mosto, introduz-se o fermento de modo a obter contagens de células viáveis entre 10^6 e 10^8 células/ml. A adição de levedura deve se realizar de maneira que as células se repartam uniformemente no substrato principal. Os carboidratos e o pH exercem sobre a levedura ação antifloculante. Na preparação do substrato ocorre à formação de espuma na superfície, esta é composta por substâncias que conferem turbidez e que contém proteína e resíduos de lúpulo.

A espuma deve ser retirada porque altera a qualidade da cerveja. Ao final de 12-18 horas a levedura se encontra na fase de crescimento exponencial. Simultaneamente começa a fermentação. O substrato é então bombeado para uma cuba de fermentação vazia. Durante o bombeamento, o oxigênio atmosférico entra em contato com o substrato e estimula a multiplicação da levedura e a fermentação.

Durante as primeiras 24 horas se forma na superfície do líquido uma camada de espuma branca composta por proteínas, taninos, resíduos de lúpulo e outras substâncias amargas que durante a fermentação flutuam na superfície, além de leveduras mortas. Ao final da fermentação se alisa a camada de espuma para diminuir a produção de CO_2 .

Do mosto que chega aos tanques são determinados o extrato aparente e a contagem microbiológica, por plaqueamento. Estas objetivando verificar se a linha de tubulações encontra-se contaminada.

Durante a fermentação ocorre um aumento de temperatura da cuba de fermentação. O calor gerado pode ser eliminado através de serpentinas ou camisas refrigerantes, pois são utilizadas temperaturas muito baixas, o que faz com que a fermentação seja prolongada, permitindo a formação dos compostos responsáveis pelo sabor e pelo aroma, assim como a estabilização da cerveja.

O fermento preparado é adicionado ao mosto e a mistura é enviada para dornas onde permanecem por 10 a 12 horas a 18 °C. É feita a transferência para as dornas de fermentação complementar onde os açúcares são quase totalmente metabolizados em álcool e gás carbônico. Uma operação que tem se tornado popular recentemente é a filtração do mosto frio, antes da colocação das leveduras. A operação elimina a necessidade desta transferência, provoca uma produção mais clara de leveduras e facilita a clarificação da cerveja após a fermentação, além de provocar uma desejável aeração adicional no mosto. Quando as dornas são fechadas, há possibilidade de captar o gás carbônico formado, que é lavado, armazenado e retorna à cerveja na fase de acabamento. Como as dornas fechadas são mais apropriadas para o uso de leveduras de fundo, estas também são as mais utilizadas. As variedades de leveduras de fundo mais utilizadas são: *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces carlbergensis* e *Saccharomyces monascensis*.

O processo de fermentação pode ser modificado conforme o tipo de cerveja a ser produzido, de fermentação superficial (alta) ou profunda (baixa).

O tipo de alta é usado para cerveja tipo Ale, Stout e Porter, e se caracteriza por permanecer no alto da cerveja após a primeira fermentação. Este tipo é pouco usado no Brasil. Já o fermento de baixa fermentação é usado para preparar cervejas normais tipo Lager e outros tipos continentais, e, após a primeira fermentação, deposita-se no fundo dos tanques.

3.7.11 Maturação da cerveja

Durante este período ocorre uma fermentação complementar lenta na cerveja 'verde', ocasionando modificações de aroma e sabor, além de alterações em seu sistema coloidal, proporcionando a clarificação por precipitação de proteínas, leveduras e sólidos solúveis. É nesta fase que podem ser adicionados os antioxidantes para

prevenir a ação de oxigênio residual. Durante o período de armazenamento são formados ésteres, dando origem a aroma e sabor que caracterizam a cerveja madura.

Pode-se dividir o processo de fermentação da cerveja em duas etapas distintas. A primeira, denominada fermentação primária, cobre a fase de grande atividade metabólica da levedura, durante a qual quase todo extrato fermentável é convertido em etanol e gás carbônico. Essa fase dura apenas alguns dias. A segunda etapa, chamada fermentação secundária, diz respeito ao período de maturação da cerveja. Após a fermentação primária, o extrato fermentável residual da cerveja verde continua a ser lentamente fermentado. Mas o processo de maturação continua por um longo tempo, mesmo depois do término da fermentação secundária (Venturini Filho & Cereda, 2001).

Até algum tempo atrás a cerveja era fermentada em um tanque e maturada em outro. Atualmente há uma nítida tendência de as cervejarias realizarem a fermentação primária e secundária em um único tanque (Figura 1). Este, normalmente, é denominado “outdoor” ou unitanque (Venturini Filho & Cereda, 2001).

A utilização do processo de fermentação e maturação em dois tanques separados não é proibida, porém implica em maiores gastos com equipamentos e utilidades e menor aproveitamento do espaço disponível. Ademais do maior risco de contaminação e oxidação por causa da trasfega (Tschope, 2001). A maturação é conduzida a baixa temperatura, normalmente 0°C, por um período que varia de duas a quatro semanas. Mas em virtude dos custos envolvidos nessa fase, têm-se proposto a redução do tempo de maturação com a adoção de novas técnicas. Por exemplo, nos Estados Unidos há cervejarias que, terminada fermentação primária, com a cerveja “verde” apresentando um mínimo de diacetil e nenhum oxigênio dissolvido, maturam a cerveja a 2-4°C por 2 a 4 dias.

Outros processos envolvem o chamado “repouso do diacetil”. Após a fermentação primária a cerveja é mantida a 12-18°C por uma semana (repouso do diacetil) e em seguida armazenada a frio (próximo de 0°C) por mais outra. Esse método é semelhante ao antigo sistema britânico de armazenamento a “quente” seguido por outro a frio, para melhorar o paladar da bebida (Venturini Filho & Cereda, 2001).

Segundo MADRID *et al.* (1996) a cerveja verde oriunda do fermentador ainda tem um sabor grosseiro, por falta de maturação, e ainda contém açúcares que

fermentam durante o período de maturação ou armazenamento. Ao finalizar a fermentação, quando cessa a produção de CO₂, as leveduras começam a sedimentar e nestas condições não turbulentas, a clarificação se acelera com o frio.

Assim, a maturação tem por objetivo:

a) iniciar a clarificação da cerveja mediante a remoção, por sedimentação, das células de levedura, de material amorfo e de componentes que causam turbidez a frio na bebida;

b) saturar a cerveja com gás carbônico, através da fermentação secundária; c) melhorar o odor e sabor da bebida, através da redução da concentração de diacetil, acetaldeído e ácido sulfídrico, bem como o aumento do teor de éster;

d) manter a cerveja no estado reduzido, evitando que ocorram oxidações que comprometam sensorialmente a bebida (Almeida e Silva, 2005; Venturini Filho & Cereda, 2001).

3.7.11.1 Clarificação por sedimentação

Esta operação visa eliminar partículas em suspensão, principalmente células de fermento, bactérias e substâncias coloidais, deixando a bebida transparente, com maior estabilidade físico-química e brilhante. A filtração não altera a composição e o sabor da cerveja, mas é fundamental para garantir sua apresentação.

Os tipos de filtros mais utilizados pelas cervejarias são os de terra de diatomácea, que podem ser constituídos de folhas verticais ou horizontais (VENTURINI FILHO, 2000).

Já existem filtros de membrana que clarificam e esterilizam a cerveja, podendo inclusive substituir o processo de pasteurização (ALMEIDA E SILVA, 2005).

