

Evaluation of physicochemical parameters and phenolic compounds of craft beer subjected to forced aging

Aline Tiecher Marin ^a, Emanoelly Cristiny Prates Fronza ^a, Liliane dos Santos ^a, Silmara Pastre ^a, Albimara Hey ^b, Ricardo Aparecido Pereira ^{a*}

^a Departamento de Farmácia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná – Campus Palmas, 85555-000, Paraná, Brasil.

^b Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Desenvolvimento Comunitário, Universidade Estadual do Centro-Oeste, 85040-167, Guarapuava, Paraná, Brasil.

Abstract

Beer is the most consumed alcoholic beverage in the world, obtained by cooking barley malt with the addition of hops and brewer's yeast. The craft beer market has been growing, and, at the same time, the demand for studies on nutritional issues, compounds, and chemical reactions. The forced aging analysis assesses the long-term stability of the drink to simulate the reality of storage. During the shelf life, the drink may undergo reactions that alter the physical-chemical characteristics, color, and flavor. Thus, this research aimed to evaluate changes in phenolic compounds and physical-chemical parameters of beers subjected to the forced aging process. After production, beer samples remained at 50 °C for 1, 3, 6, 9, and 13 days. Afterward, color-EBC analyses were performed through reading at 430 nm, pH, dry extract, phenolic compounds' content, and physical-chemical analyses in the Beer Analyzer® equipment. The most significant results were related to color, which showed a darkening during the experiment; the pH was more alkaline during aging, and the total phenolic compounds dropped over the days. The results obtained can be related to changes due to storage temperature and product instability after bottling.

Keywords: Beer, aging, phenolics, physicochemical, quality.

Graphical Abstract



*Corresponding author: Ricardo A. Pereira. E-mail address: ricardo.aparecido@ifpr.edu.br
Received: 01 Jun 2023; Accepted: 01 Jul 2023; Published: 05 Jul 2023.
© The Author(s) 2023. Open Access (CC BY 4.0).

1. Introdução

De acordo com o decreto nº 9.902, a cerveja é obtida pela cocção do mosto de cevada malteada ou extrato de malte, com adição de lúpulo ou extrato deste e fermentação por uma levedura cervejeira (Brasil, 2019). A bebida é considerada puro malte quando em seu processo fabril são utilizados somente açúcares oriundos de malte de cevada ou de trigo (Sleiman et al., 2010).

Diferentes compostos presentes naturalmente na cerveja apresentam efeitos benéficos à saúde (de Gaetano et al., 2016). Os polifenóis, como os flavonoides, possuem ação antioxidante. Os folatos, flúor, colina e silício, também presentes na bebida, servem de cofatores enzimáticos celulares (Muller et al., 2020). Há relatos de que o seu uso moderado auxilia no controle de doenças cardiovasculares e o diabetes, especialmente em bebidas adicionadas de frutos e plantas em seu processo produtivo (Redondo et al., 2018).

A produção de cervejas artesanais tem ganhado espaço na economia nacional e apresenta um público distinto dos consumidores das cervejas industriais, demonstrando maior interesse pela história e produção da bebida, além do conhecimento sobre a qualidade do produto (Menezes Filho, Silva & Castelo, 2020; Alves et al., 2020).

Alguns aspectos de qualidade sofrem alteração durante a estocagem de produtos alimentícios. O que determina o tempo de prateleira da cerveja é a avaliação microbiológica e os aspectos sensoriais, principalmente sabor, aroma e cor. A validade é determinada pelo tempo desde a produção e fatores do ambiente em que foi armazenado, como a temperatura. Processos físico-químicos podem afetar as concentrações de compostos fenólicos (Reinert et al, 2023; Siqueira, Bolini & Macedo, 2011). O principal meio de deterioração da bebida parecem ser as reações de oxidação (Mutz, Rosario & Conte-Junior, 2020; Martínez et al., 2017).

