

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

Influência da madeira de carvalho na qualidade da cerveja

Patricia Wyler

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

**Piracicaba
2013**

Patricia Wyler
Engenheira Agrônoma

Influência da madeira de carvalho na qualidade da cerveja
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

Piracicaba
2013

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

Wyler, Patricia

Influência da madeira de carvalho na qualidade da cerveja / Patricia Wyler. - -
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.
91 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Cerveja 2. Maturação 3. Barril 4. Cubos de carvalho 5. Análises químicas I. Título

CDD 663.42
W983i

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

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, Zilah e Alfred por todo amor e dedicação, ao meu marido Luís Ricardo pelo seu apoio, compreensão, paciência e amor, e ao meu filho Luís Otávio, a luz da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tornar possível mais essa etapa da minha vida.

Agradeço aos meus irmãos Rafael e Willian por sempre acreditarem que eu era capaz.

Agradeço ao Professor Dr. André Ricardo Alcarde a oportunidade, compreensão e infraestrutura disponibilizada.

Agradeço a Professora Sandra por sua ajuda, carinho, ensinamentos e orientação.

Agradeço as amigas Jennifer, Mayra, Valéria, Michele, Lúcia, June, Camila, Vivian e em especial a Renata Morelli as sugestões e conselhos, a todas pela amizade, atenção, carinho e por ouvirem minhas reclamações.

Agradeço aos amigos de pós-graduação, Luís Poletto por ter me ensinado a fazer cerveja, ao Arthur Paron e Gustavo pelo auxílio na execução do projeto, Diogo, Bruno, Leandro, Ellen e Iara por toda ajuda, e pelas horas divertidas que passamos juntos. Posso dizer que cresci muito nesse período graças a vocês.

Agradeço aos técnicos, Silvino, Rosemary e Pedrinho que me ajudaram na realização das análises e também a Luciana e a Aline pela ajuda com as análises de HPLC.

Agradeço também a Tania e ao Luiz todo carinho e apoio.

Agradeço aos colegas do curso de Sommelier de cerveja da ABS-SP os ensinamentos.

Não poderia deixar de agradecer às professoras do CCIN por cuidarem tão bem do meu filho enquanto eu realizava esse projeto.

Agradeço a ESALQ e ao Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição pela oportunidade, pela infraestrutura disponibilizada e por todo auxílio como aluna de pós-graduação.

Agradeço a FAPESP, a CAPES e ao CNPQ a bolsa concedida.

Agradeço a Nadalie Chile a doação dos cubos de carvalho e a Barley Malting importadora a doação do malte.

Discernir é entender a essência,
é diferenciar o ouro autêntico do falso.
Sempre que tiro alguma coisa de seu contexto,
deixo de entendê-la e começo a distorcê-la.
Todas as situações têm suas raízes históricas,
seus efeitos presentes e suas implicações futuras.
Discernir é considerar as inter-relações de
todos os ingredientes de uma situação.
Sem essa perspectiva sou impelido a proteger meus
interesses, sou consumido pelo calor do momento,
deixo de ver as consequências dos meus atos.
(Brahma Kumaris)

“A boca de um homem perfeitamente contente está repleta de cerveja.”
(Provérbio Egípcio)

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 OBJETIVO	23
2.1 Objetivos específicos.....	23
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1 História da cerveja.....	25
3.2 Mercado.....	26
3.3 Matérias-primas.....	29
3.3.1 Água	29
3.3.2 Malte	29
3.3.3 Lúpulo (<i>Humulus Lupulus l.</i>)	31
3.3.4 Levedura.....	32
3.3.5 Adjuntos	33
3.4 Processamento da cerveja.....	34
3.4.1 Produção do mosto	34
3.4.2 Fermentação.....	37
3.4.3 Maturação.....	38
3.4.4 Etapas de acabamento.....	38
3.5 Principais compostos aromáticos da cerveja	38
3.5.1 Compostos fenólicos da cerveja	39
3.5.2 Ésteres e álcoois superiores	41
3.5.3 Aldeídos.....	42
3.5.4 Compostos sulfurados	43
3.6 Composição química da madeira.....	43
3.6.1 Celulose	44
3.6.2 Hemicelulose	44
3.6.3 Lignina	44
3.6.4 Compostos acidentais	45
3.7 Carvalho	46

3.7.1 Compostos aromáticos do carvalho	46
3.7.2 Tosta	48
3.7.3 Cervejas maturadas em madeira	51
3.7.3.1 Oxigenação.....	52
3.7.3.2 Temperatura	53
3.8 Fragmentos de madeira	53
4 MATERIAL E MÉTODOS	55
4.3 Métodos.....	57
4.3.1 Análises físico-químicas	57
4.3.1.1 Grau alcoólico	57
4.3.1.2 pH	57
4.3.1.3 Acidez total titulável	57
4.3.1.4 Turbidez	57
4.3.1.5 Cor	57
4.3.1.6 Fenólicos Totais	58
4.3.1.7 Amargor	58
4.3.2 Análises por Cromatografia Líquida de alta eficiência (CLAE).....	58
4.3.3 Análises de compostos voláteis por Cromatografia Gasosa – CG.....	60
4.3.4 Análise sensorial	60
4.4 Análise estatística.....	61
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1 Alterações físico-químicas.....	63
5.2 Alterações químicas nos compostos voláteis	65
5.2.1 Alterações na composição dos congêneres de maturação.....	67
5.3 Análise Sensorial.....	73
6 CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS	76
APÊNDICES.....	87

RESUMO

Influência da madeira de carvalho na qualidade da cerveja

Cerveja é uma bebida alcoólica mundialmente popular e a mais consumida no Brasil. Existem diversos estilos de cerveja no mundo, os quais são produzidos por modificações no processo de produção, no uso de diferentes ingredientes, na maturação utilizando barris de madeira e/ou adição de fragmentos de madeira, entre outros. A maturação em madeira pode proporcionar complexidade aromática às bebidas, sendo a madeira de carvalho amplamente utilizada para a maturação de bebidas alcoólicas. O uso dessa madeira na maturação da cerveja é o foco desse trabalho, que maturou cervejas a 0°C, durante três meses, em garrafas de vidro de 600 mL, barris de carvalho e recipientes plásticos com cubos de carvalho, na dose de 3g/L, provenientes de três níveis diferentes de tosta (leve, média, e alta). Das cervejas oriundas dos diferentes tratamentos, foram analisadas graduação alcoólica, pH, acidez total, turbidez, fenólicos totais, cor e amargor; os compostos voláteis (aldeídos, ésteres e álcoois superiores) foram analisados por Cromatografia gasosa (FID) e os compostos fenólicos de baixo peso molecular (ácido gálico, 5-hidroximetil-furfural, furfural, ácido vanílico, ácido siríngico, vanilina, siringaldeído, coniferaldeído e sinapaldeído) por Cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). As cervejas também foram analisadas sensorialmente mediante teste de preferência. A análise dos resultados mostrou que não houve alterações na qualidade da cerveja que pudessem ser atribuídas ao armazenamento com madeira. Os compostos voláteis tiveram pequenas alterações, por outro lado, os compostos fenólicos de baixo peso molecular foram os que apresentaram maiores incrementos no período de três meses de maturação. Não houve diferença na aceitação sensorial entre as cervejas maturadas com cubos de madeira, barril e em garrafas de vidro. Futuros estudos são necessários para que seja possível obter um produto de qualidade que possa satisfazer o consumidor e seja acessível à indústria.

Palavras-chave: Cerveja; Maturação; Barril; Cubos de carvalho; Análises químicas

ABSTRACT

Influence of oak wood on quality beer

Beer is a very popular alcoholic beverage in the world and the most widely consumed in Brazil. There are many styles of beer in the world that can be produced by changes in the production process, use of various ingredients, maturation using wood barrels and / or addition of wood fragments, and others. Wood maturation can provide aromatic complexity to alcoholic beverages, and the oak wood is widely used. The use of oak in the maturation of beer is the focus of this work. The beers matured at 0 °C for three months in glass bottles of 600 mL, oak barrels and plastic containers with oak cubes at a dose of 3g/L, with three different levels of toasting (light, medium, and high). Beers resulting from the different treatments were analyzed physico-chemically (alcohol content, pH, total acidity, turbidity, total phenolics, color and bitterness), the volatile compounds (aldehydes, esters and higher alcohols) by gas chromatography (FID), the low molecular weight phenolic compounds (gallic acid, 5-hydroxymethylfurfural, furfural, vanillic acid, syringic acid, vanillin, syringaldehyde, coniferaldehyde and sinapaldehyde) by High Performance Liquid Chromatography (HPLC), and sensory. The analysis shows that there were no quality changes in beer that could be attributed to the storage in contact with oak wood. The volatile compounds had minor changes; the low molecular weight phenolic compounds were those with the greatest increases within three months of maturation. There was no difference in sensory acceptance between beers matured in oak barrel, oak cubes and glass bottles. This work suggests that wood influences sensory beer, but more studies are needed to be able to get a quality product that can satisfy the consumer and is accessible to the industry.

Keywords: Beer; Maturation; Oak cubes and barrels; Chemical analyses

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de cerveja per capita em alguns países em 2010..	28
Figura 2 - Fluxograma da produção do malte.....	30
Figura 3 - Etapas da produção da cerveja.....	34
Figura 4 - Variação da temperatura em função do tempo, durante o processo de mosturação	35
Figura 5 - Definição global de todos os flavonoides, ácidos fenólicos e estilbenos detectados no malte, no lúpulo e na cerveja.	39
Figura 6 - Composição qualitativa da madeira	43
Figura 7 - Intensidade de aromas conforme a tosta e origem do carvalho.	50
Figura 8 - Conversão de compostos fenólicos de baixo peso molecular e ésteres a partir da lignina da madeira durante o armazenamento de uma solução de 60% EtOH	52
Figura 9 - Cubos de carvalho com três níveis de tosta da esquerda para a direita: Tosta leve, média e alta.	55
Figura 10 - Barris de carvalho com capacidade para 20 litros, contendo 20 litros de cerveja.	55
Figura 11 - Processo da produção das cervejas analisadas.....	56
Figura 12 - Compostos voláteis obtidos após um mês (cinza claro), dois meses (cinza escuro) e três meses (cinza médio) de armazenamento de cerveja tipo lager na presença de cubos de carvalho de tosta leve (LT), tosta média (MT), tosta alta (HT) ou maturada em barril de carvalho (B).	66
Figura 13 - Evolução dos congêneres de maturação ao longo do tempo (3meses). Testemunha (C); Tosta Leve (TL) Tosta média (TM) Tosta alta (TA) e Barril (B).	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção global de cerveja por país em 2011.....	27
Tabela 2 - Consumo global de cerveja por país.	27
Tabela 3 - Composição do grão de cevada e do malte.	30
Tabela 4 - Composição dos lúpulos comerciais.	31
Tabela 5 - Temperatura e pH ótimo das enzimas na mosturação da cerveja.....	36
Tabela 6 - Alguns compostos formados durante a fermentação.....	37
Tabela 7 - Concentração de compostos fenólicos encontrados na cerveja.....	40
Tabela 8 - Valor padrão, limite de detecção e impressão do aroma para álcoois superiores e ésteres em cervejas tipo <i>lager</i>	41
Tabela 9 - Compostos de aroma derivados da madeira de carvalho.	47
Tabela 10 - Alterações provocadas termicamente na madeira seca em atmosfera inerte.....	49
Tabela 11 - Condições cromatográficas utilizadas em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).	59
Tabela 12 - Compostos relacionados à maturação da cerveja maturada em barril e com cubos de carvalho por três meses.....	60
Tabela 13 - Análises físico-químicas de cervejas durante o período de maturação de 3 meses.	64
Tabela 14 - Concentração de congêneres de maturação em diferentes bebidas.....	70
Tabela 15 - Concentração dos aldeídos benzóicos e cinâmicos encontrados na cerveja tipo lager armazenada por três meses na presença de cubos com tosta leve, média, alta ou em barril.	73
Tabela 16 - Análise sensorial (pontos Escala Hedônica) das cervejas.....	73
Tabela 17 - Limites de detecção de compostos aromáticos na cerveja.....	73

1 INTRODUÇÃO

A legislação brasileira considera cerveja a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro, oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura e com adição de lúpulo. O uso de outros cereais, chamados de adjuntos¹ é permitido pela lei, cujo emprego não poderá ser superior a quarenta e cinco por cento em relação ao extrato primitivo² (BRASIL, 2009).

Os adjuntos são utilizados com a intenção de diminuir o custo de produção ou então para proporcionar características peculiares ao produto final (BRADEE, 1977; HOUGH, 1990; REINOLD, 1997). Esse último caso vem se tornando mais comum no Brasil com o aumento das microcervejarias, que utilizam adjuntos com o objetivo de produzir um produto com aromas e sabores diferenciados.

No Brasil, assim como no restante do mundo, o estilo *Pilsen*³ é o mais consumido (SINDICERV, 2011), sendo responsável por 98% do consumo nacional de cerveja e 60% do consumo mundial. No entanto, o mercado cervejeiro nacional está passando por mudanças relacionadas aos hábitos de consumo de cerveja, impulsionadas também pelo cenário econômico atual, que tem possibilitado ao consumidor acesso a bebidas de melhor qualidade.

As cervejas especiais estão ganhando popularidade no país, de acordo com a revista *Veja* (2010). Em 2008 movimentaram 409 milhões de reais e em 2009, o valor foi sete vezes maior, chegando a quase três bilhões de reais. Essas cervejas já representam 5% dos dez bilhões de litros vendidos por ano no país (VEJA, 2010).

A expansão desse mercado estimulou as grandes empresas a investirem em novos produtos. Muitas delas adquiriram microcervejarias como, por exemplo, as cervejarias artesanais Baden Baden e Eisenbahn que foram adquiridas pelo antigo grupo Schincariol (em 2012 se tornou Brasil Kirin) e outras como o Grupo Petrópolis que introduziu em sua relação de produtos novas cervejas especiais.

Estima-se que existam atualmente mais de 20 mil tipos de cervejas no mundo. Pequenas mudanças no processo de fabricação como diferentes tempos e temperaturas de cozimento, fermentação e maturação e o uso de outros ingredientes, além dos quatro básicos (água, lúpulo, malte de cevada e levedura) são responsáveis por uma variedade muito grande de tipos de cerveja (SINDICERV, 2011). Para poder atender às expectativas dos atuais

¹Consideram-se adjuntos cervejeiros a cevada cervejeira e os demais cereais aptos para o consumo humano, malteados ou não-malteados, bem como os amidos e açúcares de origem vegetal.

² Extrato primitivo: é o extrato do mosto de malte de origem da cerveja.

³ A cerveja do tipo *Pilsen* ou *Pilsener* nasceu em Pils, na Tchecoslováquia, em 1842, e é a mais conhecida e consumida no mundo. De sabor delicado, leve, clara e de baixo teor alcoólico (entre 3% e 5%).

consumidores, diversas pesquisas estão sendo realizadas, propondo o desenvolvimento de novos processos e produtos (BRASIL BRAU, 2011; SILVA et al., 2010).

Entre as novas cervejas especiais disponíveis no mercado brasileiro estão algumas maturadas em madeira, como o carvalho a exemplo dos estilos *Barrel and Wood Aged Beer* - cervejas envelhecidas em barril e madeira - (BREWERS ASSOCIATION, 2012; BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM, 2004).

A maturação em madeira é uma prática importante e amplamente empregada na produção de bebidas de alta qualidade (MOSEDALE, 1994). A maturação da cerveja pode ser feita em barris novos ou barris que foram utilizados para maturar outros tipos de bebidas, sendo o mais comum o uso de barris maturados com uísque. Essas cervejas adquirem alguns aromas e sabores provenientes da bebida que foram anteriormente maturadas nesses barris (OLIVER, 2012).

A madeira do carvalho sempre foi muito utilizada pelo homem, seja na construção civil, na construção de barcos, na confecção de barris para fermentar, armazenar, transportar e amadurecer vinho, uísque, rum e outras bebidas alcoólicas (MOSEDALE; PUECH, 1998; WIKILIVROS, 2011). O barril, invenção atribuída aos celtas, foi por muito tempo usado exclusivamente como recipiente para transporte de cerveja e vinhos (EYDOUX, 1979; JOHNSON, 2009).

O carvalho é uma madeira de elevado potencial aromático. Dele provêm os aromas de baunilha e de outras especiarias como a canela, a pimenta e o alcaçuz (SCHNEIDER, 2005). O tostado interno dos barris imprime os aromas de torrefação como café, chocolate, caramelo e pão torrado (BORGES, 2009). A madeira de carvalho pode ser utilizada na forma de barris, lascas, cubos, pó, entre outras variações (NADALIE, 2012).

Os barris produzidos a partir da madeira de carvalho (*Quercus* spp.) além de permitirem uma armazenagem eficiente da bebida, também melhoram sensivelmente a qualidade da mesma. Esses barris são usados para a maturação de bebidas alcoólicas como uísque, conhaque, cachaça e o vinho, existindo ampla literatura a respeito (ALCARDE; SOUZA; BELLUCO, 2010; DIAS; MAIA; NELSON, 1998; MOSEDALE, 1994; NISHIMURA; MATSUYAMA, 1989).

Durante a maturação de bebidas alcoólicas em barris de carvalho, além da extração de compostos, principalmente aldeídos e ácidos fenólicos, ocorrem inúmeras reações entre a madeira e a bebida, tais quais oxidação e esterificação da lignina da madeira (BOSCOLO et al., 1995). Os compostos fenólicos extraíveis da madeira são responsáveis pelas notas aromáticas, sabor e cor, com melhorias na qualidade sensorial das bebidas alcoólicas. Esses

compostos de baixo peso molecular, podendo ser chamados de congêneres de maturação, por serem considerados indicadores do processo de maturação de bebidas alcoólicas (DELGADO; GÓMEZ CORDOVÉS; VILLARROYA, 1990). Estes têm como base principal a degradação da lignina, hemicelulose e celulose.

A degradação da lignina em contato com o etanol provoca a formação de aldeídos benzóicos (vanilina e siringaldeído) e cinâmicos (sinapaldeído e coniferaldeído) em seguida esses são oxidados aos seus respectivos ácidos (ácido vanílico e ácido siríngico) (PUECH et al, 1977 apud MANGAS et al, 1996).

Durante o período de maturação ocorre um pequeno decréscimo do coniferaldeído e do sinapaldeído, resultando em um pequeno aumento das concentrações de vanilina e siringaldeído (PUECH et al., 1984).

Os compostos de maior incidência encontrados nas bebidas maturadas são os ácidos gálico, vanílico e siríngico, vanilina, furfural, 5-hidroximetil-furfural, sinapaldeído, siringaldeído, coniferaldeído, vanilina, eugenol, guaiacol e lactonas (NISHIMURA; MATSUYAMA, 1989, MOSEDALE; PUECH, 1998, VAN JAARSVELD; HATTINGH; MINNAAR, 2009a, AQUINO et al., 2006, DIAS; MAIA; NELSON, 1998, LEÃO, 2006, ORTEGA-HERAS et al., 2010, AEB-GROUP, 2011, AZEVEDO, 2007).

Além do uso de barris de madeira no armazenamento de bebidas, tem se estudado atualmente, o uso da adição de fragmentos de madeira em bebidas fermentadas e fermento-distiladas. Essa técnica tem sido utilizada por produtores de vinhos com a finalidade de proporcionar à bebida o mesmo efeito aromático que a mesma adquire quando armazenada em barris de madeira, com as vantagens de se reduzir custo e o tempo de envelhecimento (BARREL BUIDERS, 2008; EIRIZ; OLIVEIRA; CLÍMACO, 2007; FAN; XU; YU, 2006; GUTIÉRREZ AFONSO, 2002).

2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi verificar as alterações físico-químicas e sensoriais da cerveja quando maturada em contato com a madeira de carvalho, utilizando cerveja maturada em barris de carvalho por 3 meses e cerveja maturada em recipiente plástico adicionada com cubos de carvalho por 3 meses.

2.1 Objetivos específicos

- Analisar as características físico-químicas das cervejas maturadas em contato com a madeira de carvalho.
- Quantificar os compostos de aroma característicos da maturação da bebida em madeira.
- Comparar a extração dos compostos aromáticos pela cerveja maturada em barris e em contato com cubos.
- Avaliar sensorialmente a aceitação da cerveja maturada com cubos e nos barris de carvalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 História da cerveja

A cerveja é a bebida alcoólica mais antiga do mundo. Sua origem está relacionada à do pão, sendo conhecida como “pão líquido” por suas propriedades nutricionais (HORNSEY, 2003; MORADO, 2009; STANDAGE, 2005). Sua popularidade permanece até os dias atuais, sendo umas das bebidas alcoólicas mais consumidas no mundo (THE BREWERS OF EUROPE, 2012).

As primeiras evidências da produção de cerveja vêm da Mesopotâmia há aproximadamente 8000 anos, com referência ao povo Sumério e provavelmente com uma forte conexão com a produção de pão. Os cereais disponíveis na época eram principalmente a cevada e o trigo em sua forma silvestre (HORNSEY, 2003; LEÃO, 2003).

O Código de Hamurabi, conjunto de leis criadas na Mesopotâmia, introduziu várias leis relacionadas à cerveja. Ele estabelecia uma cota diária de cerveja dependendo do status social de cada indivíduo assim como regras sobre a qualidade da cerveja e descrição de punição rigorosa para seus falsificadores (ESSLINGER; NARZISS, 2009).

Os babilônios produziam diferentes tipos de cerveja, com evidências relacionadas à produção de uma “cerveja com um ano de envelhecimento”. As cervejas também eram classificadas em cinco categorias de acordo com a qualidade, ingredientes, cor e sabor (HORNSEY, 2003).

Os egípcios refinaram a arte de produzir cerveja, pagavam seus trabalhadores com a bebida e exportavam o excedente. Na Mesopotâmia e no Egito a cerveja era uma bebida de grande importância social, consumida por todas as classes, inclusive pelas mulheres. Seu consumo era sinônimo de felicidade e de uma vida civilizada, estando também relacionadas à mitologia, religião e medicina (HORNSEY, 2003; MORADO, 2009).

As primeiras cervejas, muito diferentes das atuais, eram escuras e turvas e podiam ser produzidas com diversos tipos de cereais como trigo, sorgo, milho e arroz, além da cevada. O trigo era o cereal mais utilizado, por ser também o principal ingrediente na fabricação de pães. Ainda, essas cervejas recebiam a adição de uvas, tâmaras, mel, e ervas que além de acelerar o processo de fabricação também aromatizavam a cerveja (HORNSEY, 2003; STANDAGE, 2005; TSCOPE, 2001; ZANATTA, 2011).

