



O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CERVEJA E SEUS EFEITOS NA PRESENÇA DE POLIFENÓIS

Priscila Becker SIQUEIRA*
Helena Maria André BOLINI**
Gabriela Alves MACEDO*

■RESUMO: Cerveja é a bebida obtida através da fermentação alcoólica de mosto de cereal maltado, geralmente malte de cevada, sendo facultativa a adição de outra matéria-prima fonte de carboidratos, como milho, arroz ou trigo, e possui em geral teor alcoólico entre 3% e 8%. A cerveja pode ser considerada uma boa fonte de polifenóis, que podem ser provenientes tanto do malte quanto do lúpulo. Devido à sua capacidade antioxidante e teor alcoólico baixo, é capaz de melhorar a atividade antioxidante do plasma, reduzindo o risco de doenças coronarianas, sem apresentar os aspectos negativos produzido por doses excessivas de etanol. Em relação ao aspecto nutritivo da cerveja, pode-se dizer que há disponibilidade de uma quantidade significativa de vitaminas do complexo B, além deste produto ser fonte de ácido fólico e selênio. A cerveja é um produto instável, que passa por diversas transformações químicas, físicas e sensoriais durante sua vida de prateleira. A perda de qualidade pelo surgimento de sabores e aromas indesejáveis e alterações nas propriedades físicas da cerveja é um problema que a indústria cervejeira procura solucionar.

■PALAVRAS CHAVE: Cerveja; nutrição; capacidade antioxidante; envelhecimento.

INTRODUÇÃO

Genericamente, define-se cerveja como uma bebida carbonatada de teor alcoólico entre 3 e 8% (v/v), preparada a partir de malte de cevada, lúpulo, fermento e água de boa qualidade, permitindo-se ainda o uso de outras matérias primas como arroz, milho e trigo.¹

Não se sabe ao certo a origem das primeiras cervejas, porém autores como Kunze²⁴ e Aquarone et al.² acreditam que a prática da cervejaria tenha se originado na região da Mesopotâmia, onde, como no Egito, a cevada cresce em estado selvagem. Há evidências de que a cerveja feita de cevada maltada já era consumida na Mesopotâmia em 6.000 a.C., e que a cerveja nesta época não era usada somente na dieta, mas também exercia função cosmética e medicinal.

O Brasil produz, em volume, 8,5 bilhões de litros anuais, perdendo apenas para a China (27 bilhões de litros/ano), Estados Unidos (23,6 bilhões de litros/ano), Ale-

manha (10,5 bilhões de litros/ano) e Rússia (9 bilhões de litros/ano), sendo o consumo per capita no Brasil o nono maior do mundo, com uma média de 47,6 litros/ano por habitante.³⁵

Do ponto de vista nutricional, a cerveja contém quantidades significativas de vitaminas do complexo B, principalmente folatos e riboflavina, e selênio. A capacidade antioxidante da cerveja é comparável à do vinho branco, mas inferior à do vinho tinto, além de possuir compostos antioxidantes diferentes, devido à composição do malte e do lúpulo diferir da composição das uvas.²⁸

A cerveja é a fonte de prenilflavonóis mais importante da dieta.³⁶ Prenilflavonóis são compostos metabólitos presentes no lúpulo, responsáveis por vários efeitos biológicos. Sua composição depende da variedade de lúpulo utilizada, e das condições de maturação e estocagem.⁸ Segundo estudo realizado por Gorinstein et al.,²⁰ a concentração de procianidinas, epicatequinas e ácido ferúlico é significativamente maior na cerveja quando comparada ao vinho branco, conferindo à cerveja maior capacidade antioxidante.

Devido à sua capacidade antioxidante e baixo teor alcoólico, a cerveja é capaz de melhorar a atividade antioxidante do plasma, reduzindo o risco de doenças coronarianas, sem apresentar os aspectos negativos produzido por altas doses de etanol.¹⁸ Portanto, devido à cerveja possuir alta concentração de compostos antioxidantes, o seu consumo moderado é capaz de influenciar positivamente o nível de lipídeos do plasma e sua capacidade anticoagulante.¹⁶

Por ser uma bebida que apresenta um equilíbrio entre sabor e aroma, é quimicamente instável e sofre diversas reações químicas e enzimáticas durante seu processamento e estocagem. O equilíbrio de seus compostos voláteis e não-voláteis é responsável pela aceitação e qualidade da bebida. A composição em ésteres, aldeídos, dicetonas vicinais, ácidos orgânicos, álcoois superiores, fenóis, iso- α -ácidos e outros compostos estão diretamente relacionados à sua qualidade. A queda de qualidade pelo surgimento de sabores e aromas indesejáveis e alterações nas propriedades físicas da cerveja é um problema que a indústria cervejeira procura solucionar.³

* Departamento de Ciência de Alimentos – Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP – 13083-862 – Campinas – SP – Brasil.

** Departamento de Alimentos e Nutrição – Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP – 13083-862 – Campinas – SP – Brasil.