Quando cessa a fermentação primária, o volume é mantido em repouso por alguns dias para ocorrer a separação dos fermentos (leveduras) no tanque. Uma maneira de reduzir o tempo nesta etapa é separar o fermento por meio de uma separadora centrífuga. Normalmente, não se remove todo fermento, pois a cerveja verde, como é conhecida, não tem desenvolvido todo seu sabor, e ainda possui algum açúcar disponível para posterior fermentação (fermentação secundária).

Assim, este açúcar será fermentado durante a maturação por aquele fermento

residual (TORNIC, 1986). De acordo com VENTUTINI FILHO E CEREDA (2001), na maturação, para que ocorra a fermentação secundária (e os benefícios dela decorrentes) é necessário que a cerveja verde contenha um adequado nível de extrato fermentável (0,5-1,5 % m/m) e uma contagem de leveduras viáveis na faixa de 2 a 5.106 células/ml.

Nesse caso, a levedura deve apresentar apenas um moderado poder de floculação. Leveduras muito floculantes sedimentam rapidamente, permanecendo poucas células em suspensão na cerveja em maturação. O tipo de levedura normalmente define o método de maturação.

Durante a fermentação e a maturação da cerveja, formam-se também redes coloidais que podem precipitar, e ocasionar a turvação da cerveja engarrafada, durante o armazenamento a frio. Esses precipitados coloidais consistem de agregados de proteínas e polifenóis, extraídos do malte e do lúpulo. No processo de fabricação de cerveja, a maioria desses precipitados se forma durante a fase de maturação a frio. Os polifenóis e as proteínas remanescentes que poderiam levar a turvação do produto envasado, durante o armazenamento a frio, são normalmente removidos por tratamento com polivinilpolipirrolidona (PVPP) ou sílica hidrogel, antes ou após a filtração.

Foi estabelecido, há muitos anos, que somente as chamadas “proteínas precursoras de turvação” são capazes de agregar-se aos polifenóis. A literatura disponível relaciona o elevado conteúdo de prolina dessas proteínas ao processo de formação de precipitado. Na cerveja, as proteínas responsáveis pela turvação se originam, predominantemente, da fração de α -gliadina rica em prolina (hordeína) da cevada maltada.

Substâncias polifenólicas tais como os flavonóides, estão presentes na maioria das plantas estando concentradas em suas sementes, pele ou casca do fruto e flores. O mecanismo que leva à formação de redes de proteínas-polifenóis foi demonstrado por experimentos de difusão. Estudos observaram que, antes da dimerização e precipitação, os peptídeos ricos em prolina se tornam cada vez mais cobertos com polifenóis. Acima de certa carga de polifenóis, a associação dos polifenóis entre si pode conferir estabilidade aos complexos de proteína-polifenol.

Dessa forma, a associação de cadeias peptídicas ocorre simultaneamente via pontes com polifenóis e via associação de polifenóis entre si. Pode-se esperar que tais redes precipitem, turvando a cerveja, em condições de baixa temperatura (EDENS *et al.*, 2006a).

Segundo EDENS *et al.* (2006b), entre várias opções disponíveis, o uso de adjuntos é a que, mais provavelmente, traz uma significativa contribuição para a redução do potencial de turvação a frio da cerveja. As frações de proteínas presentes no milho e no arroz têm conteúdos relativamente baixos de prolina, diluindo o nível de proteínas formadoras de turvação, que são extraídas do malte.

Entretanto, resfriar a cerveja a aproximadamente 0°C num tanque de maturação, adicionar PVPP e/ou sílica hidrogel e filtrar o precipitado da cerveja continua sendo o padrão industrial para prevenção da turvação a frio. Há algumas desvantagens no uso do PVPP. Estas incluem elevados custos operacionais, elevados custos de investimento, se o PVPP for regenerado, e uma redução do potencial antioxidante natural da cerveja, já que o PVPP se liga seletivamente aos polifenóis presentes (o PVPP se assemelha a poliprolina).

Embora a sílica hidrogel tenha menor custo, sua capacidade de remoção do resíduo de proteínas formadoras de turvação é limitada, de modo que as cervejas clarificadas por este método devem apresentar estabilidade coloidal meramente marginal. Assim, estes pesquisadores desenvolveram uma solução enzimática capaz de aumentar a estabilidade coloidal da cerveja a partir do entendimento das reações químicas envolvidas no processo de turvação da cerveja, durante o armazenamento a frio. Eles sugerem a utilização da protease prolina-específica da DSM Beverage Enzymes, comercializada com o nome de “*Brewers Clarex*”.

3.7.11.2 Saturação com gás carbônico

A pressão tem como efeito saturar o meio gás, no caso da fermentação com CO₂. Isto tem como consequência, primeiramente, a redução da formação de alguns subprodutos como álcoois superiores; pode levar, também, à diminuição da velocidade da fermentação (consumo de extrato), por causa dos efeitos tóxicos deste gás sobre a levedura, ou ainda, a problemas de autólise da levedura, levando à diminuição da

qualidade da espuma, escurecimento e perda da qualidade microbiológica e físico-química da cerveja.

No geral, a pressão é utilizada quando já foram consumidos 85% dos açúcares disponíveis para a levedura e este residual será utilizado para a saturação gasosa do produto (TSCHOPE, 2001).

Segundo VENTURINI FILHO E CEREDA (2001), durante a fermentação secundária a cerveja é naturalmente carbonatada pelo gás carbônico produzido pela atividade da levedura e mediante uma contrapressão de CO₂ de 0,8-1,0 atm no tanque de maturação. Entretanto, dadas as dificuldades de controle da fermentação final e do nível de CO₂ no produto, as cervejarias normalmente optam por outros métodos de carbonatação.

Esses outros métodos de carbonatar cerveja são chamados de mecânicos. Nesses casos utiliza-se CO₂ comprado de empresas especializadas ou recuperado na própria cervejaria, a partir do gás carbônico produzido na fermentação da cerveja. Quando recuperado, o CO₂ deve ser desidratado, purificado com carvão ativo e liquefeito. Dentre as várias técnicas de carbonatação mecânica de cerveja, as mais conhecidas são a carbonatação em linha e a carbonatação em tanque.

Na carbonatação em linha, o gás carbônico é injetado durante a passagem da bebida por uma tubulação. Um difusor produz bolhas muito pequenas de CO₂ (10-100 µm), que são facilmente absorvidas pela cerveja. Normalmente, realiza-se a carbonatação em linha durante a transferência da cerveja filtrada para o tanque de armazenamento final (tanque de pressão).

Na carbonatação em tanque, o CO₂ é injetado na cerveja através de um difusor localizado no fundo de um tanque de armazenamento, até que se atinja uma determinada contrapressão. Seja qual for o método empregado, o nível de CO₂ na cerveja antes do envase deve estar entre 2,5 a 2,8 v/v.

3.7.11.3 Melhora do flavour da bebida

Na maturação do sabor da cerveja, três reações têm grande influência sobre este fator: a redução na concentração de ácido sulfídrico, de acetaldeído e de diacetil. Todos estes compostos são produtos do metabolismo da levedura podem ser minimizados

mediante a menor temperatura de fermentação, a seleção da levedura e a composição do mosto.

O sulfeto de hidrogênio, ácido sulfídrico ou gás sulfídrico (H_2S), possui odor repugnante, o que, aliado ao seu baixo limite de detecção sensorial (“threshold”), torna a sua presença nas bebidas indesejável.

Na fermentação da cerveja, o sulfeto de hidrogênio produzido pelas leveduras é removido durante a maturação (Carvalho *et al.*, 2007). O acetaldeído pode exceder o valor de detecção sensorial durante a fase ativa da fermentação (fermentação primária), mas normalmente é reduzido a etanol na fase de maturação. Entre os compostos carbonilados, acetaldeído e diacetil são os mais importantes. O diacetil é o composto chave na determinação das características organolépticas do produto final. Este composto determina um sabor de manteiga no produto final (Angelino, 1991).