Na idade média, partir do século VIII, era comum em toda a Europa o uso de ervas com o intuito de dar sabores especiais à cerveja. A mistura de ervas era conhecida como *gruit*. O *gruit* continha basicamente alecrim, artemísia, aquiléa, urze e gengibre, mas outras ervas poderiam ser incluídas para produzirem sabores únicos à cerveja (HORNSEY, 2003).

Os monges foram os primeiros a produzirem cerveja em maior escala e devido à sua capacidade de trabalho e dedicação, são considerados os primeiros pesquisadores sobre a bebida, tendo descoberto e aprimorado técnicas para melhorar a qualidade e conservação das mesmas. Com a habilidade dos mosteiros em produzir cerveja em larga escala, os monges iniciaram o uso do lúpulo, que tem sido usado na produção de cerveja desde o século IX, como consequência das características de conservação e manutenção da qualidade da cerveja, melhores do que as do *gruit* (HORNSEY, 2003; MORADO, 2009).

O uso do lúpulo na produção de cerveja teve o primeiro registro na Idade Média, no livro "*Physica sive Subtilitatum*", da monja beneditina alemã Hildegard von Bingen (1098-1179), que acidentalmente deixou cair folhas e flores desta planta trepadeira em uma tina de mostura de cerveja. Ela descreveu que o amargor do lúpulo protege a bebida (HORNSEY, 2003; FISCHER-BENZON, 1894).

Em abril de 1516, na Baviera, foi aprovada a lei de Pureza Alemã (*Reinheitsgebot*) que determinava que a cerveja fosse produzida somente com cevada, lúpulo e água. Com o objetivo de garantir a qualidade da bebida, esta lei proibia o uso de outros cereais, especiarias, frutas e ervas populares na época. Outros países vizinhos à antiga Baviera também adotaram essa lei (HORNSEY, 2003; TASCHAN; UHLIG, 2010).

Muitas cervejarias ainda seguem essa lei, principalmente na Alemanha, tendo ela se tornado um padrão de qualidade associada aos estilos de cerveja da escola alemã. Contudo, a maioria das fábricas pelo mundo utiliza em sua produção outros ingredientes, aditivos químicos, estabilizantes e frutas (MORADO, 2009).

No Brasil a cerveja demorou a chegar, os primeiros registros do consumo de cerveja estão associados à chegada da família real portuguesa ao Brasil, sendo o primeiro barril de cerveja trazido pela família real portuguesa em 1808 (SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA - SINDICERV, 2011). Na sua chegada ao país o rei Dom João decretou a abertura dos portos às nações amigas e a cerveja começou a ser importada principalmente da Inglaterra.

3.2 Mercado

Apesar da sua inserção relativamente tardia no mercado cervejeiro, atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor de cervejas do mundo (SINDICERV, 2011). A produção global de cerveja atingiu 192,71 bilhões de litros em 2011, tendo apresentado aumento de 3,7% em relação a 2010. Isso marcou o seu 27º ano consecutivo de crescimento desde 1985 (KIRIN, 2012).

Hoje o mercado brasileiro de cervejas está em franca expansão. O Brasil ocupa posição de destaque entre os maiores produtores (Tabela 1) e consumidores (Tabela 2) de cerveja do mundo, atrás apenas da China e dos Estados Unidos. No Brasil o consumo oscila em torno dos 60 litros per capita/ano (Figura 1) e a produção alcançou os 13,2 bilhões de litros (REINOLD, 2011; SISTEMAS DE CONTROLE E PRODUÇÃO DE BEBIDAS - SICOBE, 2012; SINDICERV, 2011).

Tabela 1 - Produção global de cerveja por país em 2011

Ranking 2011	Ranking 2010	País	Volume de produção (quilolitros)	Variação em relação a 2010
1	1	China	48.988.000	10,70%
2	2	Estados Unidos	22.545.817	-1,50%
3	3	Brasil	13.200.000	3,40%
4	4	Rússia	9.810.000	-4,20%
5	5	Alemanha	9.554.500	-0,10%
6	6	México	8.150.000	2%
7	7	Japão	5.629.566	-3,80%
8	8	Reino Unido	4.569.400	1,50%
9	9	Polônia	3.785.000	5,10%
10	10	Espanha	3.360.000	0,70%

Fonte adaptado de Kirin (2012). Nota: Kilotitros=1000 litros

Tabela 2 - Consumo global de cerveja por país

Ranking 2010	Ranking 2009	País	Volume de consumo (mil quilolitros)	Variação em relação a 2009
1	1	China	44,683	5,90%
2	2	Estados Unidos	24,138	-1,40%
3	3	Brasil	12,17	16%
4	4	Rússia	9,389	-6,20%
5	5	Alemanha	8,787	-2,20%
6	6	México	6,419	-2,00%
7	7	Japão	5,813	-2,80%
8	8	Reino Unido	4,587	-2%
9	9	Espanha	3,251	-0,50%
10	10	Polônia	3,215	-0,30%

Fonte: Adaptado de Kirin (2012)

A República Tcheca lidera pelo 18º ano consecutivo o consumo per capita de cerveja no mundo, embora esse indicador tenha diminuído no país em 2010 quando comparado ao ano anterior.

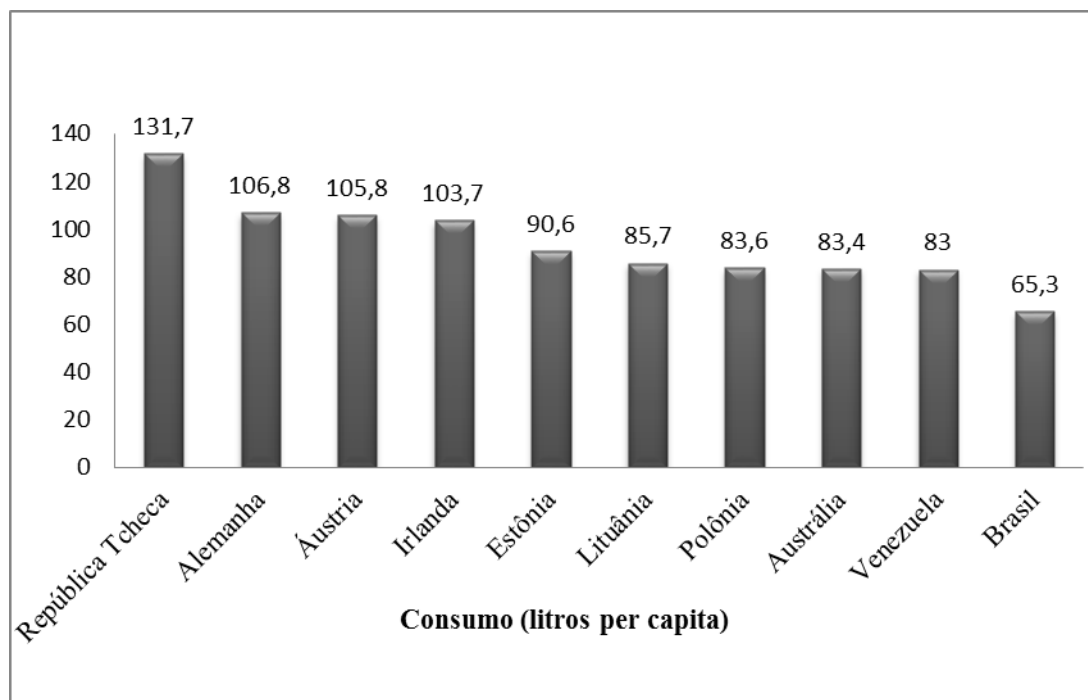


Figura 1 - Consumo de cerveja per capita em alguns países em 2010. (adaptado de KIRIN, 2012)

O volume de produção mundial de cerveja em 2011 foi 50,61 bilhões de litros maior do que em 2001, representando um aumento 35,6%, na década. O maior crescimento veio da China, onde a produção de cerveja aumentou em 26,52 bilhões de litros no período, seguida pelo Brasil (um aumento de 4,75 bilhões de litros) e Rússia (aumento de 3,54 bilhões de litros) (KIRIN, 2012).

O Brasil também impulsionou o aumento do consumo de cerveja na América Latina, que apresentou aumento de 16% entre os anos de 2009 e 2012.

Na Europa o consumo de cerveja em 2010 foi 2,4% menor do que em 2009. Todos os países europeus que fizeram parte da lista dos 25 maiores consumidores do mundo de cerveja registaram uma diminuição do consumo anual, com exceção da Ucrânia, onde a cerveja foi 5,5% mais consumida em 2010 do que em 2009.

3.3 Matérias-primas

3.3.1 Água

Aproximadamente 95% da composição da cerveja é água, por isso a qualidade do produto final está diretamente relacionada à qualidade desse ingrediente.

Os estilos de cerveja surgiram num primeiro momento devido às características físico-químicas da água da região de sua criação. As fábricas de cerveja foram construídas em lugares onde havia disponibilidade de água adequada para o tipo de cerveja a produzir. Assim, o conteúdo de sulfato de cálcio da cidade de Burton-on-Trent na Inglaterra era ideal para a elaboração das “Pale Ale” fortes e muito aromáticas. Em contraste, as águas com baixa dureza e alcalinidade da cidade de Pilsen na República Tcheca eram ideais para a produção das cervejas tipo “Pilsener ou Pils”. As águas ricas em bicarbonato de cálcio resultavam excelentes para a produção de cervejas mais escuras, como as “Munich”.

Atualmente qualquer água pode ser tratada para apresentar as características desejadas para a elaboração dos diferentes estilos de cerveja (HOUGH, 1990).

A água usada no processo cervejeiro deve corresponder à qualidade de uma água potável, devendo ser inodora, insípida, incolor, livre de contaminação, não deve conter metais pesados especialmente ferro e manganês e não deve ser corrosiva (ESSLINGER; NARZISS, 2009). O consumo médio de água em uma cervejaria varia de 3,7 a 10,9 hl de água por hectolitro de cerveja produzida (hl=100 litros) e o consumo ótimo de 6 hl de água por hl de cerveja, sem considerar a malteação e o cultivo da cevada (KUNZE, 1999). Sendo o consumo de água na produção da cerveja relativamente alto, o preço do tratamento deve ser levado em consideração, assim tratamentos muito difíceis devem ser evitados (KUNZE, 1999).

O pH da água é um fator muito importante durante os vários processos que envolvem a produção de cerveja, influenciando ações enzimáticas, extração de amargor e crescimento de microrganismos. A maioria dos processos na produção de cerveja ocorrem melhor ou mais rápido quanto mais ácido for o pH, por exemplo, na mostura o pH ótimo está entre 5,2 - 5,5 e na fervura entre 5,1 - 5,3 (ESSLINGER; NARZISS, 2009; KUNZE, 1999).

3.3.2 Malte

Malte é o grão de cevada (ou de outro cereal) que em condições controladas foi germinado, teve sua germinação interrompida e posteriormente foi seco (KUNZE, 1999).

A cevada é o cereal mais utilizado pela composição rica em amido (Tabela 3), reduzido teor de gorduras (que prejudicam a qualidade da bebida), alto teor de enzimas (essenciais para a transformação do amido em açúcares que serão consumidos pelas

leveduras), teor adequado de proteínas (responsáveis pela espuma, corpo e estabilidade coloidal) e fonte de aminoácidos para as leveduras. Possui também casca em quantidade suficiente para atuar como meio filtrante do mosto e é responsável por proporcionar o sabor agradável da cerveja (HOUGH, 1990; MORADO, 2009).

Tabela 3 - Composição do grão de cevada e do malte

Características	Cevada	Malte
Massa do grão (mg)	32 a 36	29 a 33
Umidade (%)	10 a 14	4 a 6
Amido (%)	55 a 60	50 a 55
Açúcares (%)	0,5 a 1,0	8 a 10
Nitrogênio total (%)	1,8 a 2,3	1,8 a 2,3
Nitrogênio solúvel(%Ntotal)	10 - 12	35 a 50
Poder diastásico, °Lintner	50 – 60	100 a 250
α -amilase, unidades de dextrina	Traços	30 a 60
Atividade proteolítica	Traços	15 a 30*

Fonte: Industrial Uses of Cereals, 1973 apud Cereda (1985)

*unidades de atividade enzimática

A finalidade da malteação é produzir enzimas no interior do grão para alterar bioquimicamente o grão. Nesse processo as enzimas são formadas e ativadas, o amido se torna mais disponível, outras alterações como modificações na cor, aroma e sabor podem ser conduzidas e o malte seco se torna estável e armazenável (KUNZE, 1999; TSCHOPE, 1999).

Antes que ocorra a malteação, a cevada recebida da lavoura é limpa. Nesse processo são retirados palha, pedras, pedaços de madeira, etc., em seguida os grãos de cevada são classificados para obtenção de um malte homogêneo e armazenados em silos até seu processamento. O processo de malteação do grão de cevada ocorre basicamente em quatro etapas: maceração, germinação, secagem e degerminação (crivagem) (Figura 2).

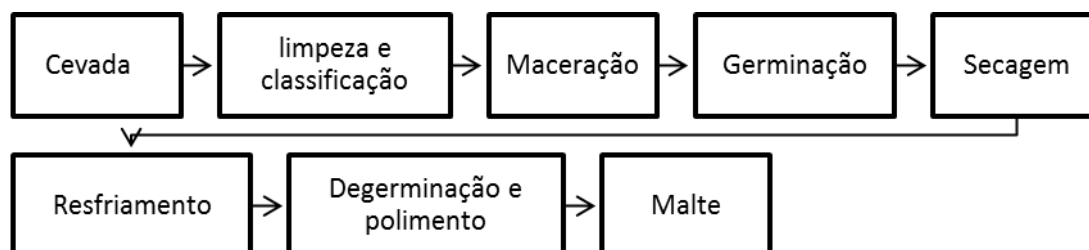


Figura 2 - Fluxograma da produção do malte

3.3.3 Lúpulo (*Humulus Lupulus L.*)

O lúpulo é uma planta trepadeira que mede entre cinco e oito metros de altura, pertence à família *Cannabinaceae* da ordem *Urticales*. Cresce melhor em climas temperados. Seus maiores produtores são os EUA e Alemanha (HOUGH, 1990; KUNZE, 1999).

É uma planta dioica (cada indivíduo tem apenas um sexo) e somente a inflorescência das plantas femininas é usada para a produção de cerveja, pois contêm as resinas amargas e os óleos essenciais responsáveis pelo aroma e amargor característico da cerveja (HOUGH, 1990; KUNZE, 1999).

O lúpulo apresenta também propriedades bacteriostáticas, que auxiliam na estabilidade microbiológica da cerveja, na estabilidade coloidal e na qualidade de espuma (KUNZE, 1999).

A composição do lúpulo é de extrema importância para a qualidade da cerveja (Tabela 4). Os ácidos alfa e beta são os principais componentes amargos da cerveja. Os beta-ácidos ou lupulonas formam uma família de compostos semelhantes aos alfa-ácidos ou humulonas, mas de menor importância (HOUGH, 1990). A quantidade de amargor depende da quantidade de alfa-ácidos insolúveis que são isomerizados durante a fervura do mosto gerando os compostos iso-alfa-ácidos que são muito mais amargos e muito mais solúveis.

Tabela 4 - Composição dos lúpulos comerciais

Componentes	Quantidade
Água	8-14%
Proteínas	12-24%
Resinas totais	12-21%
Alfa-ácidos	4-10%
Beta-ácidos	3-6%
Taninos	2-6%
Celulose	10-17%
Cinzas	7-10%
Óleos essenciais	0,5-2%

Fonte: Reinold (1997)

Os iso-alfa-ácidos se oxidam com facilidade quando expostos a luz, formando o composto 3 metil 2-buten-1-ol conhecido como “light struck” que prejudica a qualidade da cerveja. Por isso, são utilizadas garrafas da cor âmbar para o envase, pois protegem a cerveja da ação da luz. A utilização de garrafas transparentes é possível devido à utilização de extratos isomerizados, que são mais estáveis à luz, porém de preço mais elevado (HOUGH, 1990).

O lúpulo é utilizado na maioria dos estilos de cerveja e seu amargor é classificado pela unidade internacional de amargor IBU – International Bitterness Unit; e a escala de IBU varia de 5-17 IBU's para cervejas do estilo *American lager*, chegando a 100 IBU's para o estilo *Imperial India Pale Ale*.

Além dos iso-alfa-ácidos, os óleos essenciais do lúpulo influenciam no sabor e aroma da cerveja. Eles conferem aromas característicos como floral, cítrico, condimentado e também proporcionam a sensação de corpo à cerveja. Os óleos essenciais são uma mistura complexa de centenas de compostos como o linalol, geraniol, cariofileno, mirceno e humuleno (BERNOTIENE et al., 2004; NICKERSON; VAN ENGEL, 1992).

Os lúpulos contêm de 2% a 5% de polifenóis em relação à matéria-seca, os quais constituem uma mistura de taninos flavonoides, catequinas e antocianinas. As antocianinas têm as propriedades mais importantes para a cerveja.

Estruturalmente as antocianinas do malte são as mesmas do lúpulo. São responsáveis pela adstringência e estão envolvidos na formação de turbidez por formarem complexos com proteínas, ajudando na estabilidade coloidal e contribuindo para o sabor e cor da cerveja (KUNZE, 1999).

Os lúpulos podem ser classificados em lúpulo de aroma e de amargor. O lúpulo de **aroma** é rico em óleos essenciais, que conferem aromas característicos e é pobre em alfa-ácidos. O lúpulo de **amargor** em contrapartida é pobre em óleos essenciais e rico em alfa-ácidos (HOUGH, 1990; KUNZE, 1999).

A adição do lúpulo de aroma deve ser feito no final da fervura, pois os óleos essenciais se volatilizam facilmente, já o lúpulo de amargor deve ser adicionado no início da fervura, pois na fervura os alfa-ácidos são isomerizados a iso-alfa-ácidos e proporcionarão o amargor característico da cerveja (KUNZE, 1999; ESSLINGER; NARZISS, 2009).

O lúpulo pode ser encontrado comercialmente em diversas formas, como *pellets*, flores secas e extrato (HOUGH, 1990; ESSLINGER; NARZISS, 2009).

3.3.4 Levedura

As leveduras são microrganismos unicelulares do Reino Fungi. O fungo *Saccharomyces cerevisiae*, utilizado na produção de cerveja, é uma levedura ascomicética. Suas células são elípticas, medindo cerca de 6 a 8 µm de comprimento por 5 µm de largura e se reproduzem assexuadamente por gemulação ou brotamento (CARVALHO; BENTO; SILVA, 2006).

O fungo *Saccharomyces* é capaz de fermentar uma vasta gama de açúcares, incluindo sacarose, glicose, frutose, galactose, manose, maltose e maltotriose, produzindo etanol como principal produto da fermentação (VARNAM; SUTHERLAND, 1994). A levedura é o mais importante microrganismo para a produção de bebidas fermentadas. O crescimento e multiplicação desse organismo são inseparáveis do processo metabólico que produz etanol, dióxido de carbono e uma extensa variedade de produtos metabólicos que contribuem para o sabor e aroma da bebida.

As leveduras cervejeiras tipo *Ale* e tipo *Lager* utilizadas tradicionalmente, são estirpes de *Saccharomyces cerevisiae* que representam um grupo bastante diversificado de microrganismos (Dr Ann Vaughan-Martini, Universidade de Perugia, Itália, comunicação pessoal apud Walker, 1998). Porém, mais por razões históricas e práticas (menos por razões taxonômicas), as leveduras cervejeiras tipo *lager* são referidas na literatura como *S.carlsbergensis* (mais estreitamente *S. cerevisiae* var. *carlsbergensis*) (WALKER, 1998).

Para fins científicos, todas as cepas de leveduras são alocadas no gênero *Saccharomyces* e na espécie *cerevisiae* (LEWIS; YOUNG, 1995).

Apesar de serem consideradas a mesma espécie, as leveduras do tipo *ale* e do tipo *lager* apresentam diferenças que justificam manter uma classificação distinta entre elas. As cepas de *S. carlsbergensis* se distinguem pela capacidade de fermentação da melibiose (glicose-galactose), pois possuem os genes MEL que produzem a enzima extracelular α -galactosidase e possuem a capacidade de hidrolisar a molécula de rafinose, pois possuem a invertase. Já a *S. cerevisiae* não possui a melibiase e tem capacidade de utilizar somente um terço da molécula de rafinose (SILVA, 1989 apud SANTOS, 2002).

Além dessas diferenças, na maioria das fermentações para elaboração de cervejas *ale* o processo é mais rápido (5 dias) e conduzido em temperaturas mais altas (14 a 25°C), quando comparados aos 14 dias e 5 a 12°C das fermentações com cepas de leveduras *lager*.

3.3.5 Adjuntos

Os adjuntos podem ser definidos como carboidratos não maltados de composição apropriada e propriedades que benéficamente complementam ou suplementam o malte de cevada, ou ainda como usualmente são considerados, fontes não maltadas de açúcares fermentescíveis (ALMEIDA; SILVA, 2005).

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 a maltose (oriunda principalmente do milho) é um exemplo de adjunto açucarado (VENTURINI FILHO, 2000).

Esses adjuntos têm por finalidade contribuir como fonte alternativa de substrato, com custos geralmente inferiores ao malte de cevada e adicionalmente, proporcionar à bebida características sensoriais peculiares em função da fonte que provém (DRAGONE; ALMEIDA; SILVA, 2010).

Os adjuntos cereais mais comuns são o milho, o arroz e o trigo, também podem ser utilizados o sorgo, a aveia e o triticale, que são utilizados na fase de preparação do mosto cervejeiro, utilizando-se das enzimas contidas no próprio malte para hidrolisar o amido existente em açúcares fermentescíveis (DRAGONE; ALMEIDA; SILVA, 2010).

3.4 Processamento da cerveja

O processamento da cerveja (Figura 3) pode ser dividido em três fases: a primeira é a produção do mosto, por processos de moagem do malte, mosturação, filtração e cozimento; a segunda consiste na etapa fermentativa, abrangendo a fermentação e a maturação, e a terceira é a fase de acabamento, filtração, carbonatação e envase da cerveja (OETTERER; ALCARDE, 2006).