PRODUTO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO

A origem da cerveja se perde no tempo. A maioria das bebidas elaboradas com cereais nos últimos 8000 anos é hoje considerada como cerveja. Os sumérios e egípcios produziam cervejas há mais de 5.000 anos e há indícios que os babilônios já fabricavam mais de dezesseis tipos de cerveja de cevada, trigo e mel há mais de 4.000 anos antes de Cristo.¹¹

A cerveja chegou ao Brasil em 1808, trazida pela família real portuguesa de mudança para o então Brasil colônia. Em 1836 tem-se a primeira notícia sobre a fabricação de cerveja no Brasil, publicada no *Jornal do Commercio*, Rio de Janeiro.

De modo geral, a cerveja pode ser dividida em dois grandes grupos: as do tipo *Ale*, dentre as quais se destacam a Porter e a Stout, e as do tipo *Lager*, como a Pilsen, a Munique e a Bock. As cervejas do tipo *Ale* são fabricadas por meio de fermentação superficial ou “alta”. São, em geral, de cor clara, com sabor pronunciado de lúpulo, ligeiramente ácidas, e seu teor alcoólico varia de 4% a 8%. O processo de fermentação ocorre entre a temperatura de 20°C e 25°C, com duração de 2 a 5 dias e a maturação entre 4,5°C e 8°C.

As cervejas do tipo *Lager* são as mais comuns e mais consumidas. A Pilsener ou Pilsen é uma das cervejas mais conhecidas em todo mundo. Originou-se na cidade de Pilsen em 1842, antiga Tchecoslováquia. É caracterizada por ter sabor suave, cor clara e teor alcoólico entre 4% a 5%. As cervejas deste grupo são fabricadas por fermentação profunda ou “baixa”, através de processo lento, geralmente em torno de 5 dias.

Segundo a legislação brasileira, Decreto nº 2314, de 04 de setembro de 1997, art.64 a art.71: “Cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo”.⁹

Parte do malte de cevada pode ser substituída por outros cereais, maltados ou não, como arroz, milho, trigo, aveia, centeio ou sorgo. No entanto, para ser denominada cerveja, é necessário que a bebida possua proporção de malte de cevada maior ou igual a 50%, em peso, sobre o extrato primitivo, como fonte de açúcares.

As matérias-primas essenciais para a fabricação da cerveja são: água, malte, levedura e lúpulo. Outros componentes, denominados adjuntos, podem ser utilizados para substituição parcial do malte.

O processo de fabricação do malte chama-se maltagem, que envolve o controle do umedecimento com água e posterior germinação sob condições controladas de temperatura com o intuito de formação das enzimas necessárias à hidrólise dos polissacarídeos e do amido presente no grão.¹⁰

Dentro da fábrica de cerveja o processo de produção envolve a moagem do malte, mosturação, fervura, fermentação e maturação.

A mosturação tem por objetivo promover a hidrólise do amido a açúcares fermentescíveis (maltose, glicose e maltotrioses) juntamente com dextrinas de cadeias curtas ou longas. São extraídos aproximadamente 65 % dos sólidos totais do malte, que em suspensão em água constituirão o mosto para a fermentação da cerveja. O ponto final da mosturação é a degradação do amido, que se hidrolisa a açúcares fermentescíveis como maltose, glicose e maltotrioses, além de formar dextrinas.²⁴

Após a mosturação, o mosto é separado e cozido juntamente com o lúpulo a aproximadamente 100°C. Durante esta etapa há inativação das enzimas e esterilização do mosto. Há também formação de compostos responsáveis pela cor e sabor do produto, através da reação de Maillard e caramelização, e extração de compostos de amargor e aromáticos do lúpulo. Nesta etapa é possível remover, por evaporação, compostos voláteis indesejáveis, como o dimetil sulfito.¹³

No processo de fermentação, a levedura é adicionada no mosto aerado, e se reproduz rapidamente devido à alta quantidade de O₂ dissolvido no meio, oxidando o piruvato até CO₂ e água. Depois que todo o oxigênio é consumido, as células de levedura passam a utilizar o açúcar de forma anaeróbica, fermentando esses açúcares em etanol e CO₂.

Os principais produtos formados durante a fermentação são etanol, glicerol, ácido láctico e dióxido de carbono, mas há a formação de vários outros compostos em baixas concentrações, resultantes do metabolismo de açúcares e aminoácidos. Podem ser formados ácidos orgânicos, como o ácido cítrico, acético, pirúvico, succínico e axaloacético; ésteres, como o acetato de isoamila e o acetato de etila; compostos sulfurados, como o dimetil sulfito e dióxido de enxofre; e outros compostos como acetaldeído, dicetonas vicinais e alguns alcoóis.³⁸

Após a fermentação principal, a cerveja verde, que ainda possui uma suspensão de leveduras e uma parte de material fermentescível, passa por uma fermentação secundária chamada maturação. Esta etapa do processo é realizada sob temperaturas de 0 a 3°C, e contribui para a clarificação da cerveja e melhoria do seu sabor.²

CERVEJA E SAÚDE

A cerveja é considerada fonte de folatos e outras vitaminas do complexo B, como niacina, piridoxina e cianocobalamina, além de ser citada como importante fonte de selênio e possuir efeito diurético, devido à alta relação potássio/sódio.⁶

O lúpulo é considerado uma erva com propriedades medicinais, usado como antibiótico e antiinflamatório. O estudo das propriedades de alguns compostos presentes no lúpulo revelou efeitos bioativos em grande parte de seus metabólitos.²³

As propriedades antioxidantes dos ácidos fenólicos lhes confere capacidade de prevenir o câncer, devido à sua capacidade de seqüestrar radicais livres, que causam a oxidação do DNA das células. Arimoto-Kobayashi⁴ analisou

figado e pulmão de ratos, revelando que componentes presentes na cerveja são capazes de proteger o organismo contra os efeitos genotóxicos de aminas heterocíclicas.