A remoção de diacetil (2,3-butanodiona) e 2,3-pentanodiona, coletivamente denominados dicetonas vicinais, e de seus precursores, α -acetolactato e α -acetohidróxibutirato, respectivamente, é um dos principais objetivos da fermentação secundária da cerveja (Masschelein *et al.*, 1994).

Três passos estão envolvidos na formação e remoção de dicetonas vicinais: 1) síntese e excreção de α -acetohidróxiácidos pela levedura, 2) descarboxilação oxidativa de α -acetohidróxiácidos até as respectivas dicetonas, e 3) redução das dicetonas vicinais pela levedura (Masschelein *et al.*, 1994).

Embora ambos compostos (diacetil e 2,3-pentanodiona) sejam importantes no controle da maturação da cerveja, o diacetil é o composto que apresenta maior impacto no *flavour* do produto final (Carvalho *et al.*, 2007). De acordo com Linko *et al.* (1998), o limite de detecção sensorial do diacetil é de apenas 0,05 mg/L ou menos.

O controle eficiente da concentração de diacetil pode ser obtido de duas maneiras:

- a) prevenção da formação do precursor (α -acetolactato), ou
- b) aumento da taxa de descarboxilação química do precursor (Carvalho *et al.*, 2007). *Revista Analytica • Fevereiro/Março 2007 • Nº27 73*

A prevenção da formação do precursor α -acetolactato pode ser alcançada através de leveduras que contêm o gene que codifica a síntese da enzima α -

acetolactatodescarboxilase integrado a seu genoma. Desta forma, o excesso de α -acetolactato produzido através da via de biossíntese do aminoácido valina é convertido diretamente a acetoína pela enzima incorporada ao genoma da levedura (Linko *et al.*, 1998).

Estudos em escala piloto confirmam a possibilidade de uso desta estratégia (Kronlöf & Linko, 1992). Entretanto, a aplicação da tecnologia de DNA recombinante na cervejaria moderna pode ser retardada, ou até mesmo rejeitada, por regulações governamentais e/ou rejeição por parte do consumidor (Masschelein *et al.*, 1994).

A fase limitante na maturação da cerveja é a baixa taxa de conversão espontânea (não enzimática) de α -acetolactato em diacetil. Esta reação, como todas as reações, procede mais lentamente a baixas temperaturas, sendo limitada pela temperatura de maturação de 4°C (Linko *et al.*, 1998).

Backer & Kirsop (1973), foram os primeiros pesquisadores a reportar o emprego de tratamento térmico da cerveja e rápida conversão de precursores a dicetonas vicinais e remoção dos produtos formados por células imobilizadas. Este conceito é o fundamento através do qual, processos contínuos de fermentação secundária, são utilizados em escala industrial hoje em dia.

Após a fermentação principal, a levedura residual é removida por meio de uma centrífuga hermeticamente fechada, e a cerveja verde é aquecida a 90°C por 10 minutos utilizando-se trocadores de calor. Este tratamento térmico é suficiente para converter todo o α -acetolactato presente em diacetil e acetoína. Após resfriamento, o diacetil remanescente é então convertido em acetoína através de um sistema contínuo, operado em reator de leito empacotado, com células imobilizadas em DEAE celulose, um derivado granular da celulose. Um tempo de residência no reator de apenas duas horas é suficiente para completar a maturação da cerveja e alcançar níveis de diacetil inferiores ao limite de detecção sensorial (MASSECHELEIN *et al.*, 1994; LINKO *et al.*, 1998).

Deve-se ressaltar que não foram detectadas mudanças significativas nos espectros analíticos e sensoriais impostas por esta nova tecnologia de maturação, podendo-se citar como exemplo de aplicação industrial deste processo à produção de cerveja pela *Sinebrychoff Kerawa Brewery*, Finlândia (VIRKAJÄRVI, 2001).

É importante também saber que os álcoois superiores e ácidos graxos se formam durante a fermentação e não se modificam significativamente durante a maturação. O álcool amílico pode aumentar durante o repouso prolongado. Os ésteres aumentam na mesma proporção que se produz etanol.

Durante o período de maturação são formados ésteres dando origem a aroma e sabor que caracterizam a cerveja “madura”. Entre os ésteres formados, predominam o acetato de etila, acetato de isoamila, caproato de etila e caprilato de etila (CARVALHO *et al.*, 2007).

3.7.12 Filtração da cerveja

Partindo do Japão, as cervejas com os atributos “draftbeer” ou “cold filtered beer” conquistaram o mercado no próprio Japão e invadiram os estados Unidos e Canadá e o restante do mundo, inclusive o Brasil.

O sistema de filtração microbiológica substitui com vantagem os processos de pasteurização e flash-pasteurização da cerveja. O principal benefício do processo é que a estabilidade microbiológica da cerveja é garantida (seis meses de vida de prateleira), sem no entanto afetar a estabilidade organoléptica (aroma e paladar).

Os equipamentos utilizados para a pasteurização de túnel geralmente ocupam muito espaço, consomem energia elétrica, vapor, água e necessitam de manutenção constante.

Os benefícios ambientais que ocorrem por meio da mudança da pasteurização de túnel para a filtração esterilizante a frio são a economia de energia e água e a redução da quantidade de efluentes e quebra de vidro.

A filtração estéril da cerveja é definida como uma operação que produz cerveja estéril pronta para o envasamento. Vários tipos de filtro são apropriados para tal fim: filtro de placas, filtro de membrana, vela cerâmica, filtro de cartucho.

O tipo de filtro selecionado para a esterilização da cerveja vai depender da necessidade do cervejeiro e de parâmetros, como a vazão, facilidade de manutenção, limpeza e esterilização.

3.7.12.1 Exigências do sistema de filtração

Qualquer que seja o tipo de filtro utilizado, ele deve ser precedido por pelo menos um outro filtro que pode remover toda a carga coloidal, incluindo estabilizantes físico-químicos, e reduzir a concentração de leveduras, preferivelmente para próximo de zero.

Normalmente a carga de partículas em suspensão é removida com um filtro de terra diatomácea (kieselgur), seguido de um filtro de placas ou filtro de cartucho, que removerão o material residual suficientemente até se aproximar da especificação de turbidez antes do filtro esterilizante.

O filtro esterilizante funciona como a armadilha final para as leveduras e bactérias. Alguns filtros esterilizantes não são filtros absolutos. Por isso, o cervejeiro deve especificar a concentração máxima de microrganismos na cerveja microfiltrada. Como é possível que apenas uma bactéria nociva à cerveja presente na garrafa ou lata possa deteriorar a cerveja, há a necessidade de se equilibrar o risco de contaminação contra a praticidade do filtro e seu rendimento.

A coleta de amostras microbiológicas e uma metodologia adequada são necessárias para medir o cumprimento das especificações. Métodos rápidos de determinação microbiológica são de grande importância para reduzir a quantidade de produto aguardando a liberação para o empacotamento ou liberação para o mercado (a chamada “quarentena”).