O teste de envelhecimento forçado é utilizado na indústria cervejeira a fim de avaliar a estabilidade do produto a longo prazo e delimitar sua validade, a qual pode ser um problema para as cervejarias, principalmente as de pequeno porte (Vanderhaegen et al., 2006). O conhecimento sobre os parâmetros físico-químicos durante o envelhecimento, visando garantir a estabilidade

microbiológica e sensorial da cerveja é importante. Nesse sentido, à medida que a demanda por cervejas artesanais cresce, os estudos dos diferentes aspectos que a cercam devem seguir o mesmo ritmo, especialmente sobre questões nutricionais, de seus compostos e reações químicas.

Com algumas exceções notáveis, os consumidores preferem que sua cerveja seja brilhante e livre de partículas. Quando a cerveja é armazenada, ela tem o potencial de produzir turbidez e o brilho ficará comprometido. Estabilidade física da cerveja (também chamada estabilidade coloidal ou simplesmente formação de névoa) não pode, infelizmente, ser assegurada ao produto final. A estabilidade será afetada por todo o processo de fabricação de cerveja; conseqüentemente, deve-se tomar cuidado em todas as etapas. As matérias-primas são a fonte de precursores de névoa. Embora existam vários tipos de névoa de cerveja, a reação primária é a polimerização de polifenóis e sua ligação com proteínas específicas (Stewart, Russell & Anstruther, 2017).

Quando a cerveja é resfriada abaixo de 0 °C, forma-se uma névoa fria, que consiste em uma associação reversível de pequenos polifenóis polimerizados e proteínas. Restaurada à temperatura ambiente, essa névoa se dissolve novamente e a bebida fica brilhante novamente. Se o produto for resfriado e aquecido várias vezes, ou se a cerveja for armazenada em temperatura ambiente por um período prolongado (6 meses ou mais), uma névoa permanente se formará. Esta névoa não redissolve mesmo quando a cerveja é aquecida a 30 °C ou superior (Mayerhöfer, Pahlow & Popp, 2020).

O equilíbrio entre os polifenóis flavonoides e conteúdo proteico dita em grande parte a estabilidade física (coloidal). As cervejas podem diferir amplamente no conteúdo dessas espécies, cujos níveis relativos dependem sobre as matérias-primas e as condições de processo empregadas (Anderson, et al., 2019). Nesse sentido, os testes de envelhecimento forçado ganham importância técnica e aplicabilidade efetiva no dia a dia da indústria cervejeira. Dessa forma, o intuito deste trabalho foi avaliar as alterações de compostos fenólicos e parâmetros físico-químicos de cervejas do tipo ale de alta fermentação submetidas ao processo de envelhecimento forçado.

2. Material e Métodos

2.1 Processo cervejeiro

Para elaboração da bebida utilizada no experimento moeu-se 6 kg de malte de cevada do tipo pilsen (Agrária®, Guarapuava-PR, Brasil) em moinho de rolos. Esses grãos foram adicionados juntamente com água à panela semi-automatizada BeerMax® (Campo Mourão-PR, Brasil), com capacidade para 30 L, dando início ao processo de produção do mosto (Fig. 1).



Fig. 1 Fluxograma simplificado da produção da cerveja.

A mosturação foi dividida em três etapas, a primeira em 50 °C no tempo de 15 min, seguida de 66 °C por 85 min e a última rampa de temperatura a 76 °C durante 10 min. Após, iniciou-se a etapa de fervura, durante 60 min, na qual foram adicionados os lúpulos, 14 g de Saaz Barth-Hass Group® (Reino Unido e Alemanha) no início e 14 g de Tradition Barth-Hass Group® (Reino Unido e Alemanha) em 30 min do processo. Faltando 15 min para o fim, adicionou-se o *whirfloc*, como agente floclulante, auxiliando na clarificação e diminuição da turbidez da bebida. Na sequência, fez-se o resfriamento com auxílio de um *chiller* de imersão, com circulação de água, até atingir a temperatura de fermentação e transferiu-se o mosto para o tanque fermentador. A levedura ale Lallemand Nottingham® (Canadá) foi inoculada para fermentação sob temperatura de 14 °C. Ao fim do processo fermentativo a temperatura do tanque foi reduzida para 1 °C para maturação da bebida por 14 dias. Na sequência procedeu-se o envase em garrafas de vidro âmbar, com adição de 6 g de sacarose por litro da cerveja, para primer (carbonatação na garrafa). Por fim, após a completa carbonatação, empregou-se pasteurização amostral.