Diversos compostos foram isolados da cerveja e submetidos a ensaios *in vivo*, com o objetivo de estudar sua capacidade de prevenir a ocorrência de doenças degenerativas, como o câncer, e doenças cardiovasculares. Dentre os compostos isolados, destacam-se os prenilflavonóides e os alfa-ácidos. A chalcona xanthohumol, juntamente com seu isômero isoxanthohumol, formado durante o processamento, são os prenilflavonóides encontrados em maior concentração na cerveja. O xanthohumol foi identificado como o principal agente na prevenção do câncer, devido à sua alta capacidade antioxidante, além de apresentar propriedades anti-estrogênicas, anti-inflamatórias, anti-angiogênicas, inibição do DNA polimerase e capacidade de controlar a proliferação de células cancerígenas.¹⁷

Estudos epidemiológicos indicam que o consumo moderado de álcool está inversamente relacionado à ocorrência de doenças cardiovasculares, apresentando menor taxa de mortalidade dentre aqueles que consomem bebidas alcoólicas moderadamente, principalmente vinho e cerveja, comparado aos indivíduos que não consomem estas bebidas ou aos que consomem em demasia.⁶

A cerveja é uma bebida que possui capacidade antioxidante moderada, devido à presença de compostos fenólicos, associada a um relativo baixo teor alcoólico. Desta forma ela promove o aumento da capacidade antioxidante do plasma sem os efeitos negativos provocado pelo consumo de altas doses de etanol.

Atualmente tem-se observado o crescimento do interesse na composição fenólica de alimentos e bebidas, por parte de consumidores e produtores. Os polifenóis são os antioxidantes encontrados em maior quantidade na dieta. As principais fontes de polifenóis na dieta são sucos de fruta, vinho, chá, café, cerveja e chocolate. Estudos epidemiológicos sugerem uma relação entre alimentos ricos em polifenóis e a prevenção de algumas doenças, como câncer, doenças cardiovasculares e inflamações.³⁴

As principais classes de polifenóis são definidas de acordo com seu esqueleto carbônico: ácidos fenólicos, como o ácido caféico e o ácido ferúlico ou flavonóides, como a quercetina e a catequina. A diversidade estrutural dos polifenóis torna difícil sua quantificação em alimentos. Além disso, o processamento de alimentos e bebidas pode resultar em transformações na composição destes compostos, causando um enriquecimento ou empobrecimento de compostos fenólicos no alimento processado.³⁴

A cerveja pode ser considerada uma boa fonte de polifenóis, pois uma quantidade considerável de compostos fenólicos é encontrada tanto no malte quanto no lúpulo.²⁸ Cerca de 70 a 80% dos compostos fenólicos são originários do malte, enquanto 20 a 30% se originam do lúpulo. No entanto, os compostos fenólicos originários da cevada sofrem mudanças durante o processamento, e por isso não são tão bem caracterizados quanto os derivados do lúpulo.¹⁷ A etapa de fervura provoca uma série de mudanças na com-

posição de polifenóis do mosto, que já é bastante complexa, dificultando a predição do destino dos polifenóis desta mistura. Tal complexidade deve-se, em parte, à facilidade de oxidação e polimerização de vários compostos fenólicos.²²

Os compostos fenólicos podem ser encontrados em sua forma livre ou, mais freqüentemente, ligados a outros compostos, como ésteres e glicosídeos. Polifenóis derivados de ácidos hidrobenczoicos (ácido gálico, ácido protocatechuico, ácido siríngico) e ácidos hidroxicinâmicos (ácido ferúlico, ácido p-cumárico, ácido caféico) são principalmente extraídos do malte, enquanto que os flavonóis (quercetina, canferol), chalconas (xanthohumol) e flavanonas (isoxanthohumol e prenilnaringenina) são encontrados no lúpulo (Figura 1). Catequinas, procianidinas e taninos derivados de flavonóis são igualmente encontrados no malte e no lúpulo. A composição final dos compostos fenólicos na cerveja depende da qualidade da matéria-prima utilizada (cevada e lúpulo) e do processo de fermentação.¹⁵

Fantozzi et al.¹⁴ mostraram que durante todo o processamento da cerveja, há um decréscimo de 28% na concentração de compostos fenólicos e, simultaneamente, uma redução de 29% na sua atividade antioxidante.