Para determinar se o sistema de filtração atenderá às especificações microbiológicas, o cervejeiro deve medir a eficiência do sistema para a remoção de microrganismos da cerveja (também chamada de teste de integridade). Por exemplo, para uma carga específica de leveduras ou bactérias na cerveja, é medida a redução desta carga no filtrado de cerveja. Água ou cerveja são inoculados com uma concentração conhecida de bactérias que deterioram a cerveja. Sob condições fixas de filtração, o filtrado de cerveja é coletado e inoculado em meio de cultura (placa). A relação das unidades formadoras de colônia (UFC) antes da filtração e após a mesma, isto é, a mudança na carga microbiológica através do filtro, é chamado de valor de redução log e expresso como um logaritmo.

Por exemplo, uma relação de 1×10 elevado a 9 significa que o sistema tem um valor de redução log de 9. Um valor de redução log de 8-9 é requerido de um sistema de filtro para que ele seja útil como filtro esterilizante.

Resultados obtidos por filtração através de velas de membrana (um tipo de cartucho) demonstram a clara eficiência desse tipo de estabilização microbiológica:

- a retenção de Coccus foi de 100% e a redução de microrganismos alcançada foi de $5,59 \times 10$ elevado a 10;
- no caso de Lactobacillus (bastonetes), foram alcançadas retenções de 99,9999995% e redução de microrganismos da ordem de $2,18 \times 10$ elevado a 8.

3.7.12.2 Filtros esterilizantes

Meios filtrantes para a filtração estéril, especialmente placas e membranas, terão valores específicos de redução log que ajudarão o cervejeiro a otimizar o sistema. Os filtros devem ser testados com as bactérias apropriadas. Devem ser selecionadas bactérias nocivas à cerveja comuns à cervejaria, para se obter uma medida prática da integridade dos filtros.

Baseado no valor de redução log do sistema de filtro e nas especificações da cerveja filtrada, a cerveja a ser filtrada pode apresentar uma carga microbiológica maior do que a especificada para o filtro. Nesses casos, os procedimentos de sanitização a montante do processo devem ser obedecidos.

Não podemos esperar que um filtro esterilizante vá resolver todos os problemas relacionados às más práticas microbiológicas nos processos anteriores ao da filtração. No final, a adoção de uma postura em prol da limpeza e desinfecção com o intuito de produzir cerveja estéril é de extrema valia para a redução de problemas microbiológicos.

Nas cervejarias a filtração esterilizante já é utilizada para chope (de modo a aumentar a sua vida útil) e também para a cerveja enchida em latas. Sistemas para a filtração da cerveja antes do envasamento em garrafas já estão sendo utilizados.

Um fator muito importante para a filtração esterilizante é a boa filtrabilidade da cerveja. Sob boa filtrabilidade entende-se que a cerveja filtrada, armazenada nos tanques da adega de pressão deverá apresentar as seguintes características:

- estar livre de partículas de PVPP;
- contagem de células de levedura: $< 10/100$ ml;
- contagem de bactérias: $< 100/100$ ml;
- turbidez: $< 0,4$ EBC;
- conteúdo de beta-glucanos: < 100 mg/l;
- teste de iodo: $< 0,50$.

Cervejas com as características citadas podem apenas ser produzidas com matérias-primas selecionadas, alta segurança operacional da sala de brassagem (cozimento) até a filtração e um elevado nível de controle de qualidade (e padronização de processos).

Uma cerveja que não apresentar as características de qualidade citadas reduzirá o rendimento da filtração esterilizante.

Na figura 7 pode-se observar o exemplo de fluxograma da microfiltração da cerveja:

Figura 7 - Exemplo de fluxograma da microfiltração da cerveja

Fonte: Adaptado, Cervesia, 2010.

A microfiltração da cerveja é viabilizada através da utilização de elementos filtrantes, capazes de assegurar a retenção absoluta, que apresentam um tamanho de poros de 0,45 microns.

A cerveja proveniente do tanque de cerveja filtrada (tanque de pressão) é filtrada por meio de um filtro de profundidade (que é utilizado para a pré-filtração fina da cerveja, de modo a não sobrecarregar o filtro de membrana esterilizante) e filtro de membrana antes da enchedora, no envasamento.

Por razões microbiológicas, deve-se evitar a inserção de equipamentos desnecessários (visores de linha, manômetros etc) entre os filtros de membrana e a enchedora.

3.7.13 Pasteurização da cerveja

A finalidade da pasteurização é conferir estabilidade biológica mediante a destruição dos microorganismos que deterioram a cerveja (REINOLD, 1997).

A cerveja pode ser pasteurizada antes (*flash* pasteurização) ou depois (túnel de pasteurização) do seu envasamento (VENTURINI FILHO, 2000).

VENTURINI FILHO (2000) define, ainda, unidades de pasteurização (UP) como o efeito de morte microbiológica quando a cerveja é aquecida a 60°C por 1 minuto, sendo necessárias 15 a 20UP num pasteurizador de túnel e 40 a 60UP num *flash* pasteurizador. Para Reinold (1997) 13,7UP são necessárias para se atingir uma pasteurização eficiente.

3.7.14 Envasamento da cerveja

O chope, que é a cerveja não pasteurizada, pode ser armazenado em barris de madeira, alumínio e aço inoxidável e a cerveja, que é o chope pasteurizado, pode ser acondicionada em garrafas e latas (ALMEIDA E SILVA, 2005).

3.7.15 Sabor da cerveja

Diversos compostos voláteis contribuem com o sabor e odor das cervejas. A importância de cada um deles é determinada pela sua concentração sua interação com

outros constituintes, voláteis ou não, e de acordo com a concentração de determinado composto que possa ser perceptível ao consumidor (BAMFORTH, 2005). Cerca de 600 compostos voláteis já foram identificados em cervejas, porém os de maior destaque são os alcoóis superiores, ésteres (WILLAERT; NEDOVIC, 2006).

- **Análise de Compostos Orgânicos Voláteis em Cervejas**

A presença de determinadas faixas de concentração de álcoois como propanol, iso-butanol, álcool amílico, 2-feniletanol e ésteres como acetatos de etila, isoamila, fenil etila são importantes para as características de aroma e paladar da cerveja. As concentrações em quantidades fora das especificações podem indicar desvios que ocorreram durante o processo e conseqüentemente um produto de menor qualidade, como no caso do diacetil (2,3-butanodiona e 2,3-pentanodiona) que são produzidos e consumidos durante a fermentação e possuem aroma característico de manteiga. As dicetonas, como também são chamadas, possuem limite de detecção sensorial de 0,10 mg/L sendo que a concentração em cervejas é em geral menor que 0,05mg/L. Algumas cervejas possuem concentração maior como no caso das stouts (0,60 mg/L) e algumas cervejas produzidas em microcervejarias (1,0 mg/L). O mecanismo de formação da 2,3-butanodiona está associado a partir da derivação do piruvato, enquanto que a 2,3-pentanodiona deriva do acetohidroxi butirato e o aminoácido competidor é a leucina. A concentração pode chegar até 1,0 mg/L durante a fermentação (3o dia) e então vai reduzindo nos dias seguintes e durante a maturação, através de enzimas presentes na levedura.

- **Alcoóis superiores**

Durante a fermentação primária para produção de cerveja, os alcoóis superiores são formados pelas células de leveduras como subprodutos do processo e representam a principal fração dos compostos voláteis produzidos. De uma forma geral, os alcoóis superiores podem ser classificados em alifáticos (n- propanol, 2 metil-propanol ou isobutanol, 2 metil – butanol ou álcool amílico e 3 metil-1-butanol ou álcool isoamílico) e aromáticos (2 fenil-etanol, tirosol e triptofol). Dentre eles, os alcoóis superiores alifáticos são reponsáveis pelo sabor alcoólico da cerveja e produzem uma sensação de aquecimento na boca (WILLAERT; NEDOVIC, 2006).