2.2 Envelhecimento forçado

A metodologia de envelhecimento foi realizada segundo o trabalho de Li e colaboradores (2015) com adaptações, em sextuplicata, totalizando 36 amostras, submetidas a temperatura constante de 50 °C e ausência de luz em uma estufa bacteriológica. As amostras foram divididas em seis grupos: T0, T1, T2, T3, T4 e T5 (Tabela 1).

Tabela 1 Códigos das amostras e o tempo do regime de envelhecimento.

Código	Tempo
T0	Geladeira
T1	1 dia
T2	3 dias
T3	6 dias
T4	9 dias
T5	13 dias

As cervejas de T0 (tempo zero) permaneceram sob refrigeração em geladeira desde o início do experimento. As demais amostras (T1, T2, T3, T4 e T5) ficaram acondicionadas em 50 °C, pelo tempo indicado na tabela.

2.3 Análises físico-químicas

2.3.1 Análise de cor – EBC

A coloração foi obtida através de um método espectrofotométrico da Analytica EBC (European Brewery Convention, 2000), em sextuplicata. As amostras de cerveja foram filtradas em papel filtro (100 g/m²), e logo após, sua absorbância foi lida em 430 nm no espectrofotômetro Zhoulin Bio-Spectrum Technology, SP-22 (Pequim, China) previamente zerado com água deionizada. Os resultados foram expressos através da equação: Cor EBC = Abs × 25.

2.3.2 Análise de pH

O pH foi determinado em sextuplicata, por método potenciométrico, baseando-se na metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), com auxílio de um pHmetro digital (PHS-3BW, Ionlab®) previamente calibrado com soluções-tampão de pH 4 e 7, em sequência, o eletrodo foi imerso diretamente nas amostras de cerveja.

2.3.3 Análise do teor álcool

A análise de álcool (v/v) foi realizada em sextuplicatas, em amostras descarboxadas e filtradas em papel filtro quantitativo (100 g/m²) no equipamento Beer Analyser Anton Paar, DMATM 4500M® (Europa), o qual tem sua metodologia baseada na determinação da densidade de alta precisão e infravermelho próximo.

2.4 Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais foram determinados segundo a metodologia espectrofotométrica de Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999) com modificações. Empregou-se reagentes de grau analítico Alphatec® (São Paulo, Brasil). A cerveja, previamente descarboxada, foi diluída em 1:20 com etanol 70% e transferida uma alíquota de 500 µL para um tubo de ensaio, adicionando 2,5 mL da solução de Folin-Ciocalteu e 2 mL da solução de Na₂CO₃ 7,5% (Alphatec®). Posteriormente, as alíquotas foram deixadas no escuro durante duas horas, em seguida determinou-se a leitura da absorbância em 725 nm no espectrofotômetro (Zhoulin Bio-Spectrum Technology, SP-22). Foi construída uma curva de calibração de ácido gálico nas concentrações de 5 a 150 µg para comparação com as leituras amostrais, os resultados foram expressos por miligramas de equivalente de ácido gálico (GAE) por mL de cerveja. Equação da reta $y = 220x - 6,7611$ e $R^2 = 0,9933$.

2.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à Análise de Variâncias - ANOVA e *post-hoc* Student-Newman-Keuls (SNK) com $p < 0,05$ usando o software SPSS Statistics versão 23.0 para Windows. Antes, porém, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk no Microsoft Excel 2016, a fim de verificar a normalidade amostral.

3 Resultados e Discussão

3.1 Envelhecimento forçado

Na análise de envelhecimento forçado as amostras foram submetidas a temperatura constante de 50 °C, Li et al. (2015) ao estudarem a cinética do envelhecimento da cerveja, verificaram que as bebidas envelheceram 30 vezes mais rápido sob 50

°C do que em temperatura ambiente. Por conseguinte, a cada dia nessa temperatura, é possível representar alterações químicas semelhantes a aproximadamente 30 dias de prateleira da cerveja em temperatura ambiente.

O processo de envelhecimento da bebida faz com que algumas características organolépticas e físico-químicas se alterem. Desse modo, o presente artigo realizou o envelhecimento acompanhando as modificações de pH, cor e compostos fenólicos para verificar efetivamente se essas análises se alterariam, por isso realizou-se a análise estatística desses parâmetros.