A Tabela 1 mostra os principais compostos fenólicos já encontrados em cerveja e sua concentração aproximada.¹⁷

Polifenóis de baixo peso molecular são considerados melhores antioxidantes, pois o poder redutor decresce com o aumento do peso molecular. Alguns polifenóis são antioxidantes por sua habilidade em quelar íons metálicos e outros são considerados pró-oxidantes devido à sua capacidade de transferir elétrons para íons metálicos.⁴¹

O composto fenólico mais simples já encontrado em cervejas é o ácido ferúlico. Outros compostos fenólicos monoméricos são a catequina e a quercetina. A catequina é aceita como um composto antioxidante devido à sua capacidade de quelar radicais livres e inibir a enzima lipoxigenase, que promove o início da ruptura dos ácidos graxos insaturados.⁵ Quando moléculas monoméricas de fenóis são liberadas, elas podem se polimerizar, formando novos compostos fenólicos.

O ácido ferúlico é o principal ácido fenólico encontrado em cervejas, representando entre 48 e 58% do total de ácidos fenólicos. Está presente na cevada, sendo que aproximadamente 10% em sua forma livre e o restante ligado na forma de éster com polímeros arabinóxilados.

Walters et al.⁴² mostrou que o ácido ferúlico tem maior atividade antioxidante que a catequina na presença de radical hidroxila, além de ser mais efetivo na prevenção de oxidação lipídica. No entanto, a catequina apresentou maior atividade sequestrante de radicais superóxidos.

Xanthohumol é o prenilflavonóide de maior importância encontrado no lúpulo. No entanto, durante o processamento da cerveja, sua quantidade é sensivelmente reduzida devido à isomerização das chalconas. Apesar da menor concentração de prenilflavonóides comparados a outros polifenóis, eles têm uma maior capacidade antioxidante em meios lipofílicos, com lipoproteínas de baixa densidade.³⁷

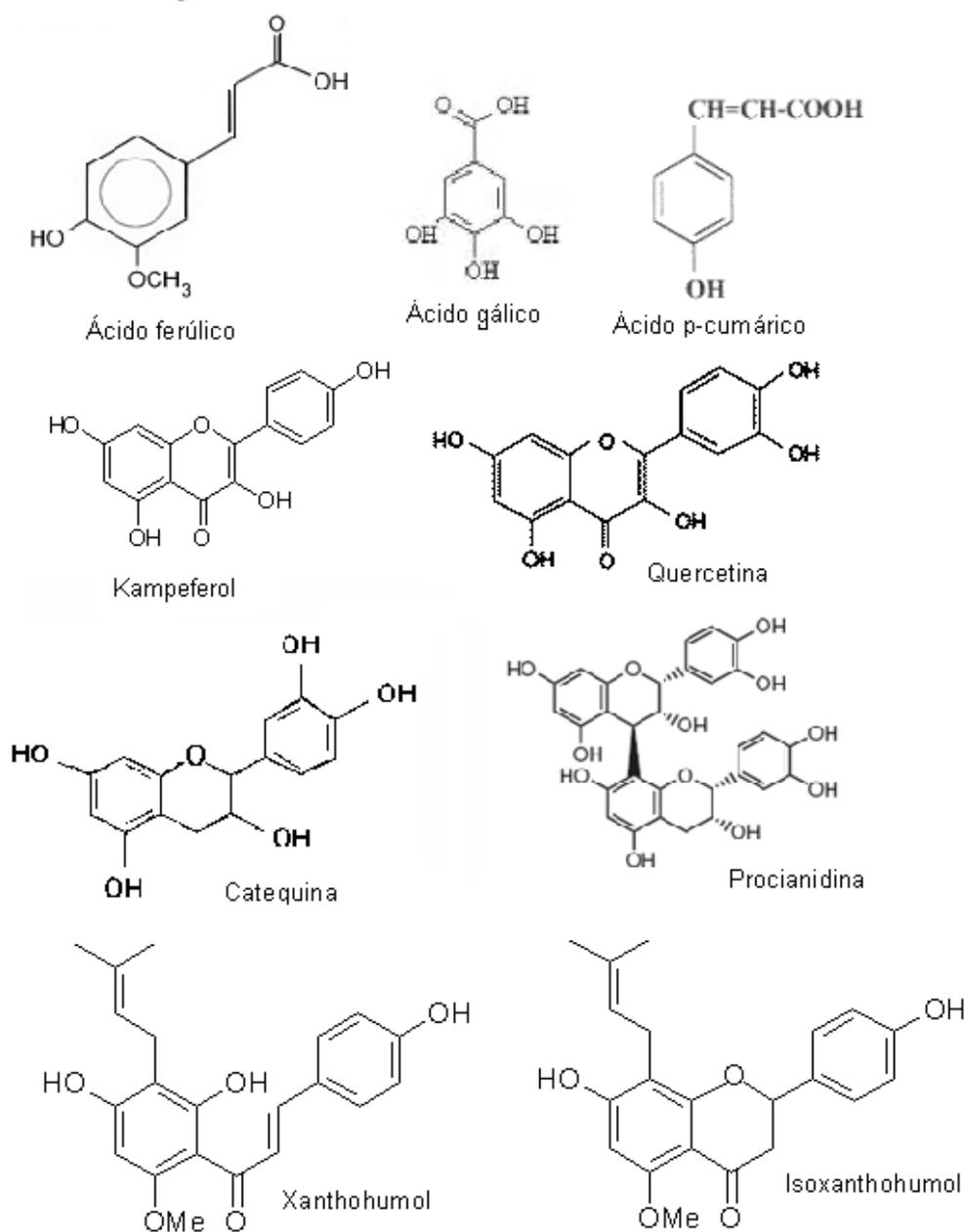


FIGURA 1 – Estrutura química de alguns compostos fenólicos encontrados na cerveja.¹⁷