A formação desses compostos por leveduras é complexa, dado que eles podem ser produzidos como subprodutos da degradação ou da biossíntese de aminoácidos através de rotas catabólicas e anabólicas, respectivamente.

Tabela 11 - Álcoois Superiores

Composto	Fórmula	Limiar de percepção do sabor (mg/L)	Descritores do sabor
n-propanol		700	Alcoólico
Isobutanol		100-200	Alcoólico
Álcool Amílico		65	Alcoólico, vinoso, banana, doce
Álcool Isoamílico		70	Alcoólico, vinoso, banana, iodofórmico
2-fenil-etanol		125	Rosas, perfumado

Fonte: Adaptado, MELNIKOV G.,2007.

• Óleos e Éster

Assim como os alcoóis superiores, os ésteres também são formados como subprodutos durante a fermentação primária para produção de cerveja. Dentre esses compostos, os mais comumente encontrados incluem: acetato de etila, acetato de isoamila, caproato de etila, caprilato de etila e 2-fenil-etil-acetato. Os ésteres constituem um importante grupo de compostos coláteis na cerveja, pois apresentam limiares de percepção relativamente baixos, podendo proporcionar um sabor final ou floras (ANGELINO, 1991). No entanto, a presença destes compostos na cerveja é desejável desde que em quantidades e proporções adequadas (WILLAERT; NEDOVIC,2006). No quadro 10 estão apresentados alguns dos ésteres mais importantes encontrados em cerveja e seus descritores de sabor.

Tabela 12 - Ésteres encontrados na cerveja

Composto	Fórmula	Limiar de percepção do sabor (mg/l)	Descritores do sabor
Acetato de etila		30	Solvente, doce
Acetato de Isoamila		1	Banana, solvente
Hexanoato de etila		0,2	Maça, Frutado, doce
Caprilato de etila		0,5	Maça, Frutas Tropicais, doce
2-fenil-etil- acetato		3	Rosas, mel, maça, doce.

Fonte: Adaptado, MELNIKOV G.,2007.

Os ésteres são formados por leveduras através de uma reação de condensação intracelular entre um acetil-CoA e um álcool, catalisada pela enzima álcool acetil-transferase (éster sintase) (VERSTREPEN *et al.*, 2003). Desta forma, o acetato de etila é o éster produzido em maiores quantidades durante a fermentação para produção de cerveja, pois o seu precursor (etanol) é o álcool mais comum presente no meio (STEWART; RUSSEL, 1998). A reação para a formação de acetato de etila a partir de etanol pode observar a seguir:

3.7.16 Espuma

Uma das primeiras características utilizadas na avaliação de uma cerveja é a qualidade da sua espuma. Pela sua capacidade de influenciar a decisão de compra dos consumidores é um fator muito importante para a indústria cervejeira.

A forma como uma cerveja é dispensada tem grande influência na formação de espuma. A manutenção da espuma formada, no entanto, depende essencialmente da presença de agentes promotores de espuma e da ausência de agentes com efeito nefasto para a mesma.

As proteínas originárias da cevada são o principal constituinte da cerveja capaz de estabilizar a sua espuma. Os seus níveis na cerveja são uma indicação da qualidade da espuma e dependem do tipo de cevada utilizado, da região e do país onde esta foi produzida.

A cerveja tem uma concentração peptídica de aproximadamente 500 mg/L. Enquanto que alguns dos polipeptídeos e proteínas, de massas moleculares compreendidas entre 10 e 40 kDa, não apresentam qualquer função na cerveja (exceto na contribuição nutricional e no “flavour”), outras são responsáveis pela formação de turvação coloidal e ainda outras (cerca de 25%) intervêm no processo de estabilização da espuma.

Os compostos azotados existentes na cerveja, resultantes da degradação das proteínas que ocorre durante as fases de maltagem e produção, são designados por polipeptídeos, restringindo-se o termo proteína para as moléculas que permanecem intactas.

Deste modo, alguns autores identificaram propriedades dos polipeptídeos e proteínas que têm impacto na formação e na estabilidade da espuma da cerveja.

Estes compostos apresentam diferentes pesos moleculares e hidrofobicidade. É geralmente quanto maior for a hidrofobicidade, maior é a estabilidade que conferem à espuma. No entanto, as propriedades destas moléculas que desempenham um papel importante na espuma da cerveja e as interações que elas estabelecem com outros compostos, especialmente os iso- α -ácidos derivados do lúpulo

Vários métodos analíticos são utilizados no estudo dos polipeptídeos e das proteínas com influência na qualidade da espuma da cerveja. Os mais utilizados, e que

apresentam maiores potencialidades, são os electroforéticos, cromatográficos e imunológicos.

Os polipeptídeos e as proteínas com influência na qualidade da espuma da cerveja têm diferentes origens, características e efeitos sobre a espuma, que são resumidos no Tabela 13.

Tabela 13 - Compostos presentes na espuma da cerveja

Composto	Origem	Características	Efeito na espuma
Proteína Z (antigénio 1)	Proteína Z da cevada (albumina)	Glicoproteína Peso molecular > cerca de 40000 Ponto isoelétrico: 501 -5,4 Termoestável/Resistente à proteólise Elevada Hidrofobicidade	Estabilização
LTP1	LTP1 da cevada (albumina)	Glicoproteína Peso molecular: cerca de 9700 Ponto isoelétrico: 9 Termoestável/ Resistente à proteólise	Formação
Hordeínas	Cevada	Proteínas de armazenamento Dividem-se em hordeínas A,B,C,D e γ Extraídas por misturas álcool/água ou soluções de detergentes. Algumas são termoestáveis	Estabilização moderada (inferior à das albuminas)
Fragmentos de hordeínas e gluteínas	Hordeínas e gluteínas	Diferentes papéis, promotores de espuma-ricos em cisteína, envolvidos a turvação-polipeptídeos com cerca de 15-32KDa, ricos em prolina, com influência positiva na espuma- polipeptidos com cerca de 8-18KDa	Alguns fragmentos: estabilização
Albuminas	Cevada	Extraídas por soluções aquosas, Maior capacidade de estabilização de espuma após desnaturação Resistentes à hidrólise por cisteína-proteases	Estabilização moderada (superior à das hordeínas)
Puroindolinas	Trigo	Capacidade de ligação aos lípidos livres em solução	Impedem a sua desestabilização

Fonte: Adaptado SILVA, et al., 2006 (Qumica nova, vol 6)

3.7.17 Prevenção das reações de oxidação

Conforme relatado por VENTURINI FILHO & CEREDA (2001), um dos objetivos da maturação, é manter a cerveja no estado reduzido, evitando que ocorram oxidações que comprometam sensorialmente a bebida. Como a maioria dos alimentos e bebidas, a cerveja não tem uma estabilidade ilimitada. As reações de oxidação parecem ser o principal mecanismo de deterioração do *flavour* da cerveja, e elas começam tão logo termina o processo de fermentação e se tenha perdido o efeito redutor natural das leveduras. Com o passar do tempo haverá desenvolvimento de compostos indesejáveis que estão presentes na cerveja fresca em níveis extremamente baixos ou como precursores. Além do fator tempo, a temperatura elevada também acelera as reações de oxidações, envelhecendo a bebida mais rapidamente.

Para desacelerar o envelhecimento da cerveja, a indústria deve:

- 1) usar matérias-primas de boa qualidade;
- 2) apresentar um processamento adequado;
- 3) utilizar antioxidantes, tais como sulfitos e ascorbatos;
- 4) reduzir ao máximo os traços de metais e a quantidade de ar na cerveja;
- 5) pasteurizar minimamente a cerveja;
- 6) armazenar a cerveja em temperatura baixa.