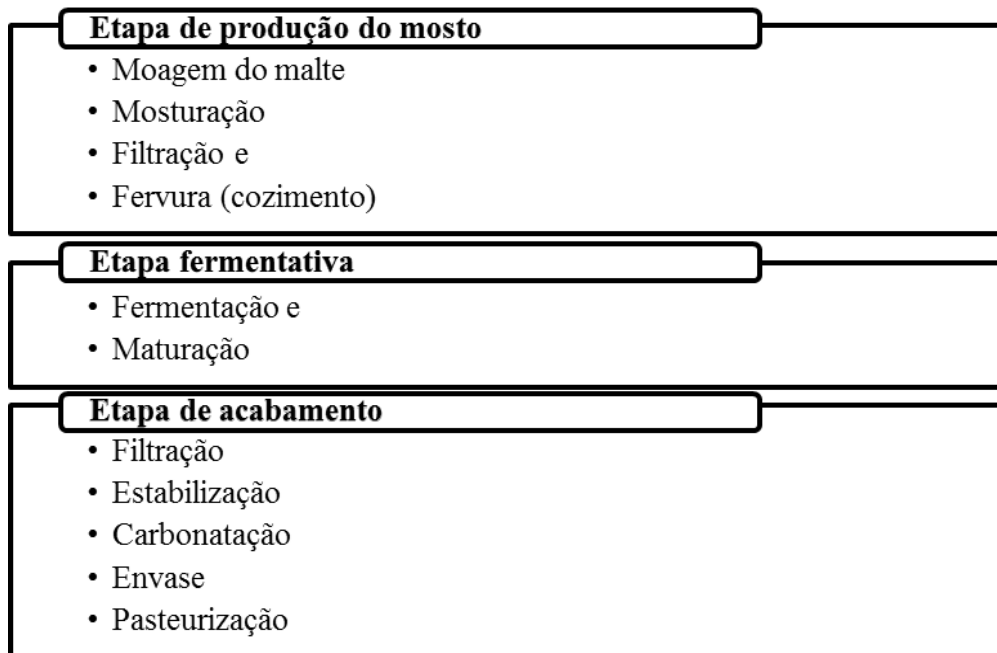


Figura 3 - Etapas da produção da cerveja

3.4.1 Produção do mosto

Esta etapa inicia com a **moagem do malte**, operação que visa reduzir o grão de malte de modo uniforme, desintegrando o endosperma sem, contudo, triturar a casca. O objetivo da

moagem é expor o endosperma amiláceo e a sua desintegração total para obter uma melhor atuação enzimática (ALMEIDA; SILVA, 2005).

A etapa de moagem é crucial, pois dela depende todo o processo de produção da cerveja. A moagem não deve ser muito fina, o que dificulta a filtragem, tampouco deverá ser grossa, prejudicando a hidrólise do amido (CEREDA, 1985).

As cascas do malte deverão permanecer as mais íntegras possíveis, para auxiliar no processo de filtragem do mosto e também evitar que compostos indesejáveis da casca como taninos e outros compostos amargos sejam dissolvidos no mosto causando efeitos sensoriais indesejáveis na cerveja (ESSLINGER; NARZISS, 2009).

Esta operação pode ser realizada com o malte seco ou úmido. A moagem a seco é realizada em moinhos de rolos, discos ou martelos, enquanto que a moagem realizada com malte umedecido acontece exclusivamente em moinhos de rolos, conforme descreve Venturini Filho (2000). Após a moagem, o conteúdo do grão não está mais protegido, podendo sofrer oxidação, o que torna seu armazenamento inviável.

A segunda etapa para obtenção do mosto é a **mosturação**, para isso o malte e os adjuntos são misturados com água em tinas de mosturação e essa mistura é submetida a diferentes temperaturas. O objetivo é solubilizar as substâncias do malte, no primeiro momento aquelas solúveis em água e, com o auxílio de enzimas, solubilizar também as substâncias originalmente insolúveis (DRAGONE; ALMEIDA; SILVA, 2010).

A rampa de mosturação (Figura 4) varia conforme a cerveja a ser produzida. Quanto mais tempo na temperatura de ativação da beta amilase, a cerveja terá maior teor de álcool, e quanto mais tempo na temperatura da alfa amilase a cerveja tende a produzir mais corpo (Tabela 5).

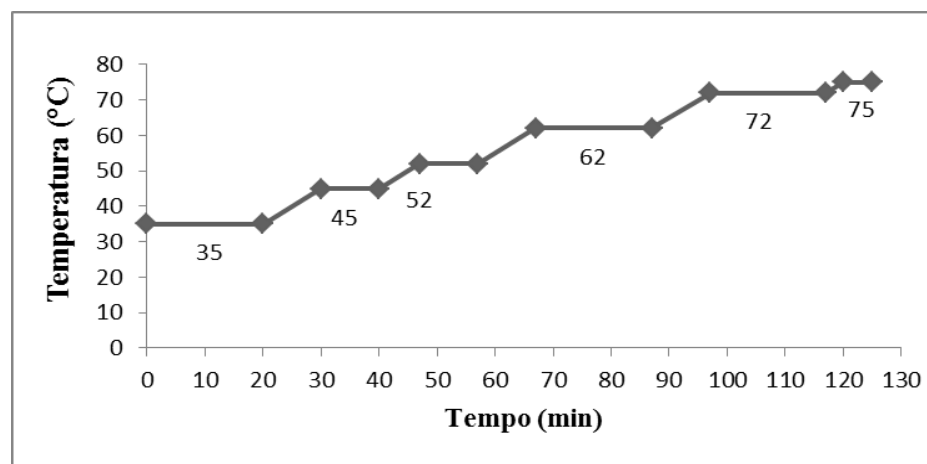


Figura 4 - Variação da temperatura em função do tempo, durante o processo de mosturação (TSCHOPE, 2001)

A degradação do amido em açúcares solúveis ocorre em três etapas: gelatinização, solubilização e hidrólise. Normalmente os adjuntos do malte são inicialmente cozidos à parte até formarem goma e, a seguir, são adicionados às tinas de cocção do malte (CEREDA, 1985).

As enzimas são proteínas que catalisam reações químicas pouco espontâneas e muito lentas, aumentando a velocidade com que ocorrem e diminuindo a energia necessária. A atividade das enzimas depende da temperatura e do pH (Tabela 5).

As enzimas α -amilase e β -amilase atuam sobre o amido rompendo suas ligações α -1,4, originando maltoses, que serão degradadas a glicose pela ação da maltase. Dextrinas com ligações α -1,6 permanecerão intactas e propiciarão “corpo” à cerveja, além de colaborarem no sabor e aroma da bebida (OETTERER; ALCARDE, 2006).

Tabela 5 - Temperatura e pH ótimo das enzimas na mosturação da cerveja

Enzima	Atuação	pH ótimo	T ótima °C
α -amilase	Decomposição do amido em dextrinas	5,6 - 5,8	70 - 75
β -amilase	Decomposição do amido em maltose	5,4-5,6	60 - 65
Dextrinase	Decomposição de proteína em produtos de alto	5,1	55 - 60
Endopeptidase	Decomposição de proteínas de alto e peso molecular	5,0	50 - 60
Exopeptidase	Decomposição de proteínas de alto e médio peso	5,2 – 8,2	40 - 50
Hemicelulase	Decomposição da hemicelulose	4,5 – 4,7	40 - 45

Fonte: Adaptado Venturini (2005); Morado (2009)

No final da mosturação é realizado o teste com solução de iodo 0,2N para confirmar a completa sacarificação do malte. O complexo formado do iodo com o amido possui coloração roxo-azulada. Caso no teste a solução não formar essa coloração considera-se que todo o amido foi convertido. Satisfeita a condição do teste, a solução é aquecida a 78°C com o objetivo de inativar as enzimas presentes (DRAGONE; ALMEIDA; SILVA, 2010; SILVA et al., 2010).

A terceira etapa é a **filtração do mosto** que tem por objetivo separar o bagaço do malte do mosto líquido e obter a maior quantidade de extrato possível. Esta etapa é dividida em duas:

Na primeira o líquido atravessa uma camada de cascas do malte depositadas no fundo da tina, constituindo-se o mosto primário. Na segunda etapa, essa camada de cascas é lavada com água a 78°C e depois novamente drenada retirando dessa forma todo o extrato possível (CEREDA, 1985; MORADO, 2009).

A quarta etapa é a fervura. O mosto obtido é fervido de 1 a 2 horas e durante esse tempo são adicionados os lúpulos. Durante a fervura ocorre a extração e transformação de compostos amargos e aromáticos do lúpulo, inativação de todas as enzimas, esterilização do mosto, coagulação proteica, formação de substâncias constituintes do aroma e sabor, aumento da coloração, acidificação do mosto, evaporação de água excedente e de componentes aromáticos indesejáveis ao produto final (KUNZE, 1999, CEREDA, 1985; MORADO, 2009).

3.4.2 Fermentação

O principal objetivo da fermentação é a conversão de açúcares em etanol e gás carbônico pela levedura, sob condições anaeróbicas. Todos os carboidratos fermentescíveis (maltose, maltotriose, glicose, etc.) são metabolizados pela levedura durante a fermentação.

Além disso, numerosos subprodutos se desenvolvem durante a fermentação, sendo que vários produtos intermediários permanecem no líquido e muitos componentes do mosto são assimilados pela levedura (ALMEIDA; SILVA, 2005; MUNROE, 1995).

Entre os compostos formados na fermentação (Tabela 6) estão os álcoois superiores, ésteres, aldeídos, diacetil, compostos sulfurados, compostos fenólicos. Alguns desses compostos são responsáveis pelas características frutadas de algumas cervejas, como os ésteres, alguns compostos fenólicos e álcoois superiores em pequenas quantidades. Outros subprodutos são indesejáveis, devendo ser degradados ou expulsos durante a maturação, como o diacetil, os compostos sulfurados e os aldeídos (dependendo da concentração) (KUNZE, 1999; MUNROE, 1995).

Tabela 6 - Alguns compostos formados durante a fermentação

Substâncias	Concentração em Cerveja (mg L⁻¹)	Limite de detecção (mg L⁻¹)	Descritor
Acetaldeído	2-19	5-15	Maçã, cereja verde.
n-propanol	5-17	600	Álcool
Iso-butanol	5-20	10	Farmácia
2-fenil etanol	10-20	28	Rosa
Acetato de etila	5-35	20-30	Solvente, removedor
Acetado de isoamila	0,4-3,1	1-2	Banana
Diacetil	0,01-0,15	0,05-0,08	Manteiga
Dimetilsulfeto	0,03-0,12	0,10	Legumes cozidos

Fonte: Adaptado de Zunkel et al. (2011)

3.4.3 Maturação

A maturação ou fermentação secundária consiste no armazenamento da cerveja fermentada a baixas temperaturas, próximas a 0°C, durante um determinado período de tempo. Na maturação ocorre a carbonatação natural da cerveja. Ocorre também a precipitação de leveduras e proteínas (trub frio) proporcionando clarificação e o aprimoramento do aroma e sabor, pois importantes alterações químicas também ocorrem, como a redução do diacetil (2,3-Butanodiona) e DMS (dimetil sulfeto) (ALMEIDA e SILVA, 2005; MUNROE, 1995).

3.4.4 Etapas de acabamento

A **filtração** tem como objetivo remover o material que foi formado durante o processo de maturação como leveduras, partículas coloidais dos complexos proteínas-polifenóis e outras substâncias insolúveis formadas (trub frio). A filtração é responsável por tornar a cerveja brilhante e ao mesmo tempo aumentar sua estabilidade físico-química e biológica (ESSLINGER; NARZISS, 2009).

Na **carbonatação** o dióxido de carbono (CO₂), um constituinte fundamental da cerveja, é responsável pela efervescência e a sensação de acidez deixada na boca. No final da maturação a cerveja pode apresentar carbonatação natural inferior ao desejado, nesse caso é necessária a injeção artificial do CO₂. Sua concentração na bebida deve ser cuidadosamente controlada de forma a assegurar a qualidade do produto (KUNZE, 1999).

Envase é o engarrafamento, enlatamento ou embarrilamento do produto. Trata-se da etapa mais dispendiosa em uma cervejaria, em termos de matéria-prima e mão de obra, além de ser a etapa mais crítica, pois todo o trabalho conduzido até essa etapa pode ser perdido se não for conduzida com muito cuidado e assepsia (MORADO, 2009).

Para a cerveja ter uma longa vida de prateleira é necessário que ela seja estabilizada microbiologicamente. A **pasteurização** confere estabilidade microbiológica à bebida, mediante a destruição de microrganismos pelo calor. Durante a pasteurização a cerveja é submetida a um aquecimento a 60°C e posterior resfriamento (ESSLINGER; NARZISS, 2009; KUNZE, 1999; MORADO, 2005).

3.5 Principais compostos aromáticos da cerveja

O aroma de uma cerveja depende da cepa da levedura que é utilizada e conseqüentemente, dos produtos formados durante a fermentação. A variedade e a quantidade do lúpulo utilizada, assim como os compostos sulfurados também interferem no aroma e sabor da bebida (KUNZE, 1999; SIQUEIRA; BOLINE; MACEDO; 2008).

3.5.1 Compostos fenólicos da cerveja

Os compostos fenólicos variam entre os tipos de cerveja e são componentes importantes no aroma da bebida. Embora os compostos fenólicos provenientes do malte e do lúpulo sejam mais relevantes, o metabolismo das leveduras, as reações bioquímicas, temperatura, pH, entre outros, também contribuem de maneira significativa na formação desses compostos de aroma (MONTANARI et al., 1999; ŠMOGROVIČOVÁ; DÖMÉNY, 1999; WOFFENDEN; AMES; CHANDRA, 2001). Na Figura 5 está apresentada uma definição global dos compostos fenólicos encontrados na cerveja.

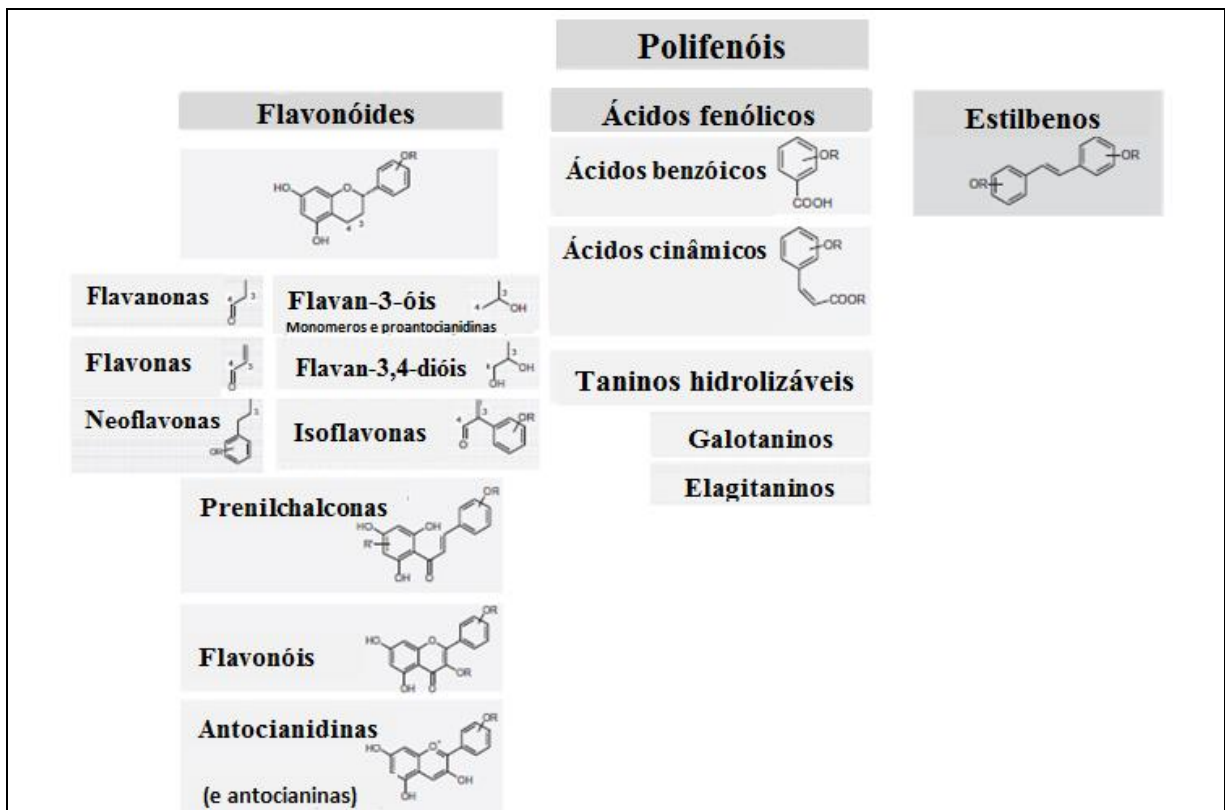


Figura 5 - Definição global de todos os flavonoides, ácidos fenólicos e estilbenos detectados no malte, no lúpulo e na cerveja adaptado de Callemien e Collin (2009)

O malte e o lúpulo contêm vários ácidos hidroxibenzoicos. O malte é rico em ácido genticóico, o lúpulo em ácido vanílico e sirínico. Entre os ácidos hidroxibenzoicos, principalmente *p*-hidroxibenzoico, os ácidos vanílico e gálico, geralmente, são encontrados nas cervejas em baixas concentrações da ordem de ppm nas cervejas (FLORIDI et al., 2003; GORINSTEIN et al., 2000).

O ácido ferúlico, a catequina, quercetina, procianidinas são antioxidantes importantes dentre os polifenóis encontrados na cerveja. O ácido ferúlico é o principal ácido fenólico encontrado, representando entre 48 e 58% do total (GORINSTEIN et al., 2000; SIQUEIRA; BOLINI; MACEDO, 2008).

O ácido ferúlico, precursor do 4-vinil-guaiacol (aroma de cravo), e o *p*-cumárico precursor do 4-vinil-fenol, podem ser oxidados ou reduzidos em moléculas menores, como vanilina, 4-etilguaiacol, guaiacol, e 4-etilfenol através de reações químicas (TRESSL, 1974 apud CALLEMIEN; COLLIN, 2009) ou pela ação de leveduras selvagens como *Brettanomyces/ Dekkera spp* (BENITO et al., 2009; SILVA, 2003).

Segundo McMurrough, Roche e Cleary (1984) foram encontrados predominantemente os ácidos vanílico, *p*-cumárico e ferúlico nas cervejas analisadas. Enquanto no trabalho de Piazzon, Forte e Nardine (2010) os ácidos fenólicos mais abundantes foram os sinápico, vanílico, cafeico, *p*-cumárico e 4-hidroxifenilacético.

A concentração média dos ácidos fenólicos, em mg L⁻¹ encontrados em cervejas irlandesas tipo *lager* analisadas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) (MCMURROUGH; ROCHE; CLEARY, 1984) foram derivados do ácido benzóico: ácido gálico (0,6), protocatecuíto (0,3), 4-hidroxibenzóico (0,6), vanílico (2,2) e siríngico (0,9) e os derivados dos ácidos cinâmicos: ácido ferúlico (2,0), *p*-cumárico (0,6), cafeico (0,2) e sinápico (0,6), sendo o total de 5 a 8 mg de fenólicos por litro nas amostras. Os autores analisaram as cervejas irlandesas, americanas, inglesas e alemãs e encontraram uma quantidade maior de compostos fenólicos nas amostras alemãs em comparação com as inglesas e americanas (16 mg L⁻¹ nas inglesas e americanas e 39 mg L⁻¹ na alemã).

Achilli, Cellerino e Gamache (1993) encontraram em cervejas, além dos compostos já citados, o Kaempferol, a vanilina, rutina, siringaldeído, tirosina (Tabela 7).

Tabela 7 - Concentração de compostos fenólicos encontrados na cerveja

Compostos	mg L⁻¹ amostra
Ácido 4-hidroxifenilacético	1,2
Catequina	5,4
Ácido Ferúlico	6,5
Kampferol	16,4
Vanilina	1,6
Rutina	1,8
Siringaldeído	0,7
Ácido siríngico	0,5
Tirosina	54,8
Ácido vanílico	3,6

Fonte: adaptado de Achilli, Cellerino e Gamache (1993)

Além dos listados, outros compostos fenólicos são encontrados nas cervejas. Estes compostos estão diretamente relacionados com a qualidade físico-química e sensorial (sabor, aroma, cor), estabilidade coloidal, conservação da cerveja e também contribuem de forma

benéfica na saúde humana como antioxidante (ACHILLI; CELLERINO; GAMACHE, 1993; CALLEMIEN; COLLIN, 2009; PIAZZON; FORTE; NARDINI, 2010).

3.5.2 Ésteres e álcoois superiores

Dentre os compostos mais importantes na formação de sabor estão os álcoois superiores e os ésteres (PEDDIE, 1990; RENGER; HATEREN; LUYBEN, 1992). Estes compostos são produzidos pela célula de levedura durante a fermentação, sendo oriundos do metabolismo secundário da levedura. Mesmo em baixas concentrações esses compostos contribuem de forma significativa para o sabor e aroma da cerveja. Nas Tabelas 8 e 9 são listados respectivamente, álcoois superiores e ésteres mais importantes e seus limites de detecção (PROCOPIO; QIAN; BECKER, 2011; RENGER; HATEREN; LUYBEN, 1992).

Tabela 8 - Valor padrão, limite de detecção e impressão do aroma para álcoois superiores e ésteres em cervejas tipo *lager*

	Aroma ativo	Valor Padrão (ppm)	Limite de detecção (ppm)	Impressão do aroma
Álcoois superiores	Propanol	2 -10	21	solvente
	Isobutanol	5 -10	10 -100	alcoólico
	Álcool isoamílico	30 -50	60 -65	Frutado, doce
	Álcool fenético	6 -44	100	Rosa, floral
Éster	Acetato de etila	15 -25	21 -30	solvente
	Acetato de isoamila	0,5 -1,5	1 -1,6	banana
	Acetato de feniletina	1 -5	3	Rosa
	Etil-hexanoato	0,05 -0,3	0,14	Maçã ácida
	Octanoato de etila	0,04 -0,053	0,17	Maçã ácida

Fonte: adaptado de Procopio, Qian e Becker (2011)

A cepa da levedura e a fermentação influenciam na formação de álcoois superiores e ésteres, sendo que no processo de alta fermentação são formados mais ésteres e álcoois superiores do que na baixa fermentação; o processo de alta fermentação é conduzido em temperaturas mais altas, favorecendo a formação desses produtos (KUNZE, 1999).