A cevada é também uma rica fonte de polifenóis e, portanto, de propriedades antioxidativas. Desta forma, uma otimização do processo de maltagem visando à proteção dos polifenóis presentes na cevada e a promoção de novos compostos antioxidantes é uma alternativa viável para minimizar o processo oxidativo da cerveja.²⁹

Estudos realizados por Maillard et al.²⁹ mostraram o teor de polifenóis totais de três principais grupos de compostos fenólicos em diferentes variedades de cevada e no malte, determinados por uma nova metodologia de espectrofotometria UV e comparado às concentrações obtidas através da metodologia colorimétrica de Folin-Ciocalteu. Os resultados mostraram que o malte apresenta maiores concentrações de polifenóis que a cevada, porém não foram

encontradas diferenças significativas entre as diferentes variedades estudadas. Os valores obtidos através da metodologia de espectrofotometria UV apresentaram diferenças entre 5 e 15% em relação ao método Folin-Ciocalteu.

Os compostos polifenólicos têm papel extremamente importante no processamento da cerveja. Durante o processamento, os polifenóis, principalmente os flavonóis, podem se polimerizar e combinar com proteínas, causando turbidez no produto.²²

Ácidos fenólicos podem se combinar com outras substâncias naturalmente presentes na cerveja, como açúcares, ácidos orgânicos, substâncias nitrogenadas e íons metálicos, dificultando sua quantificação.³²

Tabela 1 – Principais compostos fenólicos encontrados na cerveja.

Classe Estrutural	Concentração (mg/l)
Chalconas	
Xanthohumol	0,02 – 1,2
Flavanonas	
Isoxanthohumol	0,04 – 3,44
6-prenil-naringenina	0,001 – 0,56
8-prenil-naringenina	0,001 – 0,24
Flavan-3-ols (catequinas)	
Catequina	5,4
Galocatequina	5 – 20
Epicatequina	1,1
Flavonóis	
Kampeferol	16,4
Quercetina	10
Quercitrina	2,3
Rutina	1,8
Proantocianidinas	
Procianidina B3	3,3
Procianidina B9	3,9
Ácidos	
Alfa-ácidos	1,7
Iso alfa-ácidos	0,6 – 100
Ácido ferúlico	6,5
Ácido p-cumárico	0,9
Ácido benzóico	1,1
Ácido vanílico	3,6
Ácido siríngico	0,5
Outros	
4-hidroxipreniletanol	40
4-vinil guaiacol	0,55

Fonte: Gerhauser.¹⁷

ENVELHECIMENTO

A cerveja permanece instável após a embalagem e durante sua vida de prateleira. Tal instabilidade pode ser biológica ou não. A instabilidade biológica envolve a contaminação por microorganismos, como bactérias, fungos e leveduras, provenientes da matéria-prima ou do processamento. No entanto, esta contaminação pode ser evitada

utilizando-se condições higiênicas de processamento, além da etapa de pasteurização do produto.

A instabilidade não biológica é proveniente de uma série de reações químicas envolvendo proteínas, carboidratos, polifenóis e íons metálicos que alteram a estrutura física do produto.³⁹

A instabilidade física da cerveja ocorre principalmente pela formação de turbidez, a partir da reação de polimerização dos compostos fenólicos e sua associação com algumas proteínas. A matéria-prima utilizada para a produção da cerveja é fonte de precursores da turbidez, como polifenóis e proteínas, mas sua formação pode ser estimulada por uma série de fatores, como a presença de oxigênio e de íons metálicos, a pasteurização, e principalmente a temperatura de estocagem, que pode acelerar a taxa das reações. Alguns procedimentos podem prevenir ou retardar o aparecimento da turbidez, tais como prevenir a formação de grande quantidade de produtos de degradação dos complexos protéicos, fazer uma hidrólise enzimática destes produtos de degradação, remover compostos fenólicos de maior peso molecular, armazenar a cerveja no estágio de maturação em temperaturas bem altas a fim de precipitar os precursores da formação da turbidez ou ainda, armazenar o produto final em temperaturas mais elevadas para retardar o aparecimento da turbidez.

O uso de agentes estabilizantes para prevenir a formação de turbidez é muito utilizado na indústria. Estes podem ser sílica gel ou polivinil-polipirrolidona (PVPP). A sílica gel age ligando-se a polipeptídeos hidrofílicos, enquanto o PVPP remove os polifenóis de maior peso molecular, por ter uma estrutura muito semelhante à do aminoácido prolina.

A natureza das mudanças que ocorrem durante o envelhecimento do produto e a formação de novos sabores e aromas em cervejas é bastante complexa e depende do tipo de cerveja, da concentração de oxigênio presente na embalagem, da presença de luz e da temperatura de estocagem. Dalgliesh¹² descreveu as mudanças sensoriais na cerveja durante seu armazenamento (Figura 2).