É muito importante também, diminuir o tempo entre o envase e o consumo. A cerveja, ao contrário das bebidas destiladas que necessitam de envelhecimento, deve ser tomada tão logo seja produzida.

3.7.18 Valor calórico da cerveja

Uma caloria é o calor trocado quando a massa de 1g de água passa de 14,5°C para 15,5°C. Quando o termo caloria é usado para se referir ao valor energético dos alimentos, isto significa a quantidade de calor necessária para elevar em 1oC a temperatura de 1 kg (equivalente a 1L) de água. O correto neste caso seria utilizar quilocaloria (kcal), porém o uso constante em nutrição fez com que se modificasse a

medida. Assim, quando se diz que uma pessoa precisa de 2.500 calorias, na verdade são 2.500.000 calorias que corresponde a 2.500 kcal.

Um *Joule* é o trabalho necessário para exercer a força de um *Newton* pela distância de um metro. Esta unidade é utilizada pelo Sistema Internacional de Medidas como unidade oficial para expressar as grandezas de trabalho, energia ou quantidade de calor.

Embora o valor energético ou calórico dos alimentos seja expresso em calorias, o *Joule* (J) é a medida utilizada pelo Sistema Internacional. Uma caloria corresponde a 4,1868J (QUEIROZ, 2005).

O valor energético da cerveja pode variar de 400 kcal/L (SINDICERV, 2006b) a 450 kcal/L (TSCHOPE, 2001). Já VANNUCHI et al. (2001) e ALMEIDA e SILVA (2005) citam valores aproximados de 420 e 430 kcal/L, respectivamente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

- Água: proveniente da rede pública, filtrada em filtros para retenção de sujidade e filtros de carvão ativo
- Malte de cevada: Pilsen, adquirido da AGROMALTE, em sacos de 50kg
- Adjunto não maltado: xarope de alta maltose de milho (MALTEGILL 45/82), gentilmente cedido pela CARGILL, em embalagens de 25 kg
- Lúpulo: tipo Hallertau Perle, na forma de péletes, adquirido da AGROMALTE, em embalagens de 5kg
- Levedura: Saflager W-34/70 (*Saccharomyces cerevisiae*), adquirida da AGROMALTE, em embalagens de 0,5kg
- Estabilizante coloidal *Oenogum*, gentilmente cedido pela FLOW CHEMICAL COMERCIAL, em embalagem de 50g
- Estabilizante coloidal *Polivinilpolipirrolidona* (POLYCLAR 10), gentilmente cedido pela WALLERSTEIN, em embalagem de 500g
- Estabilizante de espuma *Alginato de propileno glicol* (KELCOLOID O), gentilmente cedido pela WALLERSTEIN, em embalagem de 100g

4.2 Métodos

Foram produzidas cervejas denominadas como:

- ✓ **Tratamento 1:** cerveja produzida com malte e 35% de maltose de milho em xarope, nessa amostra não foram utilizados nenhum auxiliar de filtração e não foram utilizados estabilizantes de espuma.
- ✓ **Tratamento 2:** cerveja produzida com malte e 35% de maltose de milho em xarope, nessa amostra foi utilizado a adição da Goma Oenogum como auxiliar de filtração, ou seja, utilizou-se a goma antes da filtração.
- ✓ **Tratamento 3:** cerveja produzida com malte e 35% de maltose de milho em xarope, nessa amostra utilizou-se a Goma Oenogum como auxiliar de filtração, adicionando-se a mesma antes da filtração e nesse mesmo tratamento utilizou-se ainda a Goma Oenogum como estabilizante de espuma, adicionando-a depois da filtração.
- ✓ **Tratamento 4:** cerveja produzida com malte e 35% de maltose de milho em xarope, essa amostra foi produzida de acordo com os padrões comerciais, que apresenta a adição do *Polivinilpolipirrolidona (PVPP)* como auxiliar de filtração e *Alginato de propileno glicol (APG)* estabilizante de espuma.

4.3 Planejamento experimental

Tratamento 1: Produção das cervejas com adjunto não maltado

Tratamento 2: Produção das cervejas com adjunto não maltado

Tratamento 3: Produção das cervejas com adjunto não maltado

Tratamento 4: Produção de cerveja padrão comercial (com PVPP e APG em substituição à goma Oenogum)

Para comparação com os resultados de estabilização coloidal e de espuma obtidos com o uso da goma *Oenogum*, a cerveja produzida com malte e adjunto não maltado será também produzida com os estabilizantes usualmente utilizados pelas indústrias cervejeiras, a *Polivinilpolipirrolidona* e o *Alginato de propileno glicol*, em substituição à goma *Oenogum*. Os processos de produção desta cerveja seguirá as metodologias descritas nos itens acima, com exceção das etapas de maturação e de filtração, as quais seguirão o procedimento abaixo:

4.4 Análises

Análises de voláteis

As cervejas foram submetidas a análises cromatográficas de ésteres, acetona, aldeídos, álcoois superiores e metanol, utilizando um cromatógrafo gasoso CG-037, equipado com uma coluna empacotada PAAC 3334-CG e um detector de ionização de chama (FID). Como gás de arraste utiliza H_2 , com vazão de 30mL/min. A temperatura do injetor foi programada para 170°C. A programação da temperatura da coluna é isotérmica a 94°C. A temperatura do detector é programada para 225°C.

Análise de pH

A medição do pH foi realizada com o equipamento DMPH-1 Digimed – Tecnal 110V. Através de medida direta do líquido.

Análises Físico-químicas

As análises físico-químicas realizadas nas cervejas foram teor alcoólico, cor, acidez total (ASBC, 1958), estabilidade de espuma e amargor (De Clerk, 1958), turbidez (Pollock, 1981), polifenóis totais (Amerine & Ough, 1980),

Análise Isotópicas

As análises isotópicas foram gentilmente realizadas pelo laboratório de bioquímica do CENA-USP através do espectrofotômetro de massa (IRMS) (ThermoQuest Finnigan Matt Delta Plus). As amostras foram previamente destiladas no Laboratório de Açúcar e Alcool – USP, em Microdestilador TE – 012 Tecnal.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 14 pode-se observar os resultados isotópicos realizados em cada produção.

Tabela 14 - Resultados isotópicos da cerveja

Amostras	Relação C_4/C_3 (%)
Teste	29,4
Oenogum 10	38,2
Oenogum 10 + Oenogum 5	33,1
PVPP + APG	39,0

Ainda referentes aos resultados isotópicos apresentados na tabela 14, pode-se dizer que a relação C_4/C_3 , foi calculada com base na teoria apresentada acima e os resultados apresentados indicam que a proporção de açúcar derivados do malte de cevada e do xarope de glicose se mantiveram proporcionais em todas as cervejas produzidas, o que confirma a proporção almejada na receita com a utilização de 35% de xarope de maltose como fonte de açúcar.

Os resultados referentes as análises das cervejas produzidas nesse trabalho estão ilustradas na Tabela 15, onde pode-se observar também as análises estatísticas em negrito ao lado do resultado denominadas aqui por letras minúsculas em negrito.

