

Avaliação do oxigênio dissolvido na cerveja durante o processo de trasfega entre a fermentação e maturação

Patrick Gomes de Souza¹ & Mirela Furtado Carvalho²

¹ Laboratório de Alimentos e Nutrição, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil

² Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil

Correspondência: Patrick Gomes de Souza, de Alimentos e Nutrição, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: patrick.cientista@gmail.com

Recebido: Dezembro 21, 2021

Aceito: Janeiro 12, 2022

Publicado: Fevereiro 01, 2022

Resumo

A qualidade sensorial da cerveja é um fator de grande influência sobre a escolha de um produto pelo consumidor no mercado. Essa qualidade é impactada diretamente por diversos mecanismos, entre eles a reação de oxidação. A oxidação de ácidos graxos da cerveja a aldeídos está associada com o sabor indesejado nesse produto. Com isso, o projeto visa reduzir a oxidação da cerveja na etapa de maturação de forma a conservar o sabor original do produto. O experimento consistiu na avaliação dos níveis de oxigênio dissolvido em diversos pontos do circuito Fermat. Durante a etapa do circuito Fermat foram avaliados os níveis de oxigênio dissolvido na cerveja nas seguintes etapas: tanque de fermentação, antes e depois da centrifugação, depois o trocador de calor, entrada do maturador e tanque maturador. A medição do oxigênio foi realizada com aparelho eletrônico DIGOX e os resultados foram expressos em mg L⁻¹. As maiores elevações nos níveis de oxigênio dissolvido na cerveja estão entre as etapas antes e depois da centrifugação e entrada do tanque maturador e tanque maturador cheio. Notou-se que a baixa pressão de gás carbônico injetado na cúpula do tambor da centrífuga foi a principal pausa do incremento. Sendo comprovado após ajustes e novos testes. A causa fundamental do incremento do oxigênio no tanque maturador foi atribuída à impureza do gás carbônico no colchão de CO₂. Após essas verificações novos testes foram realizados e os resultados mostraram que houve redução de 65% do oxigênio dissolvido na cerveja após as intervenções citadas.

Palavras-chave: Cerveja, Produção Industrial, Oxigênio, Oxidação

Abstract

The sensory quality of beer is a major factor influencing the choice of a product by the consumer on the market. This quality is directly impacted by several mechanisms, including the oxidation reaction. Oxidation of beer fatty acids to aldehydes is associated with the undesired taste in this product. With this, the project aims to reduce the oxidation of beer in the maturation stage in order to preserve the original flavor of the product. The experiment consisted of the assessment of dissolved oxygen levels at different points in the Fermat circuit. During the stage of the Fermat circuit, the levels of oxygen dissolved in the beer were evaluated in the following stages: fermentation tank, before and after centrifugation, then the heat exchanger, maturation inlet and maturation tank. The oxygen measurement was performed with a DIGOX electronic device and the results were expressed in mg L⁻¹. The greatest increases in the levels of dissolved oxygen in the beer are between the stages before and after centrifugation and inlet of the maturing tank and full maturing tank. It was noted that the low pressure of carbon dioxide injected into the dome of the centrifuge drum was the main pause in the increase. Being proven after adjustments and new tests. The fundamental cause of the increase in oxygen in the maturation tank was attributed to the impurity of carbon dioxide in the CO₂ mattress. After these checks, new tests were carried out and the results showed that there was a 65% reduction in the oxygen dissolved in the beer after the mentioned interventions.