Dentre as principais mudanças observadas, ressalta-se o aumento no aroma e no gosto doce, a diminuição da intensidade do gosto amargo, o aumento do sabor de papelão, e a diminuição do sabor denominado *ribes* (*ribes nigrum*), descrito como aroma típico de folhas de *black currant*, fruta silvestre parecida com a groselha.

As mudanças do perfil de sabor da cerveja são resultado de reações de degradação e de formação de novos compostos. Dentre os compostos formados, os aldeídos de cadeia linear merecem atenção especial. Além destes, podem ser encontrados compostos heterocíclicos, cetonas, ésteres, compostos sulfurados, entre outros.

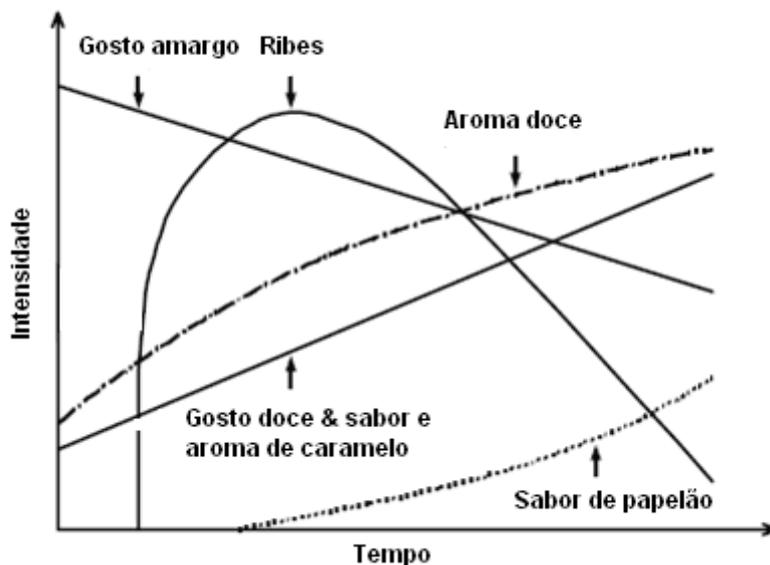


FIGURA 2 – Alterações sensoriais durante o envelhecimento da cerveja segundo Dalgliesh.¹²

Tabela 2 – Principais compostos voláteis responsáveis por alterações no sabor e aroma, formados durante o armazenamento da cerveja.

Classe química	Compostos
Aldeídos lineares	Acetaldeído/ (E)-2-nonenal/ (E)-2-octenal
Aldeídos de Strecker	2-metil-butanal/ metional/ 2-prenilacetaldeído
Cetonas	(E)- β -damascenona/ 4-metil-2-pentanona
Compostos heterocíclicos	Furfural/ maltol/ 2-acetilpirazina/
Ésteres etílicos	Etil 3-metil butirato/ etil nicotinato/ etil 2-metil propionato
Compostos sulfurados	Dimetil trissulfido/ 3-metil-3-mercaptopbutilformato

Fonte: Vanderhaegen et al.⁴¹

A Tabela 2 apresenta uma lista dos principais compostos que podem ser formados na cerveja durante seu armazenamento.

O acetaldeído foi um dos primeiros compostos cujo aumento da concentração foi observado em cervejas. Em seguida, o *trans*-2-nonenal, um aldeído linear, foi identificado como o composto que induzia o sabor de papelão na cerveja,²¹ quando encontrado em concentrações maiores que seu limiar de detecção (0,1 $\mu\text{g/l}$). O composto β -damascenona, uma cetona derivada de carotenóides, pode afetar o sabor de cervejas durante o armazenamento.¹⁹ Dentre os compostos heterocíclicos, alguns podem ser indicadores do processo de envelhecimento de cervejas. Ésteres voláteis contribuem com notas frutais no perfil de sabor da cerveja.

A concentração dos ésteres tende a diminuir durante a estocagem, pois alguns ésteres, tais como o etil 3-metil butirato, o etil nicotinato e o etil 2-metil propionato, têm sua concentração aumentada, gerando o sabor de vinho (*winy flavours*), característica que confere significativa importância a estes compostos.

Os compostos sulfurados, mesmo em baixas concentrações, podem provocar efeitos notáveis no perfil de sabor da cerveja durante a estocagem. Compostos não voláteis também podem provocar mudanças no sabor da cerveja durante a estocagem. Os ácidos-iso- α , um dos responsáveis pelo gosto amargo, são muito sensíveis à degradação, o que propicia uma redução do gosto amargo durante o envelhecimento da bebida. Além deles, foi também observado

decréscimo na concentração de flavonóis, principalmente durante as 5 primeiras semanas de estocagem,³⁰ e aumento na concentração de taninos.³¹ Mudanças na concentração de compostos fenólicos estão associadas ao aumento da adstringência em cervejas.