3.2 Análise de cor – EBC

A cor das cervejas se manteve pouco variável até o 9° dia de envelhecimento, conforme Fig. 2, apresentando variação de 15,19 EBC na amostra sob refrigeração, até 18,59 EBC na amostra com 13 dias em regime de envelhecimento, sendo este último, o único grupo que apresentou diferença estatística dos demais. Isso quer dizer que, pode-se observar um escurecimento na cerveja em função do tempo de aquecimento, devido ao fato de que ela não se encontra em equilíbrio ao ser engarrafada e por isso os processos químicos e bioquímicos continuam acontecendo simultaneamente, embora em taxas diferentes, e isso influencia na cor final do produto (Vanderhaegen et al., 2006).

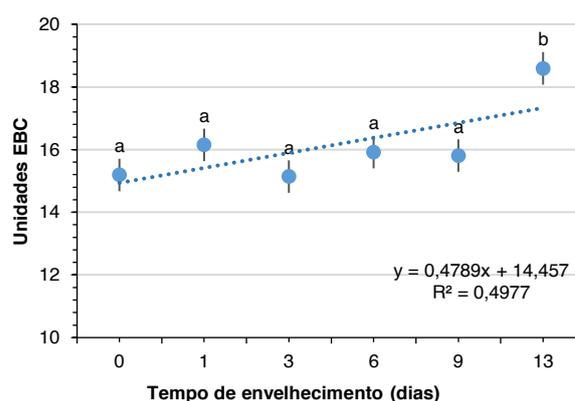


Fig. 2 Variação da cor em função do tempo de envelhecimento. Resultados expressos como média com barra de erro padrão, letras distintas nos marcadores indicam diferença estatística ($p < 0,05$; SNK após ANOVA One-Way). O tempo representa a quantidade de dias em que a cerveja permaneceu em envelhecimento forçado a 50 °C. A unidade EBC representa a variação de cor que a cerveja apresentou durante os 13 dias em que foi realizado o envelhecimento forçado.

Assim, as amostras em todos os tempos de envelhecimento podem ser caracterizadas como claras e de cor âmbar. A bebida sofreu um escurecimento de 22,4% durante o experimento, enquanto Lehnhardt e colaboradores (2019) observaram em seu estudo um aumento de 40,6% na coloração. No Brasil, as cervejas com menos de 20 unidades EBC são consideradas claras (Rosa & Afonso, 2015).

Em decorrência do armazenamento, principalmente em temperaturas elevadas, a cerveja escurece (Collin et al., 2013). Segundo Vanderhaegen e colaboradores (2006) a bebida recém engarrafada não está em equilíbrio químico, de maneira que as reações continuam acontecendo no período de prateleira. Na prática, as taxas de reações aumentam em maiores concentrações de substrato e temperatura de armazenamento, o que pode acarretar o escurecimento do produto. Os resultados encontrados neste estudo corroboram com estas observações, em especial para o tempo de 13 dias, neste ponto a bebida apresentou diferenças matemáticas com os demais tempos amostrais.

3.3 Análise de pH

A variação do pH para cervejas submetidas à análise de envelhecimento forçado foi relativamente baixa, no entanto é normal que o pH da cerveja se altere durante o envelhecimento, porém não foram observadas mudanças significativas nesse parâmetro. A amostra sob refrigeração apresentou resultado médio de 4,48, enquanto a amostra que permaneceu 13 dias sob 50 °C expressou uma média de 4,54; como pode ser observado na **Fig. 3**, sendo a última, assim como na análise de cor, a única com diferença estatística das demais, nesse caso, pode-se correlacionar o escurecimento da cerveja com o aumento do pH.

As reações de oxidação são um dos fatores que levam ao envelhecimento físico-químico e organoléptico da cerveja. Essas, tendem a diminuir em pH maiores, manter a cerveja em pH acima de 4,0 pode ser favorável à estabilidade do sabor (Kaneda et al., 1997). Saison et al. (2010) observaram que à medida que o pH aumenta, o sabor envelhecido diminui.