Keywords: Beer, Industrial Production, Oxygen, Oxidation

Resumen

La calidad sensorial de la cerveza es un factor de gran influencia en la elección de un producto por parte del

consumidor en el mercado. Esta cualidad se ve afectada directamente por varios mecanismos, incluida la reacción de oxidación. La oxidación de los ácidos grasos en la cerveza a aldehídos está asociada con un sabor desagradable en este producto. Con esto, el proyecto tiene como objetivo reducir la oxidación de la cerveza durante la etapa de maduración para preservar el sabor original del producto. El experimento consistió en evaluar los niveles de oxígeno disuelto en diferentes puntos del circuito de Fermat. Durante la etapa del circuito Fermat, se evaluaron los niveles de oxígeno disuelto en la cerveza en las siguientes etapas: tanque de fermentación, antes y después de la centrifugación, después del intercambiador de calor, entrada del madurador y tanque de maduración. La medición de oxígeno se realizó con un dispositivo electrónico DIGOX y los resultados se expresaron en mg L^{-1} . Las mayores elevaciones en los niveles de oxígeno disuelto en la cerveza se encuentran entre los pasos antes y después de la centrifugación y la entrada al tanque de preparación y al tanque de preparación lleno. Se observó que la baja presión de dióxido de carbono inyectado en la cúpula del tambor de centrífuga era la principal pausa en el incremento. Siendo probado después de ajustes y nuevas pruebas. La causa fundamental del aumento de oxígeno en el tanque de envejecimiento se atribuyó a la impureza de dióxido de carbono en el colchón de CO_2 . Luego de estas verificaciones, se realizaron nuevas pruebas y los resultados mostraron que hubo una reducción del 65% en el oxígeno disuelto en la cerveza luego de las intervenciones mencionadas.

Palabras clave: Cerveza, Producción Industrial, Oxígeno, Oxidación

1. Introdução

A qualidade sensorial da cerveja é um fator de grande influência sobre a escolha de um produto pelo consumidor no mercado cervejeiro. Essa qualidade é impactada diretamente por diversos mecanismos, entre eles a reação de oxidação. A oxidação de ácidos graxos e aldeídos, presentes na cerveja, está associada com o sabor indesejado desse produto. Esse sabor lembra o aroma de papelão molhado ou um sabor totalmente diferente do usual. Muitas vezes, o consumidor desconhece tecnicamente o defeito, mas ele pode ser suficiente para mudar a escolha de produto quanto ao paladar do consumidor. Sendo assim, é preciso conhecer o processo cervejeiro para entender onde a oxidação pode ser gerada (Souza, 2010; Morado, 2018).

Ressalta-se que os processos oxidativos apresentam diferentes processos de ação, embora produtos alimentícios sólidos, pastosos e líquidos nessa ordem, apresentam propícios para que ocorram esses processos em cadeias, com diferentes tipos de radicais livres desde sua fabricação até armazenamento e posterior distribuição, o problema se inicia ainda na produção, pois concentrações superiores de *Trans-2-nonenal* está diretamente ligado aos processos oxidativos (Rosa & Afonso, 2015; Menezes Filho et al., 2022). A oxidação da cerveja envolve a transformação de compostos químicos da bebida graças a presença do oxigênio. Como citado, a oxidação da cerveja é devido a presença de limites superiores de *Trans-2-nonenal*, um composto que confere a bebida aroma e sabor de envelhecimento. O *Trans-2-nonenal* é derivado da oxidação do ácido linoleico no final da etapa de fervura. Essa molécula se liga facilmente com compostos nitrogenados, como aminoácidos e proteínas ficando protegido contra a ação da atividade de leveduras estando presente no produto final (Siqueira et al., 2008). Diversas técnicas são usadas para identificação desses compostos, como avaliação do teor de oxigênio dissolvido na cerveja, análises espectroscopia de ressonância paramagnética de elétrons (EPR) e até mesmo a análise sensorial (Souza, 2015; Schmallegger & Gescheidt, 2018). A oxidação da cerveja diminui seu tempo de prateleira e sua qualidade (Mono, 2018).