Os álcoois superiores são importantes como precursores imediatos de ésteres aromáticos. Assim sendo, a formação dos álcoois superiores é necessário para assegurar que a produção de ésteres ocorra. As cepas de leveduras *ale* produzem mais álcoois superiores do que as cepas de *lager* e, conseqüentemente, mais ésteres (HUGHES; BAXTER, 2001).

Os teores de éster na cerveja também são influenciados por outros fatores, como por exemplo, a gravidade específica do mosto, a oxigenação a que a levedura é exposta, o pH, a

temperatura, enfim, todos os fatores que afetam a levedura vão afetar a formação de ésteres (HUGHES; BAXTER, 2001).

A cerveja contém um grande número de ésteres de ácidos graxos. O acetato de etila é o principal, sendo encontrado em concentrações variando de 10-30 mg L⁻¹, podendo chegar a 69 mg L⁻¹ (NYKÄNEN; SUOMALAINEN, 1983).

3.5.3 Aldeídos

O acetaldeído é o principal aldeído presente na cerveja, e normalmente é analisado o teor total de aldeído por este composto. O acetaldeído é um importante componente do sabor da cerveja, ele induz ao sabor de maçãs verdes, grama ou folhas verdes (RUPPEL; GRECSEK, 2005), porém altas concentrações desse composto são indesejáveis por proporcionarem à bebida um *off-flavor* (sabor desagradável) de cerveja "verde" (WILLAERT, 2012).

De acordo com Mändl et al. (1970b, 1971a, 1971b, 1973) apud Nikänen e Sumalainen (1983) a concentração de acetaldeído na cerveja varia de 0,1 a 18 mg L⁻¹, com o valor médio de 10 mg L⁻¹.

Os aldeídos de cadeia longa apresentam aroma agradável, ao contrário dos de cadeia curta, que geralmente apresentam aromas amargo, pungente e enjoativo. Esses compostos são de grande importância no aroma das bebidas, embora presentes em quantidades pequenas (HODGE, 1967 apud MOREIRA; TRUGO; DE MARIA, 2000; MAIA, 1994).

As vias de formação de aldeídos podem ocorrer durante a malteação pela degradação de aminoácidos, durante a fervura do mosto, durante o armazenamento, através do metabolismo da levedura, ou mesmo como resultado da descarboxilação dos ácidos orgânicos (WALTERS, 1996).

O trans-2-nonenal é um aldeído muito importante, pois é caracterizado como defeito, pelo seu sabor desagradável de papel molhado/papelão na cerveja (SANTOS, 2002).

Os aldeídos furânicos Furfural e 5-hidroxiacetilfurfural (5-HMF) são formados durante as reações de escurecimento não enzimático dos alimentos. Estes aldeídos estão relacionados com alterações sensoriais nos alimentos (cor, aroma, sabor).

Em bebidas armazenadas em barris de madeira a presença de 5-hidroxiacetilfurfural pode estar relacionada à queima da parte interna do barril que reduz parcialmente a celulose em hidroxiacetilfurfural. Em pequenas concentrações este composto é desejável nessas bebidas (AZEVEDO et al., 2007).

Os aldeídos fenólicos (vanilina, siringaldeído, coniferaldeído e sinapaldeído) podem ser oxidados a seus ácidos correspondentes, o ácido vanílico e siríngico (SANZA et al, 2004).

3.5.4 Compostos sulfurados

Os compostos sulfurados afetam a cerveja através da formação do dióxido de enxofre. O dióxido de enxofre protege a cerveja de oxidação e contribui para a estabilidade do sabor.

Muitos compostos sulfurados contribuem para o sabor da cerveja, muitas *Ale* contém quantidades apreciáveis de sulfeto de hidrogênio. Por outro lado quantidades elevadas de compostos sulfurados devem ser evitadas, pois resultam em aromas desagradáveis, de ovo podre (sulfeto de hidrogênio), de vegetais cozidos (dimetil sulfeto - DMS), entre outros. A formação do dióxido de enxofre (SO₂) depende da cepa da levedura utilizada e das condições de aeração (KUNZE, 1999; HUGHES; BAXTER, 2001).

3.6 Composição química da madeira

A madeira é composta quimicamente por dois grupos principais, os componentes fundamentais e os acidentais (Figura 6). Os principais componentes macromoleculares da madeira são a lignina, a celulose e a hemicelulose, denominados como componentes fundamentais e responsáveis pelas propriedades mecânicas da madeira.

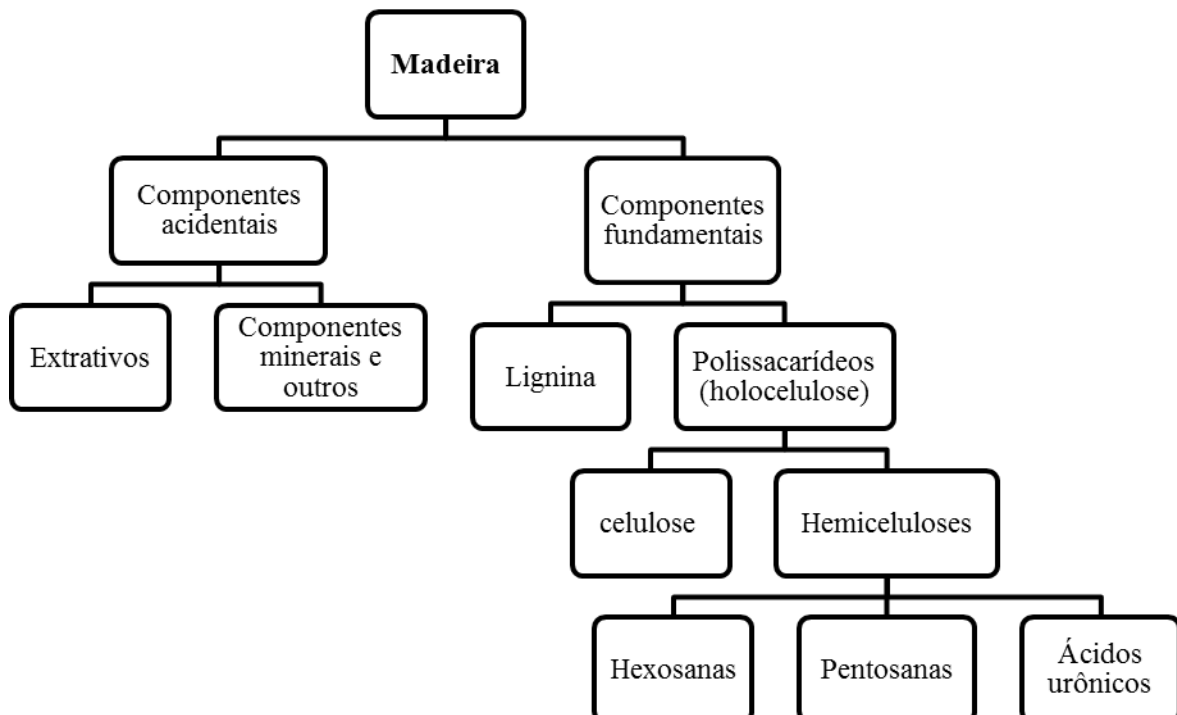


Figura 6 - Composição qualitativa da madeira (BARRICHELO; BRITO, 1985)

A composição química da madeira varia de 40% a 50% de celulose, 20% a 30% de hemicelulose e 20% a 35% de lignina (BARRICHELO; BRITO, 1985; FENGEL; WENEGER, 1989).

Os carvalhos americanos e europeus são compostos por aproximadamente 49%-52% de celulose, (31-33%) de lignina, (22%) de hemicelulose e de (7-11%) da fração extraída por água quente (NISHIMURA; MATSUYMA, 1989).

Quanto aos componentes acidentais ou não estruturais, são constituídos pelos extrativos e materiais inorgânicos, são substâncias de baixo a médio peso molecular, sendo que a porcentagem de extrativos contidos quimicamente na madeira pode variar de 0 a 10 (BARRICHELO; BRITO 1985; CARVALHO, 1996; GONZAGA, 2006).

3.6.1 Celulose

A celulose, a base estrutural das células das plantas, é um polímero linear de glicose, de alto peso molecular, não solúvel em água, formado da união de β - D-glicose ligadas entre si por uma ligação glicosídica ente os carbonos 1 e 4, apresenta em sua estrutura regiões cristalinas e amorfas. É o principal componente da parede celular dos vegetais e o composto orgânico mais abundante da natureza. (BARRICHELO; BRITO 1985; FENGEL; WEGENER, 1989).

3.6.2 Hemicelulose

A hemicelulose ou polioses são um conjunto de componentes poliméricos, principais polissacarídeos não celulósicos da madeira. Os principais constituintes da hemicelulose são cinco açúcares neutros: três hexoses (glucose, manose e galactose) e duas pentoses (xilose e arabinose). Diferenciam da celulose pelo baixo grau de polimerização, por não produzirem fibras e não possuem regiões cristalinas (BARRICHELO; BRITO, 1985; GONZAGA, 2006).

A hidrólise da hemicelulose produz pentoses que podem originar o furfural e hexoses que podem originar o 5-hidroxi metil-furfural (5-HMF) esses compostos dão sabores de tostado, caramelo, pão, amêndoa (VAN JAASVELD; HATTINGH; MINNAAR, 2009b).

3.6.3 Lignina

A lignina, o segundo maior constituinte da madeira, também é um polímero, mas diferentemente da celulose é um composto aromático de alto peso molecular e tem como base estrutural unidades de fenil-propano. Localiza-se na lamela média, onde é depositada durante

a lignificação do tecido, conferindo rigidez às paredes celulares (BARRICHELO; BRITO, 1985; GONZAGA, 2006).

Alguns aldeídos fenólicos derivam da lignina, podendo ser citada a vanilina como o mais importante. Outros compostos que podem ser formados são o siringol, o guaiacol e o eugenol (OUDIA et al, 2007).

A vanilina dá um sabor semelhante ao de baunilha, o eugenol a cravo e o guaiacol aroma de defumado e especiarias. Quando o barril é queimado, a lignina pode ser degradada a fenóis simples que darão aroma e sabores esfumaçados e medicinais (MOSHER, 2005).

Nishimura et al. (1983) apud Nishimura e Matsuyama (1989) verificaram a existência de quatro vias para a origem dos compostos relacionados com lignina na maturação de bebidas destiladas através de estudos de simulação:

- degradação da lignina para compostos aromáticos pela tosta ou carbonização do barril de carvalho;
- extração de compostos monoméricos presentes no estado livre e de lignina pelas bebidas;
- formação de compostos aromáticos por etanolise de lignina;
- conversão de compostos existentes nas bebidas destiladas.

3.6.4 Compostos acidentais

As substâncias que não fazem parte da formação estrutural básica da parede celular são os compostos acidentais, também denominados de extrativos. A maioria desses compostos são facilmente solúveis em solventes orgânicos neutros ou em água (BARRICHELO; BRITO, 1985; FENGEL; WENEGER, 1989).

A composição e quantidade dos extrativos varia conforme a espécie, região de cultivo, idade da madeira. Nas coníferas esse teor geralmente está entre 3 e 5% e nas folhosas entre 2 e 3%. Esses compostos são responsáveis pelo cheiro, cor, sabor, resistência ao apodrecimento e propriedades abrasivas (KLOCK; MUNIZ, 2005).

Os extrativos podem ser classificados em terpenos, compostos fenólicos aromáticos, ácidos alifáticos, álcoois, substâncias inorgânicas e outros compostos (FENGEL; WEGENER, 1989). As substâncias fenólicas da madeira são substâncias aromáticas compreendidas em maior parte pela lignina e por taninos, materiais corantes, etc.

A maior parte dessas substâncias são álcoois (vanilil, coniferil), aldeídos (vanilina, siringaldeído), cetonas (acetovanilina) e ácidos (vanílico, siríngico), os quais ocorrem livres

ou são produzidos como resultado de uma hidrólise da madeira (BARRICHELO; BRITO, 1985).

Os taninos são subdivididos em taninos hidrolisáveis e não-hidrolisável ou taninos condensados (flobafenos). Os taninos hidrolisáveis são ésteres de ácido gálico e seus dímeros. Por hidrólise são produzidos os ácidos gálico e elágico (FENGEL; WEGENER, 1989; NISHIMURA; MATSUYAMA, 1989).

Os compostos acidentais, presentes em pequenas quantidades, têm um papel importante no envelhecimento de bebidas, pois são extraídos diretamente pelo contato da madeira com a bebida alcoólica (AMARANTE, 2005).

3.7 Carvalho

Os carvalhos fazem parte de uma extensa família no reino vegetal, a Fagaceae. Dentro desta família, o carvalho pertence ao gênero *Quercus sp.*, o qual possui cerca de 250 a 500 espécies, sendo que principalmente três destas são de interesse para a tanoaria (NIXON, 2006).

A composição da madeira é responsável pelas características sensoriais da interação com a bebida. Cada espécie tem suas propriedades específicas, dependendo da sua composição.

Por sua composição química, capacidade de doar para a bebida compostos de aroma e sabor, bem como a sua natureza física, permeabilidade a fluídos, porosidade a gases, isolamento térmico, dureza, leveza, flexibilidade e resistência, o carvalho é muito usado na tanoaria (PUECH, 1984; LEAO, 2006).

Entre as muitas espécies de árvores da família Fagaceae, o carvalho-branco europeu (*Quercus robur*) é o que possui a madeira com maior tamanho de raios (HOADLEY, 1986). Eles dão força quando moldados em um barril e permitem certa permeabilidade tanto a gases como a fluidos.

3.7.1 Compostos aromáticos do carvalho

A maturação de bebidas alcoólicas em barril de carvalho e os compostos característicos derivados da madeira são objeto de estudos de diversos pesquisadores (NISHIMURA; MATSUYAMA, 1989; MOSEDALE; PUECH, 1998; VAN JAARVELD; HATTINGH; MINNAAR, 2009; AQUINO et al., 2006; DIAS; MAIA; NELSON, 1998; LEÃO, 2006; ORTEGA-HERAS et al, 2010; SANZA et al., 2004). Os compostos aromáticos

provenientes da madeira de carvalho são resultados, em sua maioria, da degradação da hemicelulose, celulose e lignina. (Tabela 9).

Tabela 9 - Compostos de aroma derivados da madeira de carvalho

Hemicelulose	5-Hidroximetil-furfural (HMF)
	Furfural
	Ácido acético
	Xilose
	Glucose
	Arabinose
	Rhamnose
	Frutose
Lignina	Vanilina
	Siringaldeído
	Coniferaldeído
	Ácido vanílico
	Sinapaldeído
Queima da lignina	Ácido siríngico
	Fenol
	Guaicol
	Etil guaiacol
	p-cresol
Taninos	Eugenol
	Vescalagina
	Castalagina
	Ácido elágico
Lipídeos	Ácido gálico
	Cis-oak-lactona
Outros	Trans-oak-lactona
	Scopoletina

Fonte: Günther e Mosandl (1986) apud Acland (2012)

Os compostos fenólicos são responsáveis por aromas importantes nas bebidas. Acland (2012); Amarante (2005); Aeb-Group (2011); Mosedale e Puech (1998); Ortega-Heras et al. (2010), relacionaram algumas das substâncias responsáveis por esses aromas e sabores como sendo:

- Vanilina (*4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde*): produzido pela degradação da lignina, responsável pelo aroma de baunilha;
- Eugenol (*2-Allyl-2-methoxyphenol*) um composto da classe dos fenil propanóides produzido pela quebra da lignina quando a madeira é tostada e contribui com o caráter de especiarias, como cravo-da-índia e fumaça;

- Furfural (*Furan-2-carbaldehyde*) produzido por hidrólise da hemicelulose transmite aroma de caramelo, manteiga de amendoim;
- Guaiacol (*2-Methoxyphenol*) produzido pela quebra da lignina durante a tosta da madeira é responsável pelo aroma de queimado, defumado e especiarias;
- Lactonas (*cis* e *trans* do β -Meti- γ -Octalactona): éster que possui aroma de madeira fresca e coco, sendo originados dos lipídios do carvalho. Na forma *trans* acrescenta uma sensação de especiarias. O carvalho americano possui quantidade maior desse composto que o carvalho francês;
- Siringaldeído (*4-Hydroxy-3,5-dimethoxybenzaldehyde*): é formado pela quebra da lignina durante a tosta da madeira.

Esses compostos de aroma quando presentes na cerveja pelo contato com a madeira criam outro nível de profundidade e complexidade no *flavor* da bebida.

Os três tipos mais comuns de carvalho são: americano, francês e húngaro, cada um com seu próprio equilíbrio de sabor e complexidade. O carvalho americano produz na bebida um aroma doce e de baunilha, fornecendo uma sensação encorpada na boca. O carvalho francês também tem um aroma doce, proporcionando uma sensação de volume na boca junto com traços de canela e pimenta. O carvalho húngaro fornece aroma de baunilha, café torrado e características de chocolate amargo (PETROS, 2008).

3.7.2 Tosta

Para dar forma ao barril é necessário que este seja aquecido, pois o calor torna a madeira mais flexível. Essa flexibilidade é necessária para que as tábuas ou aduelas da madeira possam ser moldadas dando a origem típica ao barril, finalizada com as argolas metálicas (NADALIE, 2012).

A intensidade da tosta (“grau de chauffe”) é responsável por determinar o perfil aromático que o barril irá transmitir às bebidas.

Os compostos cedidos pela madeira dependem muito da variedade do carvalho e do nível de torrefação que recebeu.

A madeira quando submetida à tosta está sujeita a variações físico-químicas como as descritas por Schaffer (1973) apud Figueroa e Moraes (2009) (Tabela 11).

As alterações provocadas pela tosta do barril de carvalho irão determinar os aromas que serão transferidos do barril à bebida.

Tabela 10 - Alterações provocadas termicamente na madeira seca em atmosfera inerte

Temperatura (°C)	Alterações na madeira
55	A estrutura natural da lignina é alterada. A hemicelulose começa a amolecer.
70	Começa a retração transversal da madeira.
110	A lignina lentamente começa a perder peso.
120	O teor de hemicelulose começa a diminuir e celulose alfa começa a aumentar. A lignina começa a amolecer.
140	A água de impregnação é liberada.
160	A lignina se funde e começa a ressolidificar.
180	A hemicelulose começa a perder peso rapidamente depois de ter perdido 4%. A lignina da membrana de pontuação escoa.
200	A madeira começa a perder peso rapidamente. As resinas fenólicas começam a se formar e a celulose a se desidratar.
210	A lignina solidifica. A celulose amolece e se despolimeriza. As reações endotérmicas transformam-se em exotérmicas.
225	A cristalinidade da celulose diminui e é retomada.
280	A lignina atinge 10% de perda de peso. A celulose começa a perder peso.
288	Temperatura adotada para carbonização da madeira.
300	O cerne amolece irrecuperavelmente.
320	A hemicelulose é completamente degradada.
370	A celulose apresenta perda de 83% de seu peso inicial.
400	A madeira é completamente carbonizada.

Fonte: Schaffer (1973) apud Figueroa e Moraes (2009)

Os níveis de torrefação variam entre tanoarias, mas de forma genérica pode ser descrito três pontos de torrefação:

Tosta leve: a superfície da madeira atinge temperatura entre 120°C e 180°C. Normalmente bastam cinco minutos para alcançar esta etapa. A madeira aportará mais taninos e aromas de baunilha e coco (ainda mais presentes no carvalho americano).

Tosta média: 10 a 15 min, após 10 minutos de tosta a superfície chega a 200°C. Neste estágio, os taninos estão menos agressivos e os aromas de baunilha e café estarão mais presentes.

Tosta intensa (alta): 15 a 20 min, a partir de 15 minutos a superfície interna da barrica chegará a 225°C. Diminui-se o aroma de baunilha e tornam-se mais presentes os de chocolate, defumado e especiarias.

A tosta é feita geralmente com lenha de carvalho. Quanto mais alto o nível de tosta, mais aromas de tostados e torrados (caramelo, café, etc.) o barril irá passar à bebida. Por outro lado a tosta muito alta diminui outros aromas do carvalho, prevalecendo o aroma de tostado. O mais comum é o uso da tosta média ou média-alta, raramente a leve ou a alta. Segundo Puech et al. (1992) apud Canas et al. (2004) a tosta média é a que extrai maior quantidade de aldeídos cinâmicos.

As bebidas maturadas em contato com madeira, que recebeu tosta média ou alta (Figura 7), apresentam sempre maior concentração de compostos fenólicos do que as bebidas em contato com a madeira não tostada (CABRITA; BARROCA DIAS; COSTA FREITAS, 2011).

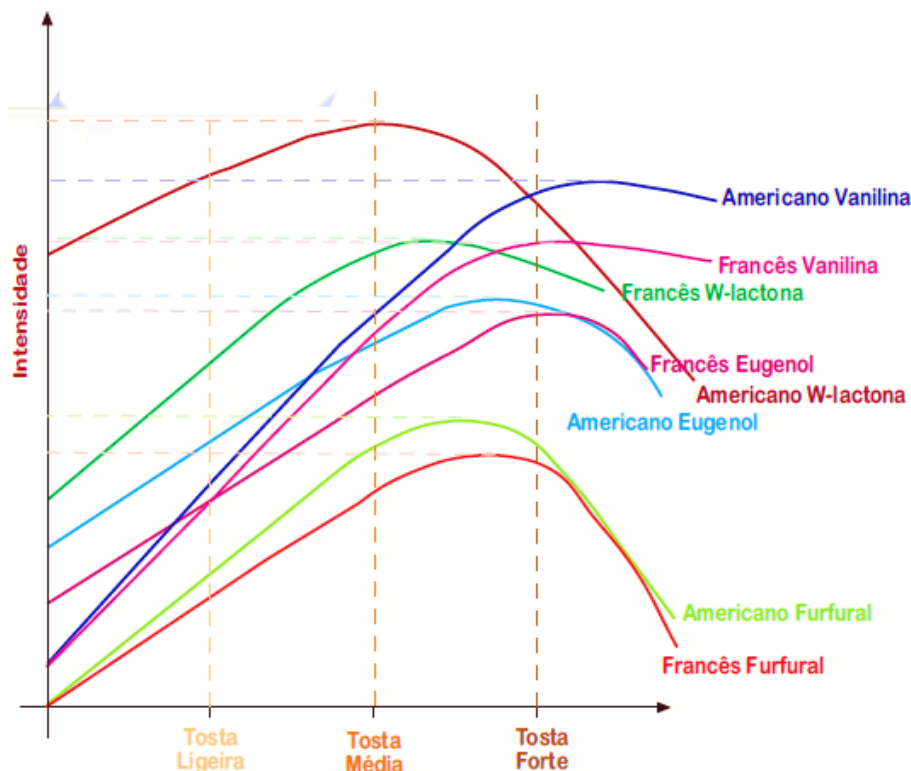


Figura 7 - Intensidade de aromas conforme a tosta e origem do carvalho (AEB-GROUP, 2011)

3.7.3 Cervejas maturadas em madeira

Segundo o guia do Brewers Association (2012) e do BJCP-Style Guidelines (2012a), Cerveja envelhecida na madeira ou no barril (Wood and Barrel Aged Beer) é qualquer cerveja *lager*, *ale* ou híbrida, seja em estilo tradicional ou experimental, que foi envelhecida por um período de tempo em um barril de madeira ou em contato com madeira.