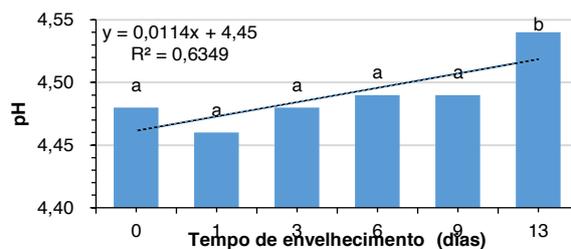


Fig. 3 Evolução dos resultados de pH. Resultados expressos como média com barra de erro padrão, letras distintas nas colunas indicam diferença estatística ($p < 0,05$; SNK após ANOVA One-Way). O tempo representa a quantidade de dias em que a cerveja permaneceu sob regime de envelhecimento forçado a 50 °C. O pH representa a sua variação em que a cerveja apresentou durante os 13 dias em que foi realizado o envelhecimento forçado.

3.4 Compostos fenólicos

A quantificação de compostos fenólicos apresentou-se em declínio pelo tempo de envelhecimento, conforme a **Fig. 4**.

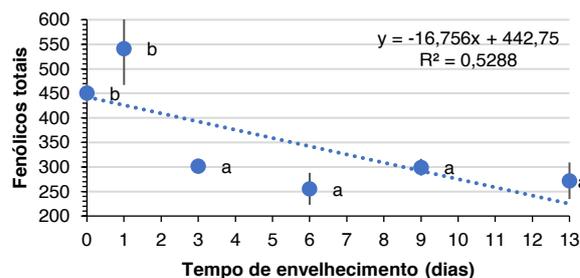


Fig. 4 Teor de compostos fenólicos totais. Resultados expressos como média com barra de erro padrão, letras distintas nos marcadores indicam diferença estatística ($p < 0,05$; SNK após ANOVA One-Way) $n = 36$. Fenólicos totais expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por mL de cerveja. O tempo representa a quantidade de dias em que a cerveja permaneceu em envelhecimento forçado a 50 °C.

Siqueira, Bolini e Macedo (2011) ao realizar o teste de envelhecimento, observou que a concentração de compostos fenólicos das suas cervejas não se alterou durante 6 dias a 42 °C, concluindo que esse tempo e temperatura, do ponto de vista bioquímico, não foram suficientes para alterar o perfil oxidativo da bebida.

Em contrapartida, Oñate-Jaén, Bellido-Milla e Hernández-Artiga (2006) perceberam que ao envelhecer suas amostras a 60 °C por 7 dias os valores de fenólicos totais e a capacidade antioxidante diminuem, ao comparar com o envelhecimento natural das mesmas cervejas.

Os resultados encontrados neste experimento demonstraram que ao longo do processo de envelhecimento os compostos fenólicos diminuíram, apresentando diferença estatística já no terceiro dia de experimento. Com o decorrer do tempo a cerveja tende a naturalmente realizar reações químicas durante seu processo de envelhecimento fazendo com que compostos fenólicos, ácidos e outras substâncias se liguem umas às outras transformando-as (De Schutter et al., 2009). Além disso, alguns compostos fenólicos são sensíveis a luz, e a exposição a luz também pode ter favorecido o decréscimo (Coelho, 2020).

Alguns compostos fenólicos são conhecidos por eliminar os radicais superóxidos, o que pode fazer com que diminuam as reações de oxidação no envelhecimento da bebida (De Schutter et al., 2009). Por outro lado, durante o armazenamento da cerveja, os fenólicos simples e complexos, oxidados, podem interagir com proteínas formando complexos insolúveis e neblinas, ocasionando a instabilidade coloidal do produto (Stewart, 2016).

4. Considerações Finais

A cerveja é uma mistura de compostos bioativos, os quais estão sujeitos a reações químicas durante o armazenamento. O teste de envelhecimento forçado a 50 °C é representativo e proposto para economizar tempo analítico, embora, não possa substituir o real estado bioquímico das mudanças que ocorrem durante o envelhecimento natural. Ao longo da análise, os parâmetros de pH e cor demonstraram alterações no mesmo período, sendo possível relacioná-los, conforme aconteceram as reações, pode-se observar que o pH ficou mais alcalino e as unidades de cor aumentaram. O processo de envelhecimento forçado diminuiu o conteúdo de compostos fenólicos da cerveja, o que pode ser explicado pela submissão a alta temperatura, sem desconsiderar o fator das reações de estabilização do produto. Este, apresenta-se

como fonte de fenólicos e consequentemente atividade antioxidante mesmo após envelhecer.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFPR – Instituto Federal do Paraná pelo suporte na realização dos experimentos e na análise dos dados. Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Fundação Araucária pelo apoio fornecido ao longo deste trabalho.