Tabela 15 - Resultados das amostras produzidas

	<i>Teste</i>	<i>Oenogum (10)</i>	<i>Oenogum (10) + Oenogum (5)</i>	<i>PVPP (30) +APG(4)</i>
Grau Alcoólico real a 20°C v/v %	3,81 (a)	3,44 (b)	3,22 (c)	3,21 (c)
Alcoóis Superiores (mg/100ml)	6,92 (a)	5,09 (c)	6,03 (b)	5,19 (c)
Aldeídos em aldeído acético (mg/100ml)	1,77 (a)	0,57 (c)	1,03 (b)	0,84 (b, c)
Ésteres em acetato de etila (mg/100ml)	0,63 (a)	0,23 (b)	0,28 (b)	0,23 (b)
Álcool metílico (mg/100ml)	Nd	Nd	Nd	Nd
N-propanol (g/100ml)	2,29 (a)	1,53 (b, c)	1,70 (b)	1,24 (c)
I-butanol (mg/100ml)	0,24 (a)	0,25 (a)	0,29 (a)	0,27 (a)
I-amilico (mg/100ml)	4,39 (a)	3,31 (c)	4,04 (b)	3,68 (b, c)
Acidez total (gH ₂ SO ₄ /L)	1,43 (a)	1,15 (b)	0,79 (c)	0,66 (d)
Polifenóis Totais (mg ácido gálico/100ml)	27,12 (a)	21,44 (b)	20,46 (b)	20,80 (b)
Turbidez (NTU)	46,80 (a)	16,30 (b)	16,04 (b)	16,00 (b)
Cor (%T a 420 nm)	46,8 (c)	49,0 (b)	63,0 (a)	63,20 (a)
Acetona (mg/100mL álcool anidro)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
pH	4,43 (a)	4,52 (a)	4,55 (a)	4,49 (a,b)
Espuma (s)	99 (c)	151 (b)	156 (b)	171 (a)
Amargor (UA)	10,1 (a)	9,9 (a,b)	9,6 (b)	9,4 (b)

Letras diferentes nas linhas indicam diferença estatística significativa a 5% de probabilidade.

De acordo com as análise estatística dos resultados obtidos, pode-se observar que em relação ao teor alcoólico, ésteres, alcoóis superiores e pH, as cervejas não apresentaram diferenças significativas mantendo-se dentro de uma faixa esperada de atuação, sendo que o teor alcoólico das cervejas ficou dentro da faixa de 4,3 a 4,9% (v/v) citado por Compton (1978) para cervejas de baixa fermentação, não tendo havido

diferença significativa entre os tratamentos.

Os valores de pH estão dentro dos limites mencionados por Compton (1978)⁶, que variam de 3,8 a 4,7. A proximidade dos valores ao limite superior pode ser resultante da autólise de leveduras, que pode gerar um incremento no valor de pH, conforme descrito por Hardwick (1995)¹. A acidez total das cervejas se situou dentro dos valores de 0,09 a 0,15%, citados por Compton (1978). Para estes parâmetros não se observou diferença significativa entre os tratamentos.

Nos resultados referentes a acidez total pode-se observar que em todas as cervejas produzidas obteve-se um alto teor de acidez, sendo claramente explicado pela não utilização de insumos controlados de pH e acidez, pode –se ainda concluir que a utilização dos aditivos Oenogum, PVPP e APG podem ter contribuído para o controle da acidez na cerveja uma vez que a cerveja controle apresentou uma acidez expressamente elevada em relação as outras amostras.

Os polifenóis avaliados nas cervejas testadas não apresentaram valores significativamente diferentes entre si somente em relação a cerveja teste, isso pode ser explicado pela atuação de ambos aditivos testados, uma vez que um dos caminhos de atuação na estabilização da cerveja é no agrupamento com moléculas de polifenóis por diferença de cargas elétricas resultando na retirada (agregação) dos polifenóis da cerveja.

As análises de cor realizadas em todas as cervejas mostram que nas amostras em que foram adicionadas os insumos testados obteve-se um valor de cor diferente da obtida na cerveja teste. Esses resultados podem ter sido influenciado por alguns pontos enfoques tais como: tempo de repouso no Whirlpool, tempo de resfriamento , porém Stewart (1995), explica que com a utilização crescente de adjunto (xarope de alta maltose de milho) ocorre a redução na intensidade da cor nas cervejas, concordando com Stewart (1995), Venturini Filho (2000) também descreveu que o uso de adjuntos resulta em cervejas mais claras. A legislação brasileira classifica cervejas claras como sendo as que contêm até 20 unidades EBC. Portanto, as cervejas produzidas neste trabalho estão dentro desta classificação.

Hardwick (1995)⁷ cita que os adjuntos tendem a diminuir a concentração de proteínas, glicoproteínas, peptídeos e polifenóis, compostos responsáveis pela estabilidade da espuma da cerveja. As cervejas foram produzidas com xarope de alta maltose de milho portanto apresentaram menores concentrações de aldeídos, ésteres, álcool butílico e álcool isoamílico, e maior concentração de álcool propílico, devido a presença desse adjunto, conseqüentemente apresentaram valores de alcoóis superiores relativamente elavados

O modo de ação dos estabilizantes é por ligação aos complexos proteína-polifenol, que são os principais responsáveis pela turbidez em cervejas, coagulando-os e, conseqüentemente, formando flocos maiores que se depositam rapidamente no fundo do tanque de fermentação/maturação ou são removidos com mais eficiência durante o processo de filtração da cerveja.

Em relação ao amargor, não houve diferença significativa entre os tratamentos, que se mostraram dentro da faixa proposta por Compton (1978)⁶, que é de 10 a 23 UA.

A análise de turbidez nesse trabalho é de extrema importância, uma vez que a estabilidade e filtração podem ser diretamente avaliadas pelos resultados dessa análise, sendo assim através dos valores aqui obtidos pode-se dizer que a Goma Oenogum, o PVPP e APG foram essenciais para o controle da turbidez e a garantia de um valor baixo referente a essa análise, quando comparado com a cerveja teste que apresentou um valor de turbidez elevado. Porém ainda analisando esse valor de turbidez obtida na cerveja teste pode-se propor novas repetições na produção dessa mesma amostra uma vez que a mesma apresentou valores acima do esperado (fora da faixa) para uma cerveja sem a utilização de insumos para auxilio na filtração e estabilização da cerveja.

Observou-se também diferenças na influência dos estabilizantes nas características físico-químicas das cervejas. A goma *Oenogum* não afetou a cor e as concentrações de aldeídos e ésteres das cervejas. Já o PVPP + APG promoveram reduções nestes parâmetros das cervejas.

As cervejas não apresentaram acetona ou metanol em sua composição.

As análises sensoriais foram realizadas paralelamente por alunos e professores, os quais aprovaram tal cerveja e não comprovaram nenhuma modificação sensorial perceptiva aos degustadores envolvidos.

Vale a pena ressaltar na discussão desses resultados que esse projeto visou o teste de um insumo que possui um grande potencial de atuação na proposta do trabalho, pode se ainda num próximo momento visar a qualidade do produto em questões sensoriais, com a utilização de aditivos e coadjuvantes e ainda modificações no processo os quais garantam a integridade melhorada sensorial da cerveja.

O tempo de retenção (estabilidade) da espuma das cervejas produzidas nos tratamentos está dentro da faixa de 110 a 130 citada por Stewart (1995)⁸. Hough (1985)² relata que as glicoproteínas são os principais agentes de estabilização de espuma nas cervejas. Hardwick (1995)⁷ cita que os adjuntos tendem a diminuir a concentração de proteínas, glicoproteínas, peptídeos e polifenóis, compostos responsáveis pela estabilidade da espuma da cerveja.

.