Esta cerveja tem a intenção de transmitir um caráter particularmente original da madeira ou da bebida que estava contida anteriormente em seu interior.

A madeira nova transmite uma mistura complexa de baunilha e outras notas únicas de madeira. Mas o termo envelhecido na madeira não é sinônimo de sabores de madeira. Barris anteriormente utilizados para maturar rum, Bourbon, uísque, Porto, vinho e outros são muitas vezes utilizados para dar complexidade e singularidade à cerveja. Em última análise, é procurado na madeira/barril o equilíbrio de sabor, aroma e paladar que combine com a nova cerveja.

Segundo Nishimura e Matsuyama (1989) em um estudo com bebidas destiladas, as alterações de aroma e sabor que a bebida sofre durante o seu armazenamento em barril de carvalho, podem ser causadas por fatores como:

- Extração direta dos componentes da madeira e decomposição de macromoléculas (celulose, hemicelulose e lignina) e a subsequente extração desses compostos pelo destilado.
- Reações entre os componentes da madeira e os constituintes do destilado novo.
- Reações que ocorrem somente entre extrativos da madeira
- Reações que ocorrem somente entre os componentes do destilado
- Evaporação dos compostos voláteis.
- Formação de aglomerado molecular estável de água e álcool.

Segundo Mosedale e Puech (1989) a extração e subsequente transformação dos compostos do barril de carvalho para o destilado é visto como o mais importante na formação de sabor e aroma.

Durante o armazenamento da bebida alcoólica em contato com a madeira, os compostos fenólicos podem sofrer oxidação dando origem a outros compostos (Figura 8).

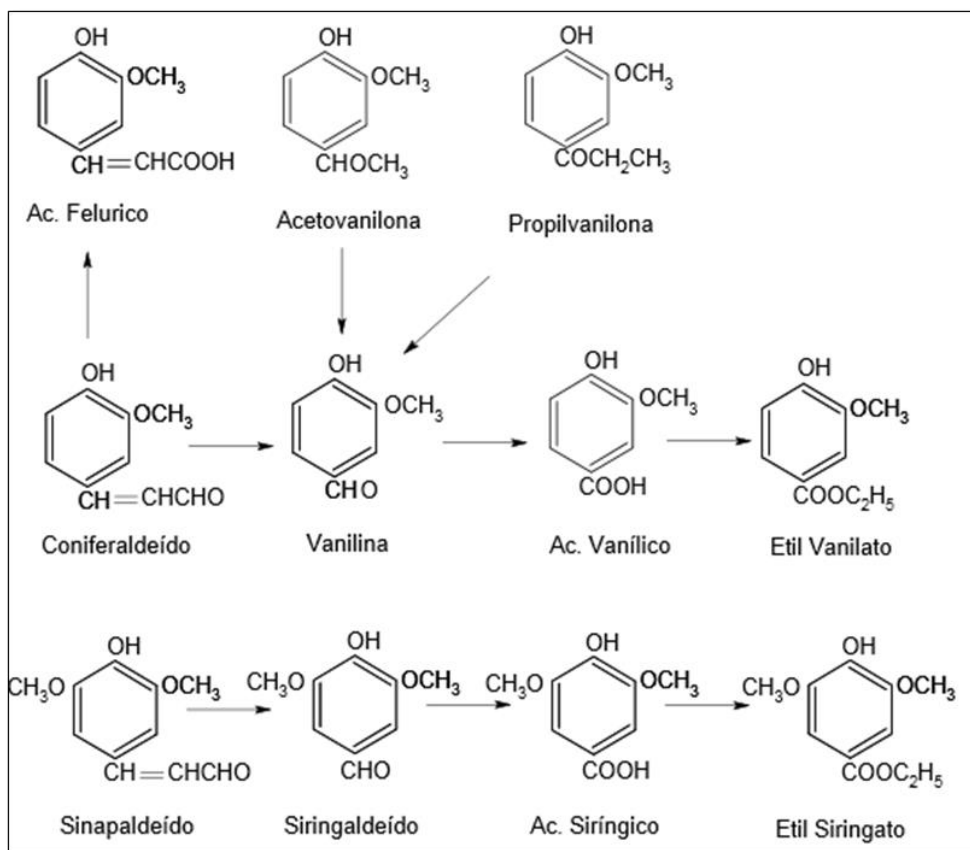


Figura 8 - Conversão de compostos fenólicos de baixo peso molecular e ésteres a partir da lignina da madeira durante o armazenamento de uma solução de 60% EtOH (NISHIMURA et al., 2003 apud NISHIMURA; MATSUYAMA, 1989)

A oxidação do coniferaldeído origina a vanilina que pode ser oxidada a ácido vanílico e conseqüentemente a etil vanilato; já o sinpaldeído pode se oxidar dando origem ao siringaldeído que pode oxidar e formar o ácido siringico que por sua vez dá origem ao etil siringato.

Outros fatores que influenciam na maturação de bebidas em barris de carvalho são a oxigenação e a temperatura.

3.7.3.1 Oxigenação

Oxigenação, se desejada ou não, é um fato integrante do envelhecimento da bebida em barris. O carvalho é poroso e o oxigênio faz o seu caminho lentamente na bebida através da madeira (VIVAS, 2005).

Os cervejeiros são ensinados desde os seus primeiros dias na indústria de que o oxigênio é um inimigo a ser evitado a todo custo. Mas a oxidação lenta faz parte da maturação da cerveja, tanto em barris ou garrafas e quando adequadamente controlada, pode transmitir sabores agradáveis. O oxigênio, que penetra através dos poros da madeira, participa das

reações de óxido-redução, interferindo no aroma e no gosto de fermentados e destilados envelhecidos (RIZZON; MENEGUZZO, 2008; SCHENEIDER, 2005).

O amargor do lúpulo suaviza consideravelmente ao longo dos meses, conseqüentemente, o sabor do malte pode ser evidenciado e os sabores podem se casar com os aromas da bebida que estavam no seu interior (MOSHER, 2005).

3.7.3.2 Temperatura

A temperatura é um dos principais determinantes da extensão e da qualidade dos sabores do barril. As temperaturas mais altas, acima de 15,5°C irão desenvolver aromas de madeira rapidamente na cerveja, mas esses sabores muitas vezes podem ser ásperos. Com o tempo eles vão diminuir e ficar mais finos e equilibrados.

As temperaturas mais quentes também aceleraram a evaporação do líquido através da madeira, além de aumentarem a oxidação e o desenvolvimento de leveduras ou bactérias (desejadas ou indesejadas) que podem residir no barril. Por outro lado, temperaturas mais frias vão desacelerar a evolução e tendem a permitir uma maior suavidade (MOSHER, 2005).

Em vinhos, as reações químicas que ocorrem durante o envelhecimento acontecem mais lentamente quanto menor for a temperatura de armazenamento. Temperaturas muito baixas chegam ao ponto de tornarem algumas reações não contribuintes para a formação de sabores desejáveis, prejudicando dessa forma a evolução do vinho (PANDELL, 1998).

3.8 Fragmentos de madeira

Barris de carvalho são custosos e têm impacto direto no preço final de uma bebida. Menos dispendioso para dar à bebida sabor e aroma de carvalho é o uso dos fragmentos de madeira (CABRITA; BARROCA DIAS; COSTA FREITAS, 2011; EIRIZ; OLIVEIRA; CLÍMACO, 2007).

O uso de fragmentos de madeira na indústria Vitivinícola foi regulamentado pela Organização Internacional da Uva e do Vinho (OIV) em 2005 pela *Resolution Oeno 3/2005*. Segundo a Legislação Brasileira, Instrução Normativa número 13 de 29 de junho de 2005 (BRASIL, 2005a), que fixa os padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e para cachaça é vedado o uso de corante, extrato, lascas de madeira ou maravalhas. Já para indústria cervejeira não existe nenhum tipo de informação que desautorize seu uso (BRASIL, 2009).

Retalhos de madeira, aduelas, serragem, cubos, todas as sobras de carvalho podem ser aproveitadas e colocadas em contato com a bebida em vários momentos. Os fragmentos

podem ser usados desde a fermentação até a bebida pronta, em tanques de inox, onde podem ser colocados pedaços da madeira ou mesmo embalagens permeáveis contendo serragens de carvalho (ORTEGA-HERAS et al., 2010; PETROS, 2008).

Diversos estudos comparam o uso de fragmentos de madeira com o envelhecimento em barril para vinhos. Apesar de o barril extrair uma quantidade maior de compostos, os fragmentos são uma alternativa interessante para produção de vinhos e grapas (BAUTISTA-ORTÍN et al., 2008; CALDEIRA et al., 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho de pesquisa foi desenvolvido no Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da ESALQ, USP.

4.1 Matérias-primas utilizadas

Foram produzidos 200 litros de cerveja em duas etapas, sendo utilizados: Malte - 20 kg tipo *Pilsen* e 1,0 kg *CaraRed*[®] doados pela Barley Malting e Importadora; Lúpulo – Hallertau Nugget (amargor) - 20g 100 L⁻¹ e Hallertau Perle (aromático) - 30g 100 L⁻¹; Clarificante de mosto – Whirlfloc – 5g 100 L⁻¹; Levedura – w 37/70 Saflager 100g 100 L⁻¹.

Os cubos de carvalho francês foram doados pela Nadalie Chile (Figura 9), nas seguintes especificações: Tosta Leve (TL) 1 hora a 150°C; Tosta Média (MT) 1,3 horas a 175°C e Tosta alta (HT) 1,5 horas a 195°C. Barris (Figura 10) – tosta alta. Foram utilizados 3,0 g L⁻¹ de cubos de carvalho em galões de 5 litros. Os barris de carvalho tinham 20 litros de volume. A produção da cerveja teve duração de 11 dias e foi engarrafada em triplicata uma semana após o término da fermentação.



Figura 9 - Cubos de carvalho com três níveis de tosta da esquerda para a direita: Tosta leve, média e alta



Figura 10 - Barris de carvalho com capacidade para 20 litros, contendo 20 litros de cerveja

4.2 Preparo da cerveja

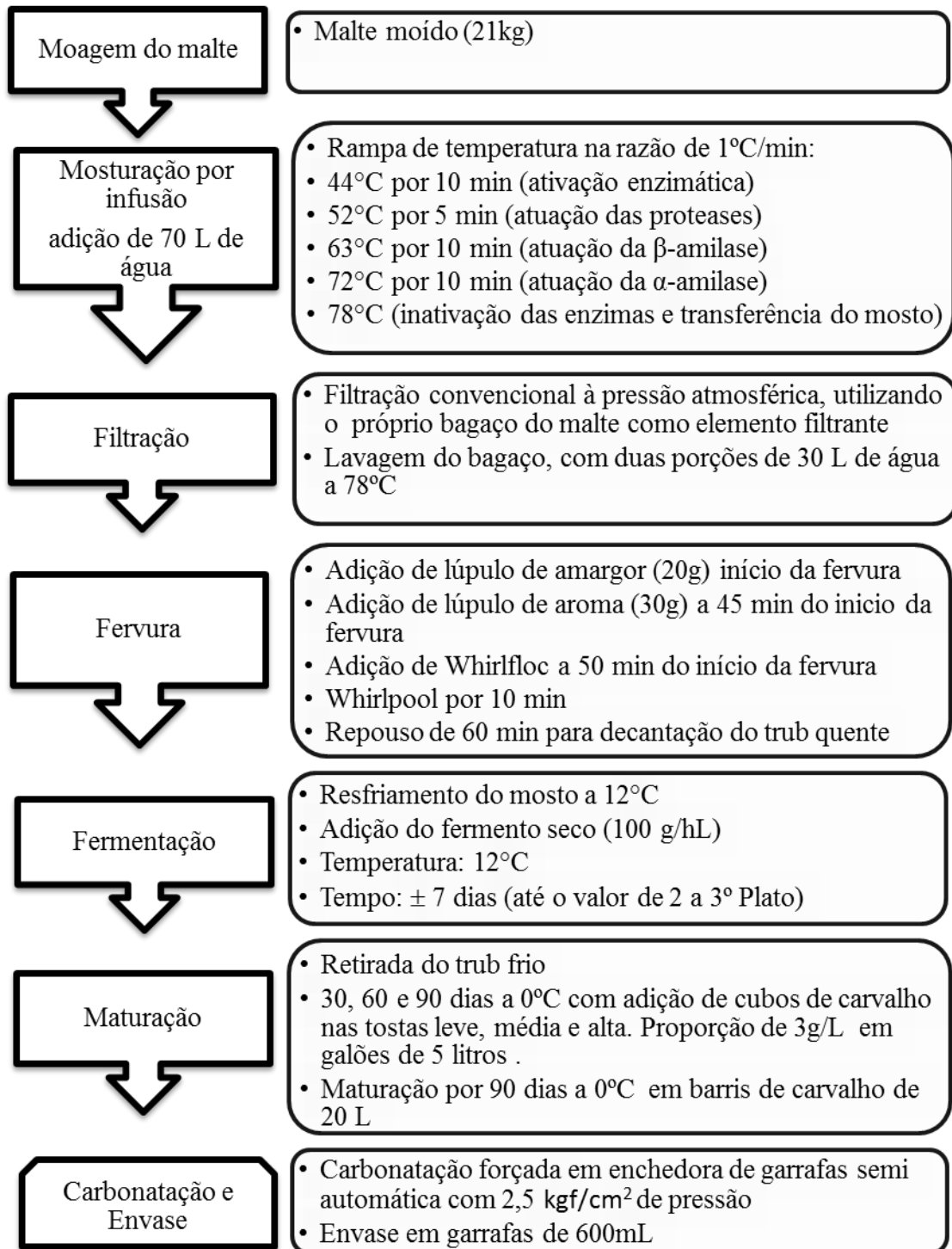


Figura 11 - Processo da produção das cervejas analisadas

4.3 Métodos

4.3.1 Análises físico-químicas

As amostras de cerveja foram coletas no primeiro, segundo e terceiro mês de armazenamento. Após a coleta foram descarboxatadas e submetidas às análises de teor alcoólico, pH, acidez, turbidez, cor, fenólicos totais, amargor, cromatografia gasosa e líquida.

4.3.1.1 Grau alcoólico

De acordo com a metodologia oficial do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) (BRASIL, 2005b). As amostras foram destiladas em destilador Tecnal - modelo TE012 e a seguir, analisadas em densímetro Anton Paar. - DMA 4500.

4.3.1.2 pH

O pH foi avaliado em pHmetro digital modelo DMPH-1 Digimed – Tecnal, através da imersão direta do eletrodo na amostra descarboxatada.

4.3.1.3 Acidez total titulável

A determinação da acidez total, expressa em gramas de ácido sulfúrico por litro de amostra, foi obtida por titulometria de neutralização, de acordo com a metodologia oficial do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Mapa (BRASIL, 2005b).

4.3.1.4 Turbidez

A turbidez foi medida em turbidímetro digital – 2100P Hach sendo os valores dados em NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez.

4.3.1.5 Cor

A intensidade de cor foi medida utilizando-se o método 8.5 espectrofotométrico Analytica -EBC (European Brewery Convention, 2000). A amostra de cerveja foi filtrada em membrana 0,45 µm e, a seguir, foi realizada a leitura da absorbância a 430 nm, utilizando cubeta de 10 mm. O cálculo da cor da amostra não diluída foi realizado pela fórmula:

$$\text{Cor (EBC)} = A * f * 25$$

onde: A= absorbância a 430nm em cubetas de 10 mm
 f= fator de diluição

4.3.1.6 Fenólicos Totais

Para essa determinação foi utilizado o método espectrofotométrico desenvolvido por Folin-Ciocalteu (AMERINE, OUGH, 1980). A absorbância foi medida a 765nm e os resultados expressos em mg GAE 100 mL⁻¹ (equivalente de ácido gálico por 100 mL de amostra). Os resultados foram calculados pela fórmula $y = -0,9927x + 1,9869$ com $R^2 = 0,9999$ proveniente de uma curva padrão elaborada anteriormente.

4.3.1.7 Amargor

O amargor foi determinado pelo método 9.8 Analytica - EBC (European Brewery Convention, 2004), após extração por iso-octano (2,2,4-trimetilpentano) em amostras acidificadas, seguido de medição espectrofotométrica em comprimento de onda de 275nm, sendo a resposta obtida em BU (Bitterness Units).

$$\text{Amargor (BU)} = \text{Abs } 275\text{nm} * 50$$

4.3.2 Análises por Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

As cervejas foram analisadas quanto à concentração de alguns compostos característicos da interação com a madeira de carvalho, tais como, taninos (ácidos gálico), produtos da degradação da lignina – aldeídos (siringaldeído, coniferaldeído, sinapaldeído e vanilina), ácidos (vanílico, sirínico), 5-hidroximetilfurfural e furfural.

A técnica utilizada foi por cromatografia líquida de alta eficiência, em cromatógrafo Shimadzu, modelo LC-10AD, com duas bombas Shimadzu LC-20AD, degasser DGU-20 detector UV-Visível Shimadzu SPD-20A com sistema *dual* para detecção no ultravioleta a 280 e 313 nm, processador de dados CBM-20A, sistema de injeção automático SIL-10AF, fluxo de 1,25 mL min.⁻¹ com sistema gradiente de eluição. A fase móvel A foi: água Mili-Q e ácido acético 98:2 (v/v); a fase móvel B: metanol, água Mili-Q e ácido acético 70:28:2 (v/v). O volume de injeção foi de 20 µL. Coluna de fase reversa C-18, modelo Shim-pack CLC-ODS, 4,6 mm, 25 cm x 5 µm e pré-coluna G-ODS, 4,0 mm x 1 cm (Shimadzu). Coluna termostaticada a 40°C. O comprimento de onda foi variável durante a análise. O gradiente de eluição dos solventes e o detector UV foram programados de acordo com as condições cromatográficas descritas na Tabela 11.

Os compostos foram identificados pelo tempo de retenção e/ou pela adição de solução padrão na amostra; a quantificação foi realizada diretamente por meio da curva-padrão.

Tabela 11 - Condições cromatográficas utilizadas em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

<i>Tempo (min)</i>	<i>Solvente A (%v/v)</i>	<i>Solvente B (%v/v)</i>	<i>Fluxo Total (mL min.⁻¹)</i>	<i>Comprimento de onda (nm)</i>
0	100	0	1,25	271
6	100	0	1,25	280
25	60	40	1,25	276
34	60	40	1,25	320
37	60	40	1,25	320
40	100	0	1,25	271

Solvente A: água: ácido acético 98:2 (%v/v). Solvente B: metanol: água: ácido acético 70:28:2 (%v/v)

- **Padrões Cromatográficos:** ácido gálico, 5-HMF, furfural, ácido vanílico, ácido siríngico, vanilina, siringaldeído, coniferaldeído, sinapaldeído (Sigma-Aldrich-St. Louis, USA). Todos de grau cromatográfico com pureza >99%.
- **Solventes:** Metanol (cromatográfico); ácido acético, água ultrapura purificada em sistema Mili-Q (Millipore). Filtração da Fase Móvel com membrana de ultrafiltração 0,45µm.
- **Amostras e padrões:** filtrados em sistema a vácuo de líquidos (Millipore, Manifold) com uma membrana filtrante de nylon com abertura de 0,45µm, ambos com 0,13 cm de diâmetro.

As amostras de cerveja foram degaseificadas por ultrassom durante 30 minutos, filtradas em filtro de 0,45µm e transferidas para o *vial* para análise.

Os parâmetros analíticos das análises cromatográficas foram determinados de acordo com a relação linear simples, descrita pela equação $y = ax + b$. A determinação do limite de detecção (LD), do limite de quantificação (LQ), o cálculo dos coeficientes de regressão das curvas analíticas (a , b , r^2), o tempo de retenção (min) para todos os compostos podem ser visualizados na Tabela 12.

Tabela 12 - Compostos relacionados à maturação da cerveja maturada em barril e com cubos de carvalho por três meses

Congêneres de maturação	TR ¹ (min)	LD ¹ (mg 100 mL ⁻¹ etanol anidro)	LQ ¹ (mg 100 mL ⁻¹ etanol anidro)	a ²	b	r ²
Ácido gálico	6,37	0,03	0,10	1821,48	55,92	0,9906
5-Hidroximetil-furfural	11,91	0,02	0,05	6071,74	89,23	0,9972
Furfural	14,09	0,01	0,04	5780,22	1032,35	0,9972
Ácido vanílico	24,01	0,05	0,17	1260,59	258,17	0,998
Ácido siríngico	26,59	0,03	0,09	2429,59	-104,75	0,9984
Vanilina	27,07	0,02	0,07	3108,58	-87,67	0,9992
Siringaldeído	29,15	0,05	0,17	1080,26	342,27	0,9936
Coniferaldeído	34,78	0,02	0,07	4545,65	148,97	0,9976
Sinapaldeído	35,84	0,03	0,10	3218,26	102,24	0,9931

¹ Tempo de Retenção (RT), Limite de Detecção (LD), Limite de Quantificação (LQ)

² coeficientes (a, b, r²) da curva de calibração

4.3.3 Análises de compostos voláteis por Cromatografia Gasosa – CG

As cervejas foram analisadas quanto à concentração de aldeídos, ésteres, metanol e álcoois superiores (somatório dos álcoois isobutílico, isoamílico e n-propílico) por cromatografia gasosa, utilizando um cromatógrafo CG-037, equipado com uma coluna empacotada PAAC 3334-CG e um detector de ionização de chama (FID). Como gás de arraste utilizou-se H₂, com vazão de 30 mL min.⁻¹. A temperatura do injetor foi programada para 170°C. A programação da temperatura da coluna isotérmica a 94°C e a temperatura do detector programada para 225°C.