O aparecimento do sabor de “papelão” (*cardboard flavour*) é o maior indicador do processo de envelhecimento de cervejas, principalmente as do tipo *lager*. Há evidências de que o aparecimento de sabor característico de “papelão” em cervejas entre 2 e 4 meses é proveniente de aldeídos insaturados. O composto *trans*-2-nonenal é o aldeído com maior atividade de sabor, quando encontrado em quantidades que excedem o limiar de detecção. Outros aldeídos, como o nonadienal, decadienal e undecadienal também podem ser encontrados em quantidades superiores ao limiar de detecção.⁷

O aumento da concentração de *trans*-2-nonenal durante a vida de prateleira da cerveja está provavelmente ligado ao processo de oxidação nos estágios iniciais do processamento. Estudos^{25,27} mostraram que 30% do total de *trans*-2-nonenal foi produzido durante a moagem do malte e o restante (70%) foi produzido durante a fervura do mosto.

O *trans*-2-nonenal é derivado da oxidação do ácido linoléico no final da etapa de fervura. Ao se ligar a compostos nitrogenados, como aminoácidos e proteínas, o *trans*-2-nonenal é protegido da atividade das leveduras, podendo estar presente no produto fresco. Posteriormente, principalmente quando o pH da cerveja é baixo ou a estocagem se dá em temperatura alta, este composto pode ser liberado através de hidrólise ácida.²⁶

O uso de sulfitos durante o processamento limita a formação de aldeídos e minimiza os efeitos da oxidação do produto. A otimização do aproveitamento do poder antioxidante de substâncias naturalmente encontradas na cerveja pode ser uma alternativa ao uso de sulfitos ou outros agentes antioxidantes. Segundo Stone & Laschiver⁴⁰ a maior parte do bissulfito encontrado na cerveja está complexado. Alguns autores observaram que a adição de bissulfito em cervejas envelhecidas diminui a concentração de aldeídos livres.³³ No entanto, ao longo do tempo, o bissulfito se oxida a sulfato, aumentando novamente a concentração de aldeídos livres.³⁹ Desta forma, a teoria mais aceita para a formação dos compostos que dão origem ao sabor de “papelão” na cerveja é a da formação de complexos a partir do bissulfito. A formação destes complexos é reversível e favorece a formação de aldeídos alifáticos, além da tendência do bissulfito de se ligar à dupla ligação de aldeídos insaturados e aos produtos de condensação de aminoácidos e carbonilas.

SIQUEIRA, P.B.; BOLINI, H.M.A.; MACEDO, G.A. Beer production and its effects on the presence of polyphenols. *Alim. Nutr.*, v.19, n.4, p. 491-498, out./dez. 2008.

■**ABSTRACT:** Beer is a beverage obtained through alcoholic fermentation of malt wort, usually made of barley, which could be added of other cereals, such as corn, rice or wheat. Its alcoholic content is between 3% and 8%. The beer can be considered a good source of polyphenols derived both from malt or hop. Due to its antioxidant capacity and low alcoholic content, it's able to improve plasma antioxidant activity, reducing the risk of cardiovascular diseases, without the negative effects of high doses of alcohol. The beer is an unstable product that is involved in a series of chemical, physical and sensorial transformations during its shelf life. The loss of quality due to the risen of unpleasant flavors and physical changes during its shelf life is a problem that the beer industry has been investigating and trying to solve.

■**KEYWORDS:** Beer; nutrition; antioxidant capacity; aging.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA E SILVA, J.B. **Tecnologia de bebidas:** matéria prima, processamento, BPF / APPCC, legislação e mercado. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. p.347-380.
2. AQUARONE, E.; ALMEIDA LIMA, U.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação.** São Paulo: Edgard Blücher, 1983. 227 p.
3. 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. **Ciênc. Tecnol. Alim.**, v.23, n.2, p. 121-128, 2003.
4. ARIMOTO-KOBAYASHI, S. et al. Inhibitory effects of heterocyclic amine-induced DNA adducts formation in mouse liver and lungs by beer. **J. Agric. Food Chem.**, v. 53, p. 812-815, 2005.
5. BAMFORTH, C. W. Beer: an ancient yet modern biotechnology. **Chem. Educator**, v. 5, p. 102-112, 2000.
6. BAMFORTH, C. W. Nutritional aspects of beer – a review. **Nutr. Res.**, v. 22, 227-237, 2002.
7. BARKER, R. L. et al. Liberation of staling aldehydes during storage of beer. **J. Inst. Brewing**, v. 89, p. 411-415, 1983.
8. BIENDL, M. Research on the xanthohumol content in hops. **Hopfen Rundschau Int.**, p. 72-75, 2002.
9. BRASIL. Decreto nº 2314, de 04 de setembro de 1997. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 05 de setembro de 1997. p. 19549.
10. BRIGGS, D. E. **Malts and malting.** London: Blackie Academic and Professional; Gaithersburg: Aspen, 1998. 796p.