Contribuições dos Autores

A.T.M.: Curadoria de Dados, Revisão - Preparação do Rascunho Original, Investigação, Análise Formal; A.H.: Supervisão, Administração de Projetos; R.A.P.: Administração de Projetos, Supervisão; E.C.P.F.: Redação - Revisão e Edição; L.S.: Redação - Revisão e Edição; S.P.: Redação - Revisão e Edição. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Disponibilidade de dados e materiais

Aparecido Pereira, Ricardo, 2023, "Evaluation of physico-chemical parameters and phenolic compounds of craft beer subjected to forced aging", <https://doi.org/10.7910/DVN/HJZSY3>, Harvard Dataverse, V1

Financiamento

Esta pesquisa teve apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil) com a concessão de bolsas, número 162317/2022-0, 162318/2022-7 e 153676/2022-1, projeto PIBITI-IFPR 2022.

Conflitos de Interesses

Os autores declaram que não têm interesses conflitantes.

Referências

- Alves, M. de M., Rosa, M. da S., Santos, P. P. A. Dos, da Paz, M. F., Morato, P. N., & Fuzinato, M. M. (2020). Artisanal beer production and evaluation adding rice flakes and soursop pulp (*Annona muricata* L.). *Food Science and Technology*, 40(suppl 2), 545–549. <https://doi.org/10.1590/fst.36119>
- Anderson, H. E., Santos, I. C., Hildenbrand, Z. L., & Schug, K. A. (2019). A review of the analytical methods used for beer ingredient and finished product analysis and quality control. *Analytica Chimica Acta*, 1085, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.07.061>

Brasil. (2019). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA. *Decreto nº 9.902 de 8 de julho de 2019*. Altera o Anexo ao Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a Lei nº 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. Brasília.

Coelho, K. Y. (2020). *Efeito do tempo de estocagem e exposição a luz no teor de fenólicos totais e na capacidade antioxidante de chás mate e branco prontos para beber*. 25 p. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Escola de Nutrição, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto.