4.3.4 Análise sensorial

Análise Sensorial é a usada para evocar (provocar), medir, analisar e interpretar reações às características dos alimentos e materiais como são percebidos pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1993).

Esta análise foi realizada no Departamento de Agroindústria. Alimentos e Nutrição da Universidade de São Paulo - *Campus* “Luiz de Queiroz”, composta por 50 voluntários, alunos e funcionários do *Campus* “Luiz de Queiroz”, entre 18 e 50 anos, com mais de 50 kg de peso corpóreo e que gostassem de cerveja.

A seleção dos provadores foi feita mediante questionário (Apêndice A) com objetivo de obter informações que pudessem excluí-los da análise. Não foram aceitos gestantes, lactantes, pessoas com problemas de saúde ou com problemas com o álcool.

As amostras codificadas com algarismos de três dígitos e aleatorizadas foram apresentadas aos provadores em copos de vidro contendo 30 mL de cada amostra, sendo a análise composta por 3 amostras: amostra do barril (tosta alta), amostra com cubos (tosta leve) e amostra testemunha. Todas as cervejas foram carbonatadas por carbonatação forçada.

A escala hedônica é um método de graduação da preferência que consiste em apresentar as amostras dos produtos, de maneira inteiramente ao acaso, aos provadores e perguntar-lhes sobre as suas preferências entre elas, segundo uma escala estabelecida.

Com o teste da escala hedônica, o indivíduo expressa o grau de gostar ou de desgostar de um determinado produto, de forma globalizada ou em relação a um atributo específico. A escala utilizada foi a de 9 pontos (Apêndice B), que contém os termos definidos situados entre “gostei muitíssimo” e “desgostei muitíssimo” para avaliar o quanto gosta ou desgosta de cada uma delas (ABNT, 2003).

4.4 Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada por meio da análise de variância (ANOVA) e do Teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$), utilizando-se o programa SAS (“Statistical Analysis System”), versão 9.3.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cervejas tipo Lager produzidas com 100% malte foram maturadas em barris de carvalho (B) ou armazenadas em recipientes de plástico em presença de cubos de carvalho de tosta leve (TL), tosta média (TM) e tosta alta (TA). As cervejas foram monitoradas mensalmente durante três meses quanto às alterações físico-químicas e sensorialmente no final do experimento.

5.1 Alterações físico-químicas

As análises de graduação alcoólica, turbidez, pH, acidez total, fenólicos totais, cor e amargor das cervejas (Tabela 13), tiveram como objetivo verificar possíveis alterações na qualidade que pudessem ser relacionadas ao seu armazenamento em contato com a madeira de carvalho.

Durante o armazenamento de bebidas alcoólicas em barris de madeira a bebida tende a ter uma diminuição da sua graduação alcoólica pela evaporação. Neste trabalho a graduação alcoólica não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 13), exceto a cerveja maturada no barril que apresentou diferença significativa, mas sem seguir um padrão que pudesse ser relacionada ao recipiente de armazenamento. Isso pode ser justificado devido ao armazenamento a 0°C que dificulta a evaporação.

A turbidez tende a diminuir durante o armazenamento da cerveja, pois as partículas em suspensão decantam, tornando a bebida mais límpida. Neste trabalho a turbidez diminuiu como o esperado, mas essa diminuição não houve diferença que pudesse ser atribuída à madeira. Somente no terceiro mês houve diferença significativa para todos os tratamentos (Tabela 13). O aumento da turbidez para tosta média no terceiro mês pode ser atribuído a um problema com a amostra. Os valores obtidos estão acima dos valores de referência da literatura para uma cerveja filtrada, <0,4 EBC (4 NTU= 1 EBC), indicando uma cerveja levemente turva, o que é justificado por não ter sido filtrada.

O pH também não sofreu alterações significativas durante o período de armazenamento. Somente no primeiro mês verificou-se diferença entre tratamentos e a testemunha, estando os valores dentro da faixa citada por Spedding (2012) que relata que as cervejas tipo *lager* e 100% malte apresentam valor de pH em torno de 4,0 a 5,0.

Tabela 13 - Análises físico-químicas de cervejas durante 3 meses de maturação

Análise	Tratamentos					
	Test	TL	TM	TA	B	
Grad. Alcoólica (% v/v)	1° mês	4,57 (Aa)	4,62 (Aa)	4,47 (Aa)	4,68 (Aa)	4,34 (Ba)
	2° mês	4,92 (Aa)	4,80 (Aa)	4,69 (Aa)	5,19 (Aa)	5,05 (Aa)
	3° mês	4,57 (Aa)	4,60 (Aa)	4,65 (Aa)	4,57 (Aa)	4,457 (Ba)
Turbidez (NTU)	1° mês	17,3 (Aa)	18,20 (Aa)	17,53 (Aa)	18,27 (Aa)	17,8 (Aa)
	2° mês	15,4 (Aa)	16,00 (Aa)	16,06 (Aa)	16,40 (Aba)	14,93 (Ba)
	3° mês	13,3 (Ab)	15,10 (Aab)	20,5 (Aa)	14,73 (Bab)	14,5 (Bab)
pH	1° mês	4,86 (Aa)	4,65 (Bb)	4,61 (Ab)	4,63 (Ab)	4,62 (Bb)
	2° mês	4,84 (Aa)	4,71 (Aa)	4,70 (Aa)	4,69 (Aa)	4,68 (Aa)
	3° mês	4,73(Aa)	4,72 (Aa)	4,57 (Aa)	4,67 (Aa)	4,64 (Aa)
Acidez total (mg H ₂ SO ₄ L ⁻¹)	1° mês	1,18 (Aa)	1,15 (Aa)	1,09 (Aa)	1,13 (Ba)	1,11 (Aa)
	2° mês	1,07 (Cb)	1,15 (Ab)	1,25 (Ab)	1,51 (Aa)	1,23 (Ab)
	3° mês	1,11 (Ba)	1,14 (Aa)	1,25 (Aa)	1,10 (Ba)	1,42 (Aa)
Fenólicos totais (mg 100mL ⁻¹)	1° mês	7,22 (Ca)	6,95 (Ba)	7,18 (Ca)	7,30 (Ca)	7,12 (Ca)
	2° mês	9,11 (Ba)	9,27 (Aa)	9,23 (Ba)	9,00 (Ba)	8,62 (Ba)
	3° mês	10,26 (Aab)	9,81 (Ab)	11,11 (Aab)	11,86 (Aa)	11,80 (Aa)
Cor (EBC)	1° mês	9,58 (Aa)	9,44 (Aa)	9,34 (Aa)	9,13 (Aa)	8,99 (Aa)
	2° mês	9,23 (Aa)	9,51 (Aa)	9,35 (Aa)	9,66 (Aa)	9,47 (Aa)
	3° mês	9,55 (Aab)	9,72 (Aa)	9,30 (Abc)	9,23 (Ac)	9,37 (Abc)
Amargor (IBU)	1° mês	17,15 (Cbc)	17,88 (Ab)	17,95 (Bb)	20,35 (Aa)	16,77 (Bc)
	2° mês	19,60 (Aa)	21,40 (Aa)	20,53 (Aa)	19,97 (Aa)	19,13 (Aa)
	3° mês	18,45 (Ba)	19,02 (Aa)	18,70 (Ba)	19,32 (Aa)	18,93 (Aa)

Letras maiúsculas são referentes às comparações de cada uma das análises na vertical e letras minúsculas na horizontal ($P < 0,05$). Test: testemunha; TL: tosta leve; TM: tosta média; TA: tosta alta e B: barril.

A acidez total variou durante o período de armazenamento das cervejas testemunha e com cubos de tosta alta, sendo que este último tratamento apresentou a maior acidez no segundo mês de amostragem.

Os compostos fenólicos tiveram um aumento significativo durante o período de armazenamento e somente no terceiro mês houve diferença significativa entre os tratamentos. O tratamento com os cubos de tosta leve apresentou a menor diferença com o tempo de armazenamento e a cerveja armazenada na presença dos cubos de tosta alta e o barril foram os tratamentos que obtiveram o maior incremento.

A cor não variou entre os tratamentos, nem durante o período de armazenamento. Os valores de cor estão dentro dos parâmetros para a cerveja estilo *Pilsen*, de 6 a 11 EBC (KUNZE, 1999).

Para o amargor houve diferença estatística durante o período de armazenamento para a testemunha, cubos com tosta média e barril. Os valores obtidos estão de acordo com os

parâmetros observados para uma cerveja *lager*, entre 15 e 25 IBU (BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM- BJCP, 2012b).

A análise dos parâmetros físico-químicos avaliados para as cervejas armazenadas em barris de carvalho e em presença de cubos de carvalho sugere que não houve variação suficiente que pudesse ser atribuída à maturação da cerveja em contato com a madeira de carvalho. As pequenas alterações ocorridas indicam que a cerveja não sofreu modificações em suas qualidades básicas durante o armazenamento em barril e com a adição de cubos.

Podem-se justificar as alterações sutis observadas devido à graduação alcoólica da cerveja utilizada no experimento (em torno de 5%). O álcool tem grande importância na extração dos compostos da madeira e participa de reações que alteram o perfil físico-químico das bebidas. A temperatura de maturação (0°C) foi um fator que influenciou significativamente nas concentrações e perfis desses compostos. Temperaturas elevadas favorecem a extração e favorecem as reações químicas. Além desses fatores, o tempo de contato foi relativamente curto (três meses). Em vinhos alguns compostos começam a ter concentrações mais elevadas após períodos mais longos, de 4 anos por exemplo. Bebidas alcoólicas com teor mais elevado de álcool conseguem extrair concentrações maiores de compostos fenólicos em menor tempo.

5.2 Alterações químicas nos compostos voláteis

Os compostos voláteis (aldeídos, ésteres e álcoois superiores) geralmente sofrem alterações durante o processo de armazenamento em barris de carvalho.

Os ésteres aumentaram significativamente durante o período de armazenamento e verificou-se diferença entre os tratamentos no terceiro mês de amostragem, sendo que o tratamento do barril foi o que apresentou maior aumento (Figura 12A). A reação de esterificação que ocorre entre os compostos ácidos e álcoois da bebida também ocorrem em recipientes inertes, o que justifica o aumento dos ésteres na amostra testemunha.

As concentrações de aldeídos nas amostras de cerveja se mantiveram abaixo de 10 mg L⁻¹ até o 2º mês de armazenamento. No 3º mês ocorreu um aumento significativo em comparação com o primeiro (Figura 12B). O aumento da concentração na amostra testemunha pode ser atribuído a uma possível oxidação pela entrada de oxigênio durante o processo de engarrafamento da cerveja. Para as outras amostras podem ser atribuído às alterações químicas que ocorrem dentro do barril oxidando os álcoois a aldeídos (REAZIN, 1981). Zunkel et al. (2011) citam concentrações de 2 a 19 mg L⁻¹ de acetaldeído, nesta pesquisa foi obtido valores de 2,8 a 36,6 mg L⁻¹.

O armazenamento de bebidas em contato com madeiras proporciona um aumento na concentração de aldeídos como apresentado por Nishimura e Matsuyama (1989); Alcarde et al. (2010), Miranda et al (2008).

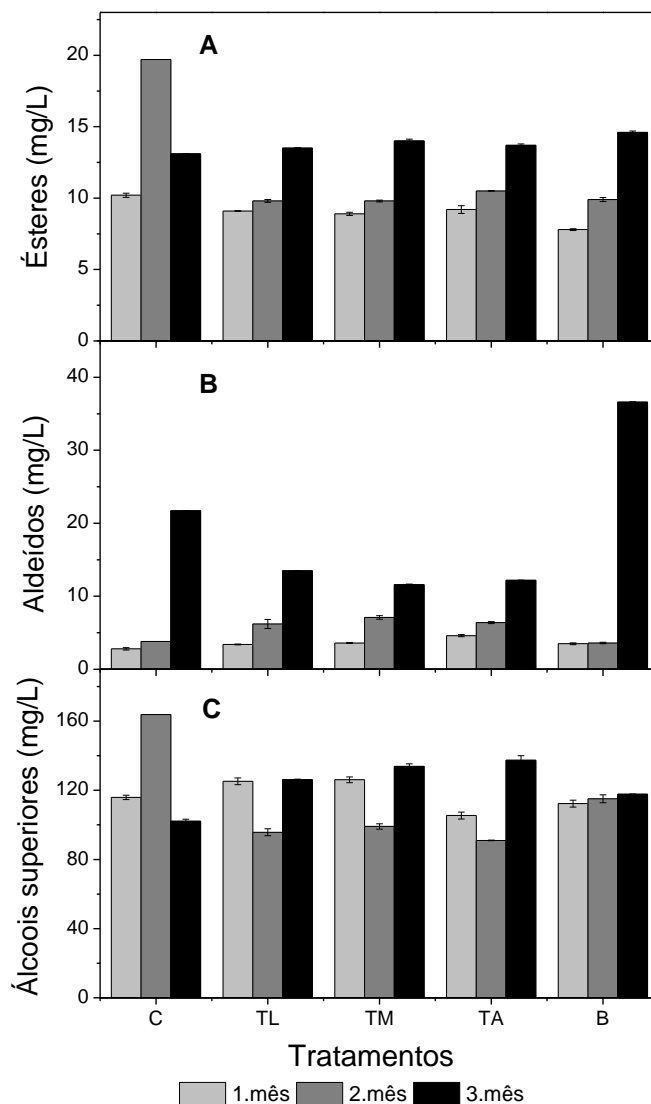


Figura 12 - Compostos voláteis obtidos após um mês, dois meses e três meses de maturação de cerveja tipo lager na presença de cubos de carvalho de tosta leve (LT), tosta média (MT), tosta alta (HT), barril de carvalho (B) e testemunha (C) e respectivos desvios padrão.

A reação de oxidação do etanol conduz a formação de acetaldeído. O acetaldeído é o principal aldeído presente na cerveja. Esses compostos são de grande importância no aroma das bebidas, quando presentes em baixas concentrações (HODGE, 1967 apud MOREIRA; TRUGO; DE MARIA, 2000; MAIA, 1994).

Os álcoois superiores (somatório dos álcoois isobutílico, isoamílico e n-propílico) apresentaram as maiores concentrações no 3º mês de armazenamento para os tratamentos com

cubos (Figura 12C). As amostras que tiveram contato com as madeiras apresentaram uma concentração maior desses compostos quando comparadas com a testemunha.

No trabalho de Fan, Xu e Yu (2006) com cidra maturada com fragmentos de carvalho usando diferentes tostas foram observadas pequenas diferenças na concentração de ésteres e álcoois superiores entre os diferentes níveis de tostas.

Renger, Hateren e Luyben (1992) estudando cervejas *lager* observaram que na concentração de álcoois superiores continha n-propanol (4-17) mg L⁻¹, isobutanol (4-57) mg L⁻¹, isoamílico (25-123) mg L⁻¹. Esses resultados são menores dos obtidos no presente trabalho, que variou de 90 a 160 mg L⁻¹.

Uma análise geral sobre os compostos voláteis (Figura 12) sugere que a presença de cubos de madeira ou maturação em barris de carvalho aumentou as concentrações desses compostos principalmente no terceiro mês de armazenamento das cervejas.

5.2.1 Alterações na composição dos congêneres de maturação.

Os congêneres de maturação (ácido gálico, 5-HMF, furfural, ácido vanílico, ácido siríngico, vanilina, coniferaldeído, siringaldeído e sinapaldeído) são os compostos extraídos pela bebida durante a maturação.

A cerveja apresenta em sua composição muitos ácidos fenólicos, dentre eles, alguns compostos característicos do processo de maturação de bebidas alcoólicas em barris de carvalho. A concentração desses compostos varia de um trabalho para outro.

A revisão realizada por Callemien e Collin (2009) apresenta concentrações de ácido gálico em cervejas variando de 0,007 a 0,020 mg L⁻¹ (MONTANARI et al., 1999); 0,2 a 1,2 mg L⁻¹ (MCMURROUGH et al., 1984); 0,01 a 2,7 mg L⁻¹ (WACKERBAUER; KRAMER, 1978); de 0,840 mg L⁻¹ (FLORIDI et al., 2003).

Os resultados obtidos no primeiro mês de coleta das amostras de cerveja apresentaram concentração em torno de 2,5 mg L⁻¹ e no último mês a testemunha permaneceu por volta desta concentração enquanto as amostras dos cubos com tosta alta e do barril apresentaram 17,18 e 12,91 mg L⁻¹ respectivamente. Pode-se observar que a madeira influenciou o aumento desse congêner, na verdade, a presença dos cubos de madeira com tosta alta foi mais eficiente que o barril (Figura 13A). Diversos trabalhos (AQUINO et al., 2006; SILVA, 2006, VAN JAARSVELD; HATTINGH; MINNAAR, 2009a; CABRITA et al., 2004) com maturação de bebidas em carvalho apresentam valores para este ácido que variaram de 0,8 a 7,4 mg L⁻¹ (Tabela 14).

Os aldeídos furânicos 5-HMF e Furfural estão presentes na cerveja e estão relacionados com o processo de deterioração da cerveja comum (não maturada). Li et al. (2009) analisando cervejas jovens e envelhecidas observaram que nas cervejas jovens a concentração de 5-HMF variou de 0,7 mg L⁻¹, no máximo 1,91 mg L⁻¹. Já de furfural permaneceu entre 11 e 30 µg L⁻¹.

O 5-HMF e o furfural são formados também a partir do tostado interno da madeira, pela degradação da celulose e hemicelulose, o que proporciona em bebidas maturadas em barris de madeira um aumento da concentração desses compostos. Em bebidas maturadas em carvalho (Tabela 14) a concentração de 5-HMF permaneceu em torno de 0,4 a 4,6 mg L⁻¹.

As concentrações de 5-HMF na cerveja tipo lager, observadas nesse trabalho, tiveram um aumento após 2 meses de armazenamento em presença dos cubos de madeira ou no barril (Figura 13B), permaneceram em torno de 3,5 mg L⁻¹, independente do tipo de tosta dos cubos, exceto para a amostra testemunha que apresentou 0,6 mg L⁻¹ após 3 meses de armazenamento. A concentração de furfural, ao contrário, apresentou diminuição após o 1º mês de armazenamento (Figura 13C), atingindo valores próximos a 0,3 mg L⁻¹. Na Tabela 14 pode-se verificar que as bebidas em contato com madeira tiveram uma concentração deste composto de 1 a 1,9 mg L⁻¹, valores muito superiores aos encontrados nesse trabalho. Esses resultados podem ser relacionados ao baixo teor alcoólico da cerveja em comparação com vinhos e destilados.

Os valores de sinapaldeído encontrados para bebidas maturadas em madeira apresentam valores maiores do que encontrados na cerveja do presente estudo (Tabela 15). O valor encontrado em trabalho realizado por Cabrita et al. (2004) com vinho sintético em contato com fragmentos de carvalho francês apresentou concentração de 1,19 mg L⁻¹.

O sinapaldeído teve sua concentração reduzida com o passar do tempo, não apresentando diferença significativa no terceiro mês de armazenamento entre as amostras (Figura 13D).

Quanto à concentração de siringaldeído ocorreu um aumento nas amostras em contato com a madeira significativamente maior que a testemunha (Figura 13E). Esse composto é formado pela quebra da lignina durante a tosta da madeira, mas também é encontrado na composição da cerveja. Tressl et al. (1975) apud Callemien e Collin (2009) cita concentrações inferiores a 0,01 mg L⁻¹ Achilli, Cellerino e Gamache (1993) cita 0,7 mg L⁻¹ de siringaldeído na cerveja.