11. CERVESIA. Disponível em: http://www.cervesia.com.br/historia_da_cerveja.asp. Acesso em: 23 mar. 2006.
12. DALGLIESH, C. E. Flavour stability. **Proc. Eur. Brew. Conv. Cong.**, n. 1, p. 623-659, 1977.
13. DENK, V. et al. **European brewery convention: manual of good practice, wort boiling and clarification.** Nurenberg: Fachverlag Hans Carl, 2000. p. 176.
14. FANTOZZI, P. et al. *In vitro* antioxidant capacity from wort to beer. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.**, v. 31, p. 221-227, 1998.
15. GARCÍA, A. A.; GRANDE, B. C.; GÁNDARA, J. S. Development of a rapid method based on solid-phase extraction and liquid chromatography with ultraviolet absorbance detection for the determination of polyphenols in alcohol-free beers. **J. Cromatography A**, v. 1054, p. 175-180, 2004.
16. GASOWSKI, B. et al. The influence of beer with different antioxidant potencial on plasma lipids, plasma antioxidant capacity, and bile excretion of rats fed cholesterol-containing and colesterol-free diets. **J. Nutr. Biochem.**, v. 15, p. 527-533, 2004.
17. GERHAUSER, C. Beer constituents as potential chemopreventive agents. **Eur. J. Cancer**, v. 41, p. 1941-1954, 2005.
18. GHISELLI, A. et al. Beer increases plasma antioxidant capacity in humans. **J. Nutr. Biochem.**, v.11, p.76-80, 2000.
19. GIJS, L. et al. How low pH can intensify beta-damascenone and dimethyl trisulfide production through beer aging. **J.Nutr. Biochem.**, v. 50, p. 5612-5616, 2002.
20. GORINSTEIN, S. et al. Comparative contents of some phenolics in beer, red and white wines. **Nutr. Res.**, v. 20, n. 1, p. 131-139, 2000.
21. JAMIESON, A. M.; VAN GHELUWE, J. E. A. Identification of a compound responsible for cardboard flavour in beer. **Proc. Am. Soc. Brew. Chem.**, n. 1, p. 92-93, 1970.
22. KEUKELEIRE, D. Fundamentals of beer and hop chemistry. **Quím. Nova**, v.23, n.1, p. 108-112, 2000.
23. KONDO, K. Preventive effects of dietary beer on lifestyle-related diseases. **EBC Proc.**, Dublin, n. 1, p.133, 2003.
24. KUNZE, W. **Technology brewing and malting.** Berlim: VLB, 1997. p. 433-435.
25. LERMUSIEAU, G. Nonoxidative mechanism for development of trans-2-nonenal in beer. **J. Am. Soc. Brew. Chem.**, v. 57, p. 29-33, 1999.
26. LERMUSIEAU, G.; LIÉGEOIS, C.; COLLIN, S. Reducing power of hop cultivars and beer ageing. **Food Chem.**, v.72, p. 413-418, 2001.
27. LIÉGEOIS, C. et al. Release of deuterated (E)-2-nonenal during beer aging from labeled precursors synthesized before boiling. **J. Agric. Food Chem.**, v. 50, p. 7634-7638, 2002.
28. LUGASI, A. Polyphenol content and antioxidant properties of beer. **Acta Alim.**, v. 32, n.2, p. 181-192, 2003.
29. MAILLARD, M. N. et al. Antioxidant activity of barley and malt: relationship with phenolic content. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.**, v.29, p.238-244, 1996.
30. MCMURROUGH, I. The role of flavanoid polyphenols in beer stability. **J. Am. Soc. Brew. Chem.**, v. 54, p. 141-148, 1996.
31. MCMURROUGH, I.; MADIGAN, D.; KELLY, R. J. Evaluation of rapid colloidal stabilization with polyvinylpolypyrrolidone (PVPP). **J. Am. Soc. Brew. Chem.**, v. 55, p. 38-43, 1997.
32. MONTANARI, L. et al. Organic and phenolic acids in beer. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.**, v. 32, p. 538-539, 1999.
33. PESSA, E. Variations in the acetaldehyde content of beer. In: CONGRESS OF THE EUROPEAN BREWING CONVENTION, 13th, Estoril, 1971. **Proceedings...** Estoril-Portugal, 1971. p.333.
34. SCALBERT, A.; WILLIAMSON, G. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. **J. Nutr.**, v. 130, p. 2073S-2085S, 2000.
35. SINDICATO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DE CERVEJA. Disponível em: <http://www.sindicerv.com.br/mercado.php>. Acesso em: 23 jul. 2006.
36. STEVENS, J.F. Fate of xanthohumol and related prenylflavonoids from hops to beer. **J. Agric. Food Chem.**, v. 47, p. 2421-2428, 1999.
37. STEVENS, J.F.; PAGE, J. E. Xanthohumol and related prenylflavonoids from hops and beer: to your good health! **Phytochemistry**, v.65, p.1317-1330, 2004.
38. STEWART, G. G. A brewer's delight. **Chem. Ind.**, v.6, n.11, p. 706-709, nov.2000.
39. STEWART, G. G. The chemistry of beer instability. **J. Chem. Educ.**, v. 81, n.7, p. 963-968, 2004.
40. STONE, I.; LASHIVER, C. A sensitive colorimetric technique for the determination of traces of sulphur dioxide in beer. **Proc. Am. Soc. Brew. Chem.**, n. 1, p. 46, 1957.
41. VANDERHAEGEN, B. et al. The chemistry of beer aging – a critical review. **Food Chem.**, v. 95, p. 357-381, 2006.
42. WALTERS, M. T.; HEASMAN, A. P.; HUGUES, P. S. Comparison of (+)-catequin and ferulic acid as natural antioxidants and their impact on beer flavour stability. Part I: forced-aging. **J. Am. Soc. Brew. Chem.**, v. 55 n. 2, p. 43-89, 1997.