- Collin, S., Jerkovic, V., Bröhan, M., & Callemien, D. (2013). Polyphenols and beer quality. In *Natural Products: Phytochemistry, Botany and Metabolism of Alkaloids, Phenolics and Terpenes* (pp. 2333–2359). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6_78
- de Gaetano, G., Costanzo, S., Di Castelnuovo, A., Badimon, L., Bejko, D., Alkerwi, A., Chiva-Blanch, G., Estruch, R., La Vecchia, C., Panico, S., Pounis, G., Sofi, F., Stranges, S., Trevisan, M., Ursini, F., Cerletti, C., Donati, M. B., & Iacoviello, L. (2016). Effects of moderate beer consumption on health and disease: A consensus document. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 26(6), 443–467. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2016.03.007>
- De Schutter, D. P., Saison, D., Delvaux, F., Derdelinckx, G., & Delvaux, F. R. (2008). The chemistry of aging beer. In *Beer in Health and Disease Prevention* (pp. 375–388). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-373891-2.00036-5>
- European Brewery Convention. (2000). *The Analysis Committee Analytica-EBC: Method 8.5 Colour of Wort: Spectrophotometric Method (IM) revised Oct. 2000*. Elsevier. London. 78 p.
- Instituto Adolfo Lutz – IAL. (2008). *Métodos químicos e físicos para análise de alimentos*. 4 ed. Instituto Adolfo Lutz. São Paulo. 1020 p.
- Kaneda, H., Takashio, M., Tamaki, T., & Osawa, T. (1997). Influence of pH on flavour staling during beer storage. *Journal of the Institute of Brewing*, 103(1), 21–23. <https://doi.org/10.1002/j.1002-0416.1997.tb00932.x>
- Lehnhardt, F., Gastl, M., & Becker, T. (2019). Forced into aging: Analytical prediction of the flavor-stability of lager beer. A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(16), 2642–2653. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1462761>
- Li, H., Liu, F., He, X., Cui, Y., & Hao, J. (2015). A study on kinetics of beer ageing and development of methods for predicting the time to detection of flavour changes in beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 121(1), 38–43. <https://doi.org/10.1002/jib.194>
- Martínez, A., Vegara, S., Martí, N., Valero, M., & Saura, D. (2017). Physicochemical characterization of special persimmon fruit beers using bohemian pilsner malt as a base. *Journal of the Institute of Brewing*, 123(3), 319–327. <https://doi.org/10.1002/jib.434>
- Mayerhöfer, T. G., Pahlow, S., & Popp, J. (2020). The Bouguer-Beer-Lambert law: Shining light on the obscure. *ChemPhysChem*, 21(18), 2029–2046. <https://doi.org/10.1002/cphc.202000464>
- Menezes Filho, J. G., Silva, M. E., & Castelo, J. S. F. (2020). The identity constitution of the craft beer consumer in the City of Fortaleza (Brazil). *Brazilian Business Review*, 17(4), 381–398. <https://doi.org/10.15728/BBR.2020.17.4.2>
- Muller, C., Neves, L. E., Gomes, L., Guimarães, M., & Ghesti, G. (2020). Processes for alcohol-free beer production: A review. *Food Science and Technology*, 40(2), 273–281. <https://doi.org/10.1590/fst.32318>
- Mutz, Y. S., Rosario, D. K. A., & Conte-Junior, C. A. (2020). Insights into chemical and sensorial aspects to understand and manage beer aging using chemometrics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3774–3801. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12642>
- Oñate-Jaén, A., Bellido-Milla, D., & Hernández-Artiga, M. P. (2006). Spectrophotometric methods to differentiate beers and evaluate beer ageing. *Food Chemistry*, 97(2), 361–369. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.010>
- Redondo, N., Nova, E., Díaz-Prieto, L. E., & Marcos, A. (2018). Effects of moderate beer consumption on health. *Nutrición Hospitalaria*, 35(Ext6), 41–44. <https://doi.org/10.20960/NH.2286>
- Reinert, G., Almeida, A. da R., De Armas, R. D., & Maciel, M. V. de O. B. (2023). Physicochemical analysis, antioxidant activity and research of saponins in fresh and blanched caruru (*Amaranthus deflexus* Linn) and ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) leaves. *Food Science Today*, 1(1). <https://doi.org/10.58951/fstoday.v1i1.12>
- Rosa, N. A., & Afonso, J. C. (2015). A Química da Cerveja. *Química Nova Na Escola*, 37(2), 98–105. <https://doi.org/10.5935/0104-8899.20150030>
- Saison, D., Vanbeneden, N., De Schutter, D. P., Daenen, L., Mertens, T., Delvaux, F., & Delvaux, F. R. (2010). Characterisation of the flavour and the chemical composition of lager beer after ageing in varying conditions. *BrewingScience*, 63(3–4), 41–53.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Siqueira, P. B., Bolini, H. M. A., & Macedo, G. A. (2011). Polyphenols and antioxidant properties in forced and naturally aged Brazilian beer. *Journal of Brewing and Distilling*, 2(3), 45–50. <https://doi.org/https://doi.org/10.5897/JBD.9000005>
- Sleiman, M., Venturini Filho, W. G., Ducatti, C., & Nojimoto, T. (2010). Determinação do percentual de malte e adjuntos em cervejas comerciais brasileiras através de análise isotópica. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(1), 163–172. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000100021>
- Stewart, G. G. (2016). Beer shelf life and stability. In *The Stability and Shelf Life of Food* (pp. 293–309). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00010-1>
- Stewart, G. G., Russell, I., & Anstruther, A. (2017). Handbook of Brewing. In *Handbook of Brewing* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351228336>
- Vanderhaegen, B., Neven, H., Verachtert, H., & Derdelinckx, G. (2006). The chemistry of beer aging - A critical review. *Food Chemistry*, 95(3), 357–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.006>