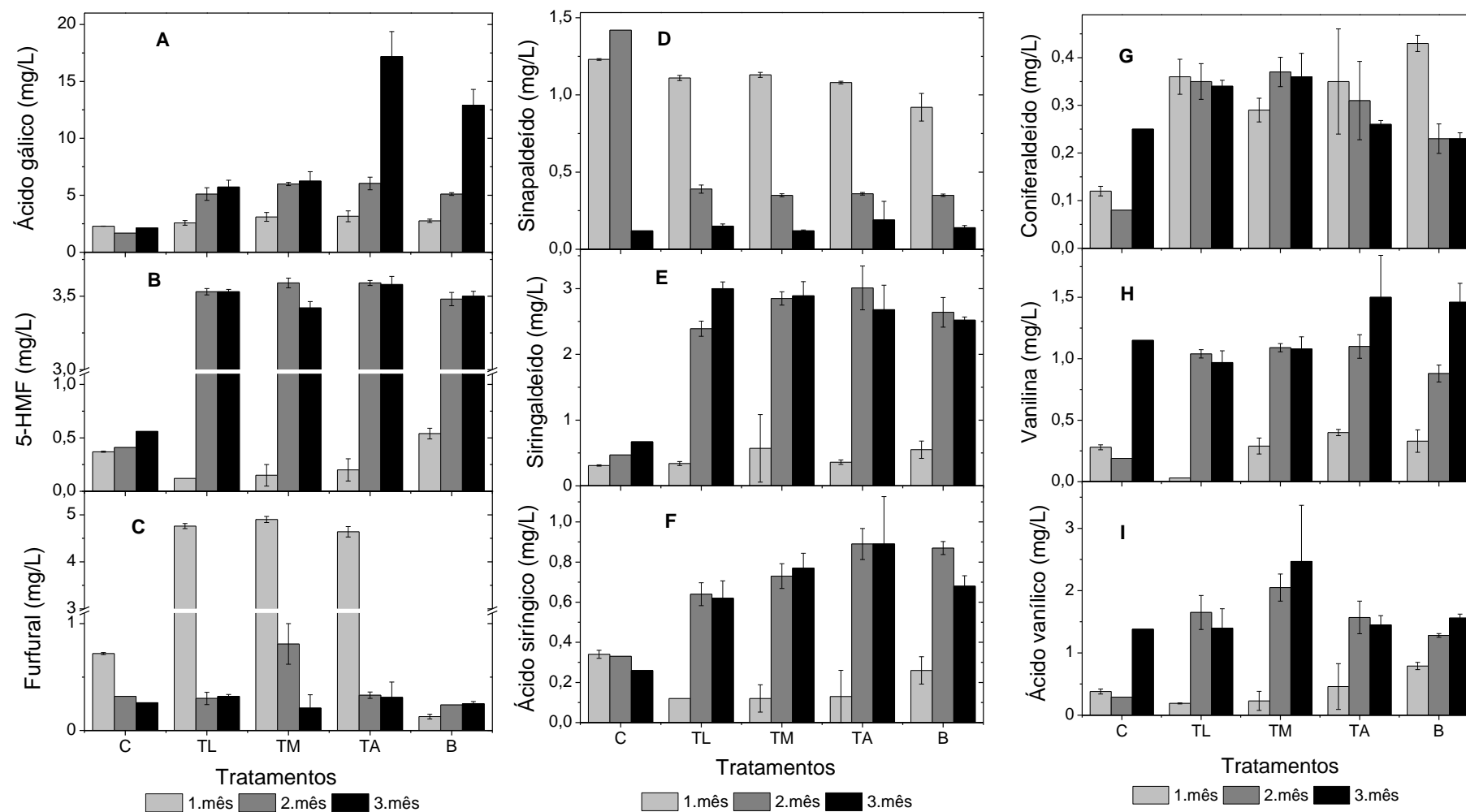


Figura 13 - Evolução dos congêneres de maturação ao longo dos três meses e respectivos desvios padrão. Testemunha (C); Tosta Leve (TL) Tosta média (TM) Tosta alta (TA) e Barril (B)

Tabela 14 - Concentração de congêneres de maturação em diferentes bebidas

(continua)

Composto	Concentração (mg L ⁻¹)	Bebida ou Solução	Madeira	Referência
Ácido gálico	0,63	Cachaça cearense envelhecida	-	AQUINO, 2004
	0,85-6,21	Cachaça	Barril de carvalho	SILVA, 2006
	3,63	Solução sintética de vinho 13,8% etanol	Fragmentos de carvalho francês	CABRITA et al., 2004
	3,40	Uísque escocês 63,4% etanol	Barril de carvalho	CLYNE et al., 1993
	7,38	Brandy 65% etanol	Fragmentos de carvalho francês	VAN-JAARVELD; HATTINGH; MINNAAR, 2008
Ácido siríngico	2,10	Cachaça cearense	-	AQUINO, 2004
	1,70	Uísque escocês 63,4% etanol	Barril de carvalho	CLYNE et al., 1993
	3,08	Brandy 65% etanol	Fragmentos de carvalho	VAN-JAARVELD; HATTINGH; MINNAAR, 2008
Ácido vanílico	0,90	Cachaça cearense envelhecida	-	AQUINO, 2004
	0,29-4,10	Cachaça		SILVA, 2006
	0,29	Solução sintética de vinho 13,8% etanol	Fragmentos de carvalho francês	CABRITA et al., 2004
	3,20	Uísque escocês 63,4% etanol	Barril de carvalho	CLYNE et al., 1993
	1,86	Brandy 65% etanol	Fragmentos de carvalho	VAN-JAARVELD; HATTINGH; MINNAAR, 2008
Coniferaldeído	0,033	Vinho (11,5%)	Barril de carvalho	ARAPITSAS et al., 2003
	0,51	Cachaça cearense	-	AQUINO, 2004
	2,62	Solução sintética de vinho 13,8% etanol	Fragmentos de carvalho francês	CABRITA et al., 2004
	7,50	Uísque escocês 63,4% etanol	Barril de carvalho	CLYNE et al., 1993
Furfural	1,09	Cachaça cearense envelhecida	-	AQUINO, 2004
	1,91	Vinho (11,5%)	Barril de carvalho	ARAPITSAS et al., 2003
5-HMF	3,11	Cachaça cearense envelhecida	-	AQUINO, 2004
	0,44	Solução sintética de vinho 13,8% etanol	Fragmentos de carvalho francês	CABRITA et al., 2004
	4,61	Brandy (65% etanol)	Fragmentos de carvalho	VAN-JAARVELD; HATTINGH; MINNAAR, 2008

Tabela 14 - Concentração de congêneres de maturação em diferentes bebidas

(conclusão)				
Composto	Concentração (mg L ⁻¹)	Solução	Madeira	Autor
Siringaldeído	5,24	Cachaça cearense	-	AQUINO, 2004
	0,86-2,71	Cachaça envelhecida	-	SILVA, 2006
	1,19	Solução sintética de vinho 13,8% etanol	Fragmentos de carvalho francês	CABRITA et al., 2004
	6,20	Uísque escocês 63,4% etanol	Barril de carvalho	CLYNE et al., 1993
Vanilina	1,31	Cachaça cearense	-	AQUINO, 2004
	2,10	Vinho (11,5%)	Barril de carvalho	ARAPITSAS et al., 2003
	0,16-0,80	Cachaça envelhecida	-	SILVA, 2006
	1,70	Uísque escocês 63,4% etanol	Barril de carvalho	CLYNE et al., 1993
	3,85	Brandy 65% etanol	Fragmentos de carvalho	VAN-JAARSVELD; HATTINGH; MINNAAR, 2008
Sinapaldeído	1,46	Cachaça cearense	-	AQUINO, 2004
	4,04	Solução sintética de vinho 13,8% etanol	Fragmentos de carvalho francês	CABRITA et al., 2004
	9,50	Uísque escocês 63,4% etanol	Barril de carvalho	CLYNE et al., 1993
	16,49	Brandy 65% etanol	Fragmentos de carvalho	VAN-JAARSVELD; HATTINGH; MINNAAR, 2008

As concentrações de ácido siríngico ficaram abaixo de 1 mg L⁻¹, sendo que a amostra testemunha apresentou valores inferiores às demais amostras. O ácido siríngico é encontrado na composição da cerveja em concentrações que variam de 0,017 mg L⁻¹ (MONTANARI et al. 1999) a 2,2 mg L⁻¹ (MCMURROUGH; ROCHE; CLEARY, 1984).

O coniferaldeído e o sinapaldeído são compostos oriundos da degradação térmica da lignina. As amostras analisadas para coniferaldeído apresentaram concentrações semelhantes ao longo do período de maturação. Já a concentração de sinapaldeído reduziu significativamente.

A vanilina apresentou um aumento no terceiro mês em relação ao primeiro, sendo a tosta alta a que apresentou o maior aumento (Figura 13H). Esse composto pode ser encontrado na cerveja em concentrações muito pequenas variando de 0,01 mg L⁻¹ (TRESSL et al., 1975 apud CALLEMIEN; COLLIN, 2009) até 1,6 L mg L⁻¹ (ACHILLI; CELLERINO; GAMACHE, 1993). Nos trabalhos citados na Tabela 15 encontraram-se quantidades de vanilina que variaram de 0,16 a 3,85 mg L⁻¹.

O ácido vanílico é encontrado na composição da cerveja e trabalhos citados por Callemien e Collin (2009) apresentam os valores: 0,01 a 2,15 (WACKENBAUER; KRAMER, 1978), 1,5 a 12,7 mg L⁻¹ (MCMURROUGH; ROCHE ; CLEARY, 1984), 3,6 mg L⁻¹ (ACHILLI; CELLERINO; GAMACHE, 1993), 0,737 mg L⁻¹ (FLORIDI et al., 2003), 0,062 a 0,097 mg L⁻¹ (MONTANARI et al., 1999). Bebidas alcoólicas maturadas em carvalho (Tabela 14) apresentaram concentrações de 0,2 a 1,8 mg L⁻¹ de ácido vanílico. Os resultados avaliados nesse trabalho estão nesta faixa, porém não se pode atribuir exclusivamente à madeira, pois a amostra testemunha também apresentou esse incremento que mesmo que menor intensidade que as outras amostras, resultando em semelhança estatística entre os tratamentos.

Segundo Nishimura et al. (1983) apud Nishimura e Matsuyama (1989) os compostos fenólicos de baixo peso molecular sofrem modificações químicas durante o processo de maturação das bebidas nos barris de madeira como consequência da oxidação desses compostos. De acordo com os autores citados, o coniferaldeído oxida resultando em vanilina, que por sua vez se oxida em ácido vanílico e a etil vanilato. Essas reações de oxidação poderiam explicar a manutenção da concentração do coniferaldeído (Figura 13G) e o aumento das concentrações de vanilina e do ácido vanílico. O decréscimo na concentração do sinapaldeído e a subsequente formação de siringaldeído também podem ser explicados pela oxidação do sinapaldeído em siringaldeído e da oxidação desse a ácido siríngico (Figura 13F).

Os aldeídos cinâmicos apresentaram uma diminuição com o passar do tempo, enquanto os aldeídos benzóicos tiveram suas concentrações aumentadas (Tabela 15). Esses resultados confirmam a transformação desses aldeídos (coniferaldeído e sinapaldeído) pela oxidação, gerando outros compostos (vanilina e siringaldeído) ao longo do tempo como citado por Nishimura et al. (2003) apud Nishimura e Matsuyama (1989).

Tabela 15 - Concentração de aldeídos benzóicos e cinâmicos encontrados em cerveja tipo lager, armazenada por três meses com cubos de tosta leve (TL), tosta média (TM), tosta alta (TA), barril (B) e testemunha (C)

Tratamentos	Aldeídos benzóicos			Aldeídos cinâmicos		
	1º mês	2º mês	3º mês	1º mês	2º mês	3º mês
C	0,59	0,66	1,82	1,35	1,5	0,37
TL	0,37	3,44	3,97	1,48	0,74	0,49
TM	0,86	3,94	3,97	1,42	0,72	0,48
TA	0,75	4,11	4,18	1,43	0,67	0,45
B	0,88	3,53	3,98	1,36	0,58	0,37

5.3 Análise Sensorial

A análise sensorial das amostras de cerveja tipo lager neste trabalho teve como objetivo avaliar a aceitação da cerveja maturada com madeira de carvalho.

Participaram da análise 50 voluntários, sendo 31 homens e 19 mulheres, de 18 a 60 anos, que afirmaram gostar de cerveja.

Os valores obtidos na Análise sensorial foram analisados por Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey ($p \geq 0,05$) para comparação entre as médias.

Em relação à aceitação, não houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as amostras (Tabela 16), mas todas foram consideradas “boas” (nota 6 e 7: gostei ligeiramente e moderadamente respectivamente).

Tabela 16 - Análise sensorial (pontos Escala Hedônica) das cervejas

Amostra	Aroma	Sabor	Cor	Impressão global
Testemunha	6,90 a \pm 1,13	6,96 a \pm 1,60	7,23 a \pm 1,13	7,00 a \pm 1,36
Cubo (LT)	6,70 a \pm 1,65	6,62 a \pm 1,62	7,11 a \pm 1,60	6,64 a \pm 1,60
Barril	6,62 a \pm 1,43	6,36 a \pm 1,85	7,03 a \pm 1,43	6,62 a 1,57

Apesar de não haver diferença estatística significativa entre os tratamentos, foi observado no campo “comentários” da ficha de avaliação que alguns provadores perceberam notas de madeira no sabor e aroma das cervejas maturadas.

O composto responsável pelo aroma de baunilha foi o único que apresentou concentração superior ao limite de detecção sensorial para a cerveja. Todos os outros compostos tiveram concentrações abaixo desse limite sensorial (Tabela 17).

Tabela 17 - Limite de detecção de compostos aromáticos na cerveja

Composto	valor obtido 3.mês tosta alta (mg/L)	valor obtido 3. mês barril (mg/L)	limite de detecção (mg/L)	Descrição
Vanilina	1,5	1,46	0,5 ⁽¹⁾	Baunilha
Ácido gálico	17,18	12,91	50 ⁽¹⁾	Adstringente
Ácido vanílico	1,45	1,56	20 ⁽¹⁾	Adstringente
ácido siríngico	0,89	0,68	10 ⁽¹⁾	Amargo
Furfural	0,31	0,25	15,15 ⁽²⁾	Caramelo, pão
5-HMF	3,58	3,5	35,78 ⁽²⁾	Caramelo, pão

⁽¹⁾ Callemien e Collin, 2011

⁽²⁾ Saison et al., 2009

Trabalhos sobre avaliação sensorial de cerveja nos quais foram utilizado teste de aceitação (escala hedônica) e análise descritiva quantitativa (ADQ) apontam que as diferenças normalmente não são notadas por provadores não treinados, por estes não possuem conhecimento para avaliar corretamente alguns atributos da cerveja (ARAÚJO; SILVA; MINIM, 2003; SIQUEIRA, 2007).

6 CONCLUSÃO

O uso de madeira de carvalho em cubos de diferentes tostas ou barril alterou a composição dos congêneres de maturação da cerveja, indicando interação entre ambos e a extração de compostos da madeira pela cerveja. A pequena alteração nas análises físico-químicas das cervejas maturadas neste experimento sugere que a madeira de carvalho não prejudicou a qualidade da cerveja.

Os cubos de madeira de tosta alta e média apresentaram concentrações de compostos aromáticos similares ao barril, indicando que o uso de fragmentos é uma alternativa eficiente de baixo custo quando comparado aos barris.

A intensidade de maturação da cerveja pode ter sido reduzida devido à baixa graduação alcoólica da bebida (5%v/v), à baixa temperatura de maturação (0°C) e ao curto período de maturação (3 meses).

A análise sensorial com escala hedônica não permitiu identificar diferenças entre as amostras, o que sugere que uma análise descritiva quantitativa (ADQ) com painel treinado seja mais indicada para identificar as alterações que ocorrem na cerveja maturada em carvalho.

Mais estudos aumentando o tempo de contato da madeira com a cerveja, além do uso de diferentes temperaturas e com outros tipos de cerveja são importantes para se entender melhor as interações entre esta bebida e a madeira.

REFERÊNCIAS

- ACHILLI, G.; CELLERINO, G.P.; GAMACHE, P.H. Identification and determination of phenolic constituents in natural beverages and plant-extracts by means of a coulometric electrode array system. **Journal of Chromatography**, Baltimore, v. 632, n. 1/2, p. 111–117, 1993.
- ACLDAND, T. **The composition of oak and an overview of its influence on maturation**. Disponível em: <<http://www.homedistiller.org/oak.pdf>>. Acesso em: 15 dez.2012.
- AEB-GROUP. **Boisèlevage**. Disponível em: <<http://www.aeb-group.com/imgs/PORTOGHESE/Depliant/BOISELEVAGE.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2011.
- ALCARDE, A.R.; SOUZA, P.A.; BELLUCO, A.E.S. Aspectos da composição química e aceitação sensorial da aguardente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 226-232, maio 2010.
- ALMEIDA E SILVA, J.B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W.G. **Tecnologia de Bebidas: matéria prima, processamento BPF/APPCC, legislação e mercado**. São Paulo: Edgar Blücher, 2005. p. 347-382.
- AMARANTE, J.O.A.D. **Os segredos do vinho**. São Paulo: Mescla Editorial, 2005. 568 p.
- AMERINE, M.A.; OUGH, C.S. **Methods for analysis of musts and wines**. New York: John Wiley, 1980. 341 p.
- AQUINO, F.W.B. **Determinação de compostos fenólicos em extratos de *Amburana cearenses* (Fr. All.) A.C. Smith e em aguardentes de cana envelhecidas no Ceará**. 2004. 93 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.
- AQUINO, F.W.B.; NASCIMENTO, R.F.; RODRIGUES, S.; CASEMIRO, A.R. Determinação de marcadores de envelhecimento em cachaças. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 145-149, 2006.
- ARAPITSAS, P.; ANTONOPOULOS, A.; STEFANOU, E.; DOURTOGLOU, V.G. Artificial aging of wines using oak chips. **Food Chemistry**, Radarweg, v. 86, n. 4 p. 563–570, 2003.
- ARAÚJO, F.B.; SILVA, P.H.A.; MINIM, V.P.R. Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 121–128, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12806**: alimentos e bebidas. Análise sensorial. Rio de Janeiro, 1993. 8 p.
- AZEVEDO, L.C.; REIS, M.M.; SILVA, L.A.; ANDRADE, J.B. Efeito da presença e concentração de compostos carbonílicos na qualidade de vinhos. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 1968-1975, 2007.

BARREL BUILDERS, I. **What you should know about oak chips**. 2008. Disponível em: <http://www.barrelbuilders.com/admin/content/oak_chips_info.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2012.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. **Química da madeira**. Piracicaba: ESALQ, 1985. 125 p.

BAUTISTA-ORTÍN, A.B.; LENCINA, A.G.; CANO-LÓPEZ, M.; PARDO-MÍNGUEZ, F.; LÓPEZ-ROCA, J.M.; GÓMEZ-PLAZA, E. The use of oak chips during the ageing of a red wine in stainless steel tanks or used barrels: effect of the contact time and size of the oak chips on aroma compounds. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v.14, n. 2, p. 63-70, 2008.

BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM. Disponível em: <<http://www.bjcp.org/stylecenter.php>>. Acesso em 20 dez. 2012a.

_____. **Style guidelines**. Disponível em: <<http://www.bjcp.org/stylecenter.php>>. Acesso em: 18 dez. 2012b.

BERNOTIENE, G.; NIVINSKIENE, O.; BUTKIENE, R.; MOCKUTE, D. Chemical composition of essential oils of hops (*Humulus lupulus* L.) growing wild in Aukstaitija. **Chemija**, Vilnius, v. 15, n. 2, p. 31–36, 2004.

BORGES, E.P. Aromas da madeira. **Revista ADEGA**, 2009. Disponível em: <<http://revistaadega.uol.com.br/Edicoes/2/artigo11881-1.asp>>. Acesso em: 25 ago. 2012.

BRADDEE, L.H. Adjuntos. In: BRODERICK, H.M. **El cervecero en la practica: un manual para la indústria cervecera**. 2. ed. Lima: Graficas SUR, 1977. cap. 4, p. 53-82.

BRASIL. Leis, decretos, etc. **Decreto n. 6.871, de 4 de junho de 2009**. Regulamenta a lei n° 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm>. Acesso em: 05 set. 2012.

_____. Instrução Normativa n° 13 de 29 de junho de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 de junho de 2005a. Disponível em: <<http://imanet.ima.mg.gov.br/nova/gec/Legislacao/mapa/IN13.pdf>>. Acesso em: 02 jan.2013.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 24, de 08 de setembro de 2005. Aprova o manual operacional de bebidas e vinagres. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 09 set. 2005b.

BRASIL BRAU. **Crescem investimentos no mercado de cervejas especiais**. Brasil Brau - Feira Internacional de Tecnologia em Cerveja, 2011. Disponível em: <<http://www.brasilbrau.com.br/pdf/investimentos.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2012.

BREWERS ASSOCIATION. **Beer style guidelines**. Disponível em: <<http://www.brewersassociation.org/pages/business-tools/publications/beer-style-guidelines>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

BENITO, S.; PALOMERO, F.; MORATA, A.; CALDERÓN, F.; SUÁREZ-LEPE, JA. A method for estimating Dekkera/Brettanomyces populations in wines. **Journal of Applied Microbiology**, Bedford, v. 106, n. 5, p. 1743-1751, Feb. 2009.

BOSCOLO, M.; LIMA NETO, B.S.; FRANCO, D.W. O envelhecimento de aguardente de cana-de-açúcar em tonéis de madeira. **O Engarrafador Moderno**. São Caetano do Sul, v. 41, n. 1, p. 30-33, 1995.

CANAS, S.; QUARESMA, H.; BELCHIOR, A.P.; SPRANGER, M.I.; BRUNO -DE - SOUZA, R. Evaluation of wine brandies authenticity by the relationships between benzoic and cinnamic aldehydes and between furanic aldehydes. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, Dois Portos, v. 19, n. 1, p. 13 27, 2004.

CABRITA, M.J.; BARROCAS DIAS, C. COSTA FREITAS, A.M. Phenolic acids, phenolic aldehydes and furanic derivatives in oak chips: American vs. French Oaks. **South African Journal for Enology and Viticulture**, Stellenbosh, v. 32, n. 2, p.204-210, 2011.

CABRITA, M.J.; ROQUE, H.; RAQUEL, G.; DIAS, C. Ácidos fenólicos, aldeídos fenólicos e derivados furânicos em aparas de madeira de carvalho francês e americano. In: SIMPÓSIO DE VITIVINICULTURA DO ALENTEJO, 8, 2010, Alentejo. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10174/5871>>. Acesso em: 06 fev. 2013.

CALDEIRA, I.; ANJOS, O.; PORTAL, V.; BELCHIOR, A. P.; CANAS, S. Sensory and chemical modifications of wine-brandy aged with chestnut and oak wood fragments in comparison to wooden barrels. **Analytica Chimica Acta**, Louisville, v. 660, n. 1, p. 43-52, 2010.

CALLEMIEN, D.; COLLIN, S. Structure, organoleptic properties, quantification methods and stability of phenolic compounds in beer: a review. **Food Reviews International**, Philadelphia, v. 26, n. 1, p. 1-84, 2009.

CARVALHO. A. **Madeiras portuguesas**: estrutura anatómica, propriedades, utilizações. Lisboa: Instituto Florestal, 1996. v. 1.

CARVALHO, G.B.M.; BENTO, C.V.; ALMEIDA e SILVA, J.B. Elementos biotecnológicos Fundamentais no processo cervejeiro. Parte 1. As leveduras. **Revista Analytica**, Rio de Janeiro, n. 25, p. 36-42, out./nov. 2006.

CENTER FOR WOOD ANATOMY RESEARCH. **Technology transfer**. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/TechSheets/HardwoodNA/pdf_files/quercuseng.pdf>. Acesso em: 12 set. 2012.

CEREDA, M.P. Cervejas. In: AQUARONE, E.; LIMA, U.A.; BORZANI, W. **Biotechnologia**: alimentos e bebidas produzidos por fermentação. São Paulo: Edgard Blücher, 1985. v. 5, p. 44-78.

CLYNE, J.; CONNER, J.M.; PATERSON, A.; PIGGOTT, J.R. The effect of cask charring on Scotch whisky maturation. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 28, n. 1, p. 69-81, 1993.

COMPTON, J. Beer quality and taste methodology. In: BRODERICK, H.M. (Ed.). **The practical brewer: a manual for the brewing industry**. 2nd ed. Madison: MBAA, 1978. chap. 15, p. 288-308.

COPELLO, M. **Madeira**: mar de vinho. Disponível em: <www.mardevinho.com.br>. Acesso em: 13 ago. 2012.

DELGADO, T.; GÓMEZ CORDOVÉS, C.; VILLARROYA, B. Relationships between phenolic compounds of low molecular weight as indicators of the aging conditions and quality of brandies. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 41, p. 342-345, 1990.

DIAS, S.; MAIA, A.; NELSON, D. Efeito de diferentes madeiras sobre a composição da aguardente de cana envelhecida. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 331-334, 1998.

DRAGONE, G.; ALMEIDA E SILVA, J.B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W.G. (Coord.). **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Ed. Blücher, 2010. v. 1, cap. 2, p. 15-50.