6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos através das análises realizadas pode-se concluir que o trabalho atingiu seu objetivo principal de utilizar a Goma de Oenogum como estabilizante coloidal e de espuma em cerveja, sendo que obtido resultados satisfatórios com a utilização da mesma, pois diminuiu a concentração de compostos fenólicos totais e a turbidez das cervejas, e estabilização de espuma, pois aumentou o tempo de retenção da espuma nas cervejas.

Conclui-se ainda que devido a adaptação da cervejaria recém instalada, com equipamentos novos em manutenção e ao desafio encontrado no desenvolvimento de habilidades e procedimentos para a realização de um processo homogêneo que garantisse a não influencia externa nos resultados, se torna interessante e viável a continuação desse projeto para a maior repetição de resultados e novos desafios projetados com esse mesmo tema, para que se garanta através de mais resultados que a proposta inicialmente feita pode ser de extrema importância para as indústrias cervejeiras que buscam qualidade e alternativas para o custo do produto, uma vez que a Goma Oenogum se apresenta no mercado em um preço mais acessível em comparação aos insumos hoje utilizados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA E SILVA, J.B. **Cerveja**. In: VENTURINI FILHO, W.G. (Coord.). Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado. São Paulo: Edgard Blücher, 2005, cap. 15 p. 347-382.

AMERICAN SOCIETY OF BREWING CHEMISTS. **Methods of analysis of the American Society of Brewing Chemists**. Madison, 1958. 209p.

AMERINE, M.A.; OUGH, C.S. **Methods for analysis of musts and wines**. New York: John Wiley, 1980. 341p.

ANGELINO, S.A.G.F. Beer. In: MAARSE, H. **Volatile compounds in food and beverages**. New York: Marcel Dekker, 1991

ARAÚJO, A.S. **Análise e tipificação de diferentes amostras de cervejas através de espectrometria de massa por ionização eletrospray**, 2005.. Dissertação de (Mestrado – na área de) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

BAMFORTH, C.W. Beer. In: BAMFORTH, C.W. **Food, fermentation and micro-organisms**. Oxford: Blackell, 2005.

BAMFORTH, C.W.; BARCLAY, A.H.P. Malting technology and uses of malt. In: MACGREGOR, A.W.; BHATTY, R.S. **Barley-chemistry and technology**. St.Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1993. p.73-128.

BIAZON, C.L. **Utilização de adsorventes durante o processo de microextensão em fase sólida de *flavours* de cerveja**, 2008. Dissertação de (Mestrado em Química) - . Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2008.

BRADEE, L.H. Adjuntos. In: BRODERICK, H.M. (Dir.). **El cervecero en la practica**: um manual para la industria cervecera. 2.ed. Lima: Graficas SUR, 1977. cap. 4, p. 53-82.

CARVALHO, ? Elementos biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro: **Analytica**, Rio de Janeiro v?, n.27. Fev.Mar.2007.

CERVEJAS DO MUNDO, Disponível em:< <http://cervejasdomundo.com/Forum/>> acesso em:18 jan. 2010.

CERVEJAS, Disponível em: <<http://cervejas.com.br>> acesso em: 18 jan. 2010.

CURI R. **Produção de cervejas utilizando cevada como adjunto como adjunto de malte**. Tese de(Doutorado na área de) - Faculdade de Ciências Agrônômicas Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Campus de Botucatu. Botucatu, 2006.

DE CLERK, J. **A textbook of brewing**. London: Chapman & Hall, 1958. v. 2 650p.

EDENS, L.; van der LAN, J.M.; CRAIG, H.D. Turvação da cerveja a frio - mecanismos e prevenção por meio de proteases específicas para prolina – Parte I. **Engarrafador Moderno**, São Paulo, n. 147, p. 18-21, 2006a.

EDENS, L.; van der LAN, J.M.; CRAIG, H.D. Turvação da cerveja a frio - mecanismos e prevenção por meio de proteases específicas para prolina – Parte II. **Engarrafador Moderno**, São Paulo, n. 148, p. 44-50, 2006b.

EUROPEAN BREWERY CONVENTION. **Analytica – EBC**. 4th ed. Zurique: Brauerei und Getränke – Rundschau, 1987. 271p.

HARDWICK, W.A. **Handbook of brewing**. New York: Marcel Dekker, 1995. 714p.

HOUGH, J.S. **The biotechnology of malting and brewing**. Cambridge: Cambridge University Press, 1985. 159p.

KUIPER, S.; Filtration of lager beer with microsieves: flux, permeate haze and in-line microscope observations. **Journal of Membrane Science**, Amsterdam, v. 196, n. 2, p. 159-170, 2001.

LEWIS, M.J.; YOUNG, T.W. **Brewing**. London: Chapman & Hall, 1995. 260p.

LINKO Recent advances in the malting and brewing industry. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v.65, p-85-88, 1998.

MADRID, A. **Manual de Indústrias de Alimentos**. São Paulo: Varela, 1996. 599p.

MASSECHELEIN Immobilized cell technology in beer production. **CRC - Critical reviews in Biotechnology**, Boca Raton, v. 14, p-155-177, 1994.

MELNIKOV G.M.D, **Fermentação primária para produção de cervejas de altas densidades por processo contínuo utilizando leveduras imobilizadas em bagaço de malte**, 2007.p?????? Tese de (Doutorado na área de) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2007.

MOLL, M. **Beers and coolers**. New York: Marcel Dekker, 1995

OETTERER, M.; ALCARDE, A.R. **Tecnologia da fabricação de cerveja**. In: OETTERER, M. (Coord). Fundamentos da Ciência de Alimentos. São Paulo: Ed. Manole, 2006. cap. 2 p.51-98.

POLLOCK, J.R.A. **Brewing science**. London: Academic Press. 1981. v.2 666p.

PERPÈTE, P.; COLLIN, S. How to improve the enzymatic wort flavour reduction in a cold contact fermentation. **Food Chemistry**, London v. 70, n. 4, p. 457-462, 2000.

POLLOCK, J.R.A. **Brewing Science**. London: Academic Press. 1979. v.1 604p.

QUEIROZ, E.C. **Utilização dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio na detecção de adulteração e análise energética de bebidas de laranja**. 2005. 73p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu, 2005.

REINOLD, M.R. **A Cervejaria e o meio ambiente**. In: REINOLD, M.R. Manual prático de cervejaria. São Paulo: ADEN-Editora e Comunicações, 1997.

SINDICERV. Mercado cervejeiro segue acirrado. **Indústria de Bebidas**, São Paulo n. 19, p. 6–12, 2005b.

SLEIMAN, M. **Determinação do percentual de malte de cevada em cervejas tipo pilsen utilizando os isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$)**, Tese de (Doutorado na área de) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Campus de Botucatu, Botucatu . 2006.

TORNIC, H.E. Da cevada à bebida. **Revista Alimentos e Tecnologia**, São Paulo, n. 7, v. 1, p. 11-16, 1986.

TSCHOPE, E.C. **Microcervejarias e cervejarias: A historia, a arte e a tecnologia**. São Paulo: Editora Aden, Brasil, 2001. 223p.

VENTURINI FILHO, W.G. **Tecnologia de cerveja**. Jaboticabal: Funep, 2000. 83p.

VENTURINI FILHO, W.G.; CEREDA, M.P. Cerveja. In: ALMEIDA LIMA, U., AQUARONE, E., BORZANI, W., SCHMIDELL, W. **Biotecnologia Industrial local**: Edgar Blücher, 2001.) p. 91-144. (Biotecnologia na produção de alimentos ,4)

VIRKAJÄRVI, I. **Feasibility of continuous main fermentation of beer using immobilized yeast**, 2001. 137p. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Helsinki University of Technology, Helsinki, 2001.