EUROPEAN BREWERY CONVENTION. Analysis Committee. **Analytica-EBC**. London: Elsevier, 1963. Method 8.5 Revised Oct. 2000.

_____. **Analytica-EBC**. London: Elsevier, 1963. Method 9.8. Revised Oct. 2004.

EHRHARDT, P.; SASSEN, H. **A Cevada**. Vassouras: Senai-DR/RJ, 1995, 33 p.

EIRIZ, N.; OLIVEIRA, J.F.S.; CLÍMACO, M.C. Fragmentos de madeira de carvalho no estágio de vinhos tintos. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, Dois Portos, v. 22, n. 2, p. 63-71, 2007.

ESSLINGER, H.M.; NARZISS, L. Beer. In: _____. **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry**. Freiberg; Sachsen, 2009.

EYDOUX, H.-P. **A ressurreição da Gália**. Rio de Janeiro: Editions Ferni, 1979. 71 p. (Grandes Civilizações Desaparecidas).

FAN, W.; XU, Y.; YU, A. Influence of oak chips geographical origin, toast level, dosage and aging time on volatile compounds of apple cider. **Journal of the Institute of Brewing**, London, v. 112, n. 3, p. 255-263, 2006.

FAO. **FAOSTAT**. 2010. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 13 set. 2012.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood-chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FIGUEROA, M.J.M.; MORAES, P.D. de. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/9547/7050>>. Acesso em: 15 out. 2012.

FISCHER-BENZON, R.V. **Altdeutsche Gartenflora**. Untersuchungen über die Nutzpflanzen des deutschen Mittelalters, ihre Wanderung und ihre Vorgeschichte im klassischen Altertum. Leipzig: Kiel, Lipsius & Tischer, 1894. 254 p.

FLORIDI, S.; MONTONARI, L.; MARCONI, O.; FANTOZZI, P. Determination of free phenolic acids in wort and beer by coulometric array detection. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 51, n. 6, p. 1548–1554, 2003.

FRESHOPS. **Hop variety descriptions**. Disponível em: <http://www.freshops.com/hops/variety_descriptions>. Acesso em: 30 jan. 2013.

GONZAGA, A.L. **Madeira**: uso e conservação. Brasília: IPHAN; MONUMENTA, 2006. 246 p.

GORINSTEIN, S.; CASPI, A.; ZEMSER, M.; TRAKHTENBERG, S. Comparative contents of some phenolics in beer, red and white wines. **Nutrition Research**, Connecticut, v. 20, p. 131–139, 2000.

GÜNTHER, C.; MOSANDL, A. 3-Methyl-4-octanolid “Quercuslacton, Whiskylacton” Struktur und eigenschaften der stereoisomeren. **Liebigs Annalen der Chemie**, Weinheim, v. 1986, n. 12, p. 2112-2122, 1986.

GUTIÉRREZ AFONSO, V.L. Sensory descriptive analysis between white wines fermented with oak chips and in barrels. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 67, p. 2415 - 2419, 2002.

HOADLEY, R.B. Drying wood. In: _____. **Fine working on wood and how to dry it**. Newtown: Taunton Press, 1986. p. 78-89.

HORNSEY, I.S. **A history of beer**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2003. 742 p.

HOUGH, J.S. **Biología de la cerveza y de la malta**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1990. 194 p.

HUGHES, P.S.; BAXTER, E.D. **Beer**: quality, safety and nutritional aspects. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001. 139 p.

JOHNSON, H. **A história do vinho**. Tradução de E.M. Piereck. São Paulo: CMS, 2009. 256 p.

KIRIN HOLDINGS. **Global beer production by country in 2011**. Disponível em: <http://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2012/0808_01.html>. Acesso em: 12 set. 2012.

KLOCK, U.; MUNIZ, G.I.B. **Química da madeira**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005. 96 p. (Série Didática, 01/05).

KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. 2nd ed. Berlin: VLB, 1999. 726 p.

LEÃO, M.M. **Influência do termotratamento na composição química da madeira de amburana (*Amburana cearensis*), bálsamo (*Myroxylonbalsamum*) e carvalho (*Quercus* sp.) e o impacto de uma solução modelo de cachaça**. 2006. 85 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

LEÃO, R.M. **Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia**. Piracicaba: Fermentec, 2003. 448 p.

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

LI, M.; YANG, Z.; YANG, M.; SHAN, L.; DONG, J. Determination of furfural in beer by high-performance liquid chromatography with solid-phase extraction. **Journal of the Institute of Brewing**, London, v. 115, n. 3, p. 226-231, 2009.

MAIA, A.B. Componentes secundários da aguardente. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 12, n. 6, p. 29-34, jul./ago. 1994.

MANGAS, J.; RODRÍGUEZ, R.; MORENO, J.; SUÁREZ, B.; BLANCO, D. Evolution of aromatic and furanic congeners in the maturation of cider brandy: A contribution to its characterization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 44, p. 3303-3307, 1996.

MCMURROUGH, I.; ROCHE, G.P.; CLEARY, K.C. Phenolics acids in beers and worts. **Journal of the Institute of Brewing**, London, v. 90, p. 181-187, 1984.

MIRANDA, M.B.; MARTINS, N.G.S.; BELLUCO, A.E.S.; HORII, J.; ALCARDE, A.R. Perfil físico-químico de aguardente durante envelhecimento em tonéis de carvalho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 84-89, 2008.

MONTANARI, L.; PERRETI, G.; PATELLA, F.; GIUDI, A.; FANTOZZI, P. Organic and phenolic acids in beer. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, Zürich, v. 32, p. 535-539, 1999.

MORADO, R. **Larousse da cerveja**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009. 357 p.

MOREIRA, R.F.A.; TRUGO, L.C.; DE MARIA, C.A.B. Compostos voláteis de café torrado. Parte II. Compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 195-201, 2000.

MOSEDALE, J.R. Effects of oak wood on the maturation of alcoholic beverages with particular reference to whisky. **Forestry**, London, v. 3, n. 68, p. 203-230, Jan., 1994.

MOSEDALE, J.R.; PUECH, J- L. Wood maturation of distilled beverages. **Trends in Food Science & Technology**, Colney, v. 9, n. 3, p. 95 - 101, 1998.

MOSHER, R. Roll out the barrel: all about. **Beer Magazine**, Jan.2005. Disponível em: <<http://allaboutbeer.com/learn-beer/home-brewing/equipment/2005/01/roll-out-the-barrel/>>. Acesso em: 11 set. 2012.

MUNROE, J.H. Fermentation. In: HARDWICK, W.A. (Ed.). **Handbook of brewing**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 323-379.

NADALIE. **Oak Add Ins**™. Disponível em: <http://www.nadalie.com/oak-alternatives.php>
Acesso em: 12 set. 2012.

NYKÄNEN, L.; SUOMALAINEN, H. **Aroma of beer, wine and distilled alcoholic beverages**. Berlin: Akademic-Verlag, 1983. 233 p.

NICKERSON, G.B.; VAN ENGEL, E.L. Hop aroma component profile and the aroma unit. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, Minnesota, v. 50, p. 77-81, 1992.

NISHIMURA, K.; MATSUYAMA, R. Maturation and maturation chemistry. In: PIGGOTT, J.R.; SHARP, R.; DUNCAN, R.E.B. (Ed.). **The science and technology of whiskies**. New York: Longman Scientific & Technical, 1989. chap. 8, p. 235-263.

NIXON, K.C. Global and Neotropical distribution and diversity. In: KAPPELLE, M. **Ecology and conservation of Neotropical montane oak forests**. Berlin: Springer Verlag, 2006. p. 483.

OETTERER, M.; ALCARDE, A.R. Tecnologia de fabricação de cerveja. In: OETTERER, M.; REGITANOS D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri: Manole, 2006. p. 1-48.

OLIVER, G. **The Oxford companion to beer**. New York: Oxford University Press, 2012. 936 p.

ORTEGA-HERAS, M.; PÉREZ-MAGARIÑO, S.; CANO-MOZO, E.; GONZÁLEZ-SAN JOSÉ, M.L. Differences in the phenolic composition and sensory profile between red wines aged in oak barrels and wines aged with oak chips. **Food Science and Technology**, Zürich, v. 43, p. 1533-1541, 2010.

ODIA, A.; MESZAROS, E.; SIMOES, R.; QUEIROZ, J.I.; JAKAB, E. Pyrolysis-GC/MS and TG/MS study of mediated laccase biodelignification of Eucalyptus globulus kraft pulp. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Ravenna, v. 78, n. 2, p. 233-242, 2007.

PANDELL, A.J. **How the temperature affects the aging of wine: the alchemist's wine perspective**. 1998. Disponível em:
<<http://www.wineperspective.com/STORAGE%20TEMPERATURE%20&%20AGING.htm>
>. Acesso em: 24 abr. 2013.

PEDDIE, H.A.B. Ester formation in brewery fermentations. **The Journal of the Institute of Brewing and Distilling**, London, v. 96, n. 5, p. 327-331, 1990.

PETROS, J. **Oak balancing act: more beer**. 2008. Disponível em:
<http://morebeer.com/content/using_oak_in_beer>. Acesso em: 28 ago. 2012.

PIAZZON, A.; FORTE, M.; NARDINI, M. Characterization of phenolics content and antioxidant activity of different beer types. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, p. 10677-10683, 2010.

PROCOPIO, S.; QIAN, F.; BECKER, T. Function and regulation of yeast genes involved in higher alcohol and ester metabolism during beverage fermentation. **European Food Research and Technology**, Heidelberg, v. 233, p. 721–729, 2011.

PUECH, J.L. Characteristics of oak wood and biochemical aspects of Armagnac aging. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 35, p. 77-81, 1984.

_____. Phenolic compounds in oak wood extracts used in the ageing of brandies. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Davis, v. 42, p. 165-172, 1988.

REAZIN, G.H. Chemical mechanisms in whiskey maturation. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 32, n. 4, p. 283-289, 1981.

REINOLD, M.R. **Manual prático de cervejaria**. São Paulo: Aden, 1997. 213 p.

_____. O mercado cervejeiro brasileiro atual – potencial de crescimento. **Indústria de Bebidas**, Santo André, v. 10, n. 57, p. 28-29, 2011.

RENGER, R.S.; HATEREN, S.H. VAN; LUYBEN, K.C.A.M. The formation of esters and higher alcohols during brewery fermentation; the effect of carbon dioxide pressure. **Journal of the Institute of Brewing**, London, v. 98, p. 509-513, 1992.

RIZZON, L.A.; MENEGUZZO, J. **Sistema de produção de destilado de vinho**. 2008.

Disponível em:

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinho/SistemaProducaoDestiladoVinho/envelhecimento.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2013.

RUPPEL, T.; GRECSEK, H. Brewing QC applications using headspace sampling-gas chromatography. Disponível em:
http://shop.perkinelmer.com/Content/ApplicationNotes/FAR_GCBrewingQCApplications.pdf
. Acesso em: 14 out. 2012.

SANTOS, J.R.S. **Determinação do *trans*-2-nonenal em cerveja por cromatografia líquida de alta eficiência com detecção espectrofotométrica**. 2002. 123 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Portugal, 2002.

SANZA, M.A.; DOMINGUES, I.N.; CARCEL CARCEL, L.M.; GRACIA, L.N. Analysis for low molecular weight phenolic compounds in a red wine aged in oak chips. **Analytica Chimica Acta**, Louisville, v. 513, p. 229–237, 2004.

SCHNEIDER, V. Factores influentes na elaboração de vinhos estagiados em barricas. **VitiTécnica**, Murça, n. 3, p. 30-33, 2005.

SILVA, A.A. da. **Compostos fenólicos em madeiras brasileiras**. 2006. 129 p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, D.P.; BRÁNYIK, T.; TEIXEIRA, J.A.C.; ALMEIDA E SILVA, J.B. Cerveja sem álcool. In: VENTURNI FILHO, W.G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blücher, 2010. v. 1, p. 461.

SILVA, G.A. **Dekkera e Brettanomyces**: leveduras não competitivas que deterioram o vinho - características, problemas e identificação. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2003. 70 p. (Embrapa Uva e Vinho. Documentos, 41).

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA. **A cerveja**. 2011. Disponível em: <<http://www.sindicerv.com.br/tipo-cerveja.php>>. Acesso em: 15 ago. 2012.

SIQUEIRA, P.B. **Estudo da cinética bioquímica e sensorial de diferentes tipos de cervejas brasileiras**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SIQUEIRA, P.B.; BOLINI, H.M.A.; MACEDO, G.A. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 4, p. 491-498, out./dez. 2008.

SISTEMAS DE CONTROLE E PRODUÇÃO DE BEBIDAS. **Produção cervejas e refrigerantes**: embalagem e região geográfica. 2012. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/PessoaJuridica/Bebidas/ProdBebidasEmbalagemRegiao.htm>>. Acesso em: 28 ago. 2012.

ŠMOGROVIČOVÁ, D.; DÖMÉNY, Z. Beer volatile by-product formation at different fermentation temperature using immobilised yeasts. **Process Biochemistry**, Vandoeuvre Cedex, v. 34, n. 8, p. 785-794, 1999.

SPEDDING, G. Acidity. In: OLIVER, G.; COLICHIO, T. **The Oxford companion to Beer**. New York: Oxford University Press, 2012. p. 598–599.

STANDAGE, T. **A história do mundo em seis copos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2005. 240 p.

TASCHAN, H.; UHLIG, R. Bier und Braustoffe. In: FREDE, W. **Handbuch für Lebensmittelchemiker**. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. p. 1226.

THE BREWERS OF EUROPE. **Culture & tradition of beer**. 2012. Disponível em: <http://www.brewersofeurope.org/asp/about_beer/11.asp?doc_id=118>. Acesso em: 05 set. 2012.

TSCHOPE, E.C. **Microcervejarias e cervejarias**: a história, a arte e a tecnologia. São Paulo: Aden, 2001. 223 p.

VAN JAARSVELD, F.P.; HATTINGH, S.; MINNAAR, P. Rapid induction of aging character in brandy products. Part II. Influence of type of oak. **South African Journal for Enology and Viticulture**, Stellenbosch, v. 30, n.1, p. 16-23, 2009a.

_____. Rapid induction of ageing character in brandy products. Part III. Influence of toasting. **South African Journal for Enology and Viticulture**, Stellenbosch, v. 30, p. 24-37, 2009b.

VARNAM, A.H.; SUTHERLAND, J.P. **Beverages**: technology, chemistry and microbiology. London: Chapman & Hall, 1994. 464 p.

VEJA. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/brasil/surge-um-novo-consumidor-de-cerveja>>. Acesso em: 15 ago. 2012.

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

_____. **Tecnologia de bebidas**: matéria prima, processamento BPF/APPCC, legislação e mercado. São Paulo: Edgar Blücher, 2005. 550 p.

VIVAS, N. **Manual de toneleria**. Madrid: Mundi -Prensa Libros, 2005. 231 p.

WALKER, G.M. Yeast technology. In: _____. **Yeast**: physiology and biotechnology (ed. London: John Wiley, 1998. chap. 6, p. 265-320.

WALTERS, M.T. Natural antioxidants and flavour stability. In: INSTITUTE OF BREWING OXFORD MEETING, 1996, Oxford. **Proceedings...** p. 111-119.

WIKILIVROS. **Carvalho/usos**, 2011. Disponível em: <<http://pt.wikibooks.org/wiki/Carvalho/Usos>>. Acesso em: 05 ago. 2012.

WILLAERT, R. Biochemistry of beer fermentation. In: SIMPSON, B. (Ed.). **Food biochemistry and food processing**. 2nd ed. London: Wiley Blackwell, 2012. p. 627-653.

WOFFENDEN, H.M.; AMES, J.M.; CHANDRA, S. Relationships between antioxidant activity, color, and flavour compounds of crystal malt extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 49, p. 5524-5530, 2001.

ZANATTA, K. Winestyle. **Cerveja**, 2011. Disponível em: <<http://www.artwine.com.br/edicoes/wine-style-33-da-mesopotamia-a-modernidade-a-cerveja-tem-historia.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2012.

ZUNKEL, M.; GASTL, M.; SCHOENBERGER, C.; SEDIN D.; BECKER T. Beer flavor database. In: ASBC ANNUAL MEETING, 74., 2011, Florida. **Proceedings...** Florida: Barth Haas Group, 2011. Disponível em: <http://www.barthhaasgroup.com/johbarth/images/pdfs/2011_ASBC%20meeting_Zunkel_beer%20flavor%20database.pdf> Acesso em: 20 jun. 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Modelo da ficha de seleção de provadores para análise sensorial de cerveja

Seleção de provadores para análise sensorial de cerveja

Prezado provador, para que possamos recrutá-lo para a análise sensorial, precisamos que você responda com sinceridade os itens abaixo.

Nome: _____ data: __/__/__

1. Você possui idade acima de 18 anos e abaixo de 60? ()sim ()não
2. Você pesa acima de 50 kg? ()sim () não
3. Possui alguma doença crônica, gravidez ou está amamentando? ()sim ()não
4. Está tomando algum medicamento? ()sim ()não
5. Você aprecia o produto? ()sim ()não
6. Você costuma ingerir bebidas alcoólicas em excesso? ()sim ()não

APÊNDICE B - Modelo da ficha de teste de escala hedônica para os atributos: cor, aroma, sabor e impressão global

Influência da madeira de carvalho na qualidade da cerveja

Esta pesquisa tem por objetivo verificar a aceitabilidade de cervejas maturadas com cubos de carvalho e em barris de carvalho.

Você está recebendo 3 amostras de cerveja, avalie cada amostra usando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou de cada uma delas quanto aos parâmetros: cor, aroma, sabor e impressão global.

9-gostei muitíssimo

8-gostei muito

7-gostei moderadamente

6-gostei ligeiramente

5-nem gostei/nem desgostei

4-desgostei ligeiramente

3-desgostei moderadamente

2-desgostei muito

1-desgostei extremamente

Número da Amostra	Cor	Aroma	Sabor	Impressão Global
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____

Comentários: _____

APÊNDICE C - Resultados das análises físico-químicas e químicas referentes aos três meses de armazenamento para todos os tratamentos

Análises	1º mês					2º mês					3º mês				
	Test	TL	TM	TA	B	Test	TL	TM	TA	B	Test	TL	TM	TA	B
Grau alcoólico real (v/v%)	4,57	4,62	4,47	4,69	4,34	5,35	4,82	4,69	4,83	5,05	4,57	4,60	4,81	4,84	4,46
Turbidez (NTU)	19,67	18,2	17,53	18,27	17,8	15,40	16,00	16,07	16,40	14,93	13,30	15,10	20,50	14,73	14,50
pH	4,86	4,65	4,61	4,63	4,62	4,80	4,71	4,70	4,69	4,68	4,73	4,72	4,57	4,67	4,64
Acidez total (gH ₂ SO ₄ /L)	1,18	1,15	1,09	1,13	1,11	1,07	1,15	1,25	1,51	1,23	1,11	1,14	1,26	1,10	1,42
Fenólicos totais (mg/100mL)	7,22	6,95	7,18	7,30	7,12	9,11	9,27	9,23	9,00	8,62	10,26	9,81	11,11	11,86	11,80
Cor (EBC)	9,65	9,44	9,34	9,13	8,99	9,23	9,51	9,35	9,66	9,47	9,55	9,72	9,30	9,23	9,37
Amargor (IBU)	17,15	17,88	17,95	20,35	16,77	19,60	21,40	20,53	19,97	19,13	18,45	19,02	18,70	19,32	18,93
Aldeídos (mg/100mL)	0,28	0,34	0,36	0,46	0,35	0,38	0,62	0,71	0,64	0,36	2,17	1,35	1,16	1,22	3,66
Ésteres (mg/100mL)	1,02	0,91	0,89	0,92	0,78	1,97	0,98	0,98	1,05	0,99	1,31	1,35	1,4	1,37	1,46
Metanol (mg/100mL)	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,35	0,11	0,07	0,05	0,20	0,05	0,02	0,06	0,03	0,07
Propanol* (mg/100mL)	4,07	5,87	5,86	3,61	4,87	7,86	3,90	4,05	3,12	5,75	3,55	6,34	7,01	7,34	5,55
l-butanol* (mg/100mL)	0,97	0,78	0,82	0,87	0,77	1,25	0,79	0,82	0,89	0,85	0,86	0,84	0,82	0,84	0,9
l-amílico* (mg/100mL)	6,54	5,87	5,93	6,06	5,59	7,27	4,89	5,04	5,09	4,91	5,8	5,43	5,55	5,56	5,32
álc. Superiores- somados compostos com* mg/100mL)	11,59	12,52	12,61	10,54	11,23	16,38	9,57	9,91	9,10	11,51	10,21	12,61	13,38	13,74	11,77
Ác.gálico (mg/L)	2,29	2,58	3,10	3,16	2,76	1,67	5,11	5,99	6,04	5,11	2,13	5,72	6,25	17,18	12,91
5-HMF (mg/L)	0,37	0,12	0,15	0,20	0,54	0,41	3,53	3,59	3,59	3,48	0,56	3,53	3,42	3,58	3,50
Furfural (mg/L)	0,72	4,76	4,90	4,64	0,13	0,32	0,30	0,81	0,33	0,24	0,26	0,32	0,21	0,31	0,25
Ác. vanílico (mg/L)	0,38	0,19	0,23	0,46	0,79	0,29	1,65	2,05	1,57	1,28	1,38	1,40	2,47	1,45	1,56
Ác. Siríngico (mg/L)	0,34	0,12	0,12	0,13	0,26	0,33	0,64	0,73	0,89	0,87	0,26	0,62	0,77	0,89	0,68
Vanilina (mg/L)	0,28	0,03	0,29	0,40	0,33	0,19	1,04	1,09	1,10	0,88	1,15	0,97	1,08	1,50	1,46
Siringaldeído (mg/L)	0,31	0,34	0,57	0,36	0,55	0,47	2,39	2,85	3,01	2,64	0,67	3,00	2,89	2,68	2,52
Coniferaldeído (mg/L)	0,12	0,36	0,29	0,35	0,43	0,08	0,35	0,37	0,31	0,23	0,25	0,34	0,36	0,26	0,23
Sinapaldeído (mg/L)	1,23	1,11	1,13	1,08	0,92	1,42	0,39	0,35	0,36	0,35	0,12	0,15	0,12	0,19	0,14
Total	6,04	9,62	10,77	10,78	6,71	5,18	15,41	17,84	17,20	15,08	6,78	16,05	17,58	28,05	23,25