O processo de fabricação da cerveja pode ser resumido basicamente em: elaboração do mosto cervejeiro, fermentação do mosto, maturação, filtração, envase e pasteurização da cerveja (Santos et al., 2021; Sales; Souza, 2021). O único momento que o oxigênio deve estar presente na cerveja é no início da fermentação, depois desta etapa, todo o contato da cerveja com o oxigênio será prejudicial em sua qualidade. O processo de oxidação pode iniciar após o decréscimo do efeito redutor natural das leveduras cervejeiras (*Saccharomyces uvarum*, *Saccharomyces pastorianus*, *Saccharomyces cerevisiae*) no final da fermentação do mosto. Após a filtração e clarificação, na qual as leveduras são removidas do líquido, a cerveja fica mais susceptível as reações de oxidação, por esse motivo deve ser evitado ao máximo a exposição ao oxigênio (Senai, 1997; Oliver & Mendes, 2020). A avaliação do oxigênio dissolvido entre a fermentação e maturação é essencial para evitar a oxidação da cerveja (Santos, 1997).

Durante o processo de oxidação, ocorrem reações físico-químicas que modificam a estrutura química de alguns compostos naturais da cerveja. Tais modificações geram alteração nos tons flavorizantes da cerveja. No entanto, existe uma grande dificuldade nas cervejarias para evitar o contato da cerveja com o oxigênio entre a fermentação e enchedora (Barnette & Shellhammer, 2019). Durante a transferência da cerveja filtrada do tanque

de pressão até a enchedora o líquido absorve entre 0,2 e 0,35 mg L⁻¹ de cerveja (OLIVER & MENDES, 2020). Valores acima desses citados anteriormente, proporcionam à oxidação do produto, alterando assim o sabor e aroma, tornando a cerveja indesejável pelo consumidor.

Com isso, o trabalho teve por objetivo, avaliar os pontos de oxidação da cerveja entre a fermentação e maturação em uma cervejaria brasileira.

2. Material e Métodos

Reagentes e equipamentos

Para a realização do estudo foi utilizado o aparelho portátil de medição de oxigênio, DIGOX, e medidor de pureza do gás carbônico (CO₂).

Fabrica cervejeira

O estudo foi desenvolvido em uma grande cervejaria localizada na cidade de Manaus, AM, Brasil. Com localização georreferenciada em -3.078174941594491, -60.0267346240122.

Produção da cerveja

A fase de avaliação cervejeira foi realizada entre o intervalo de processamento do produto até o final da fermentação e consecutivamente a maturação. O tipo de cerveja produzida é uma American Lager com malte de cevada tipo Pilsen, lúpulos alemães Hallertauer e levedura especial para cervejas de baixa fermentação. A produção do mosto e a fermentação aconteceram dentro dos padrões exigidos pela empresa.

Desenho experimental

A avaliação consistiu entre a etapa final de fermentação e a transferência da cerveja do tanque fermentador para o tanque maturador, no circuito Fermat. Foram avaliados os níveis de oxigênio dissolvido na cerveja, com aparelho DIGOX, nas seguintes etapas: tanque de fermentação (TF), antes e depois da centrifugação (AC e DC), trocador de calor (DTC), entrada do maturador (EM) e tanque maturador (TM). Todos esses pontos de avaliação possuíam tubulações com torneiras do tipo provadeira para engate do equipamento de análise. Consideram-se os resultados acima de 0,20 mg L⁻¹ fora da especificação.

Análise de oxigênio dissolvido na cerveja

A medição do oxigênio foi realizada com aparelho eletrônico DIGOX. O procedimento consistiu em limpar a provadeira com água antes da aferição, abrir a provadeira e esperar 20 segundos de jateamento da cerveja, fechar a provadeira e conectar com o aparelho. Os primeiros 3 minutos a cerveja passa pelo aparelho para fazer a ambientação e em seguida a leitura é realizada até a estabilização do resultado na tela do aparelho. Os resultados foram expressos em mg L⁻¹ de oxigênio sobre o produto acabado (EBC, 1987), onde a especificação é de no máximo 0,20 mg L⁻¹.

Análise da pureza do gás carbônico

A medição da pureza do CO₂ foi realizada com equipamento especial para medição da pureza do CO₂. O procedimento consistiu em limpar a provadeira com água antes da aferição, abrir a provadeira do tanque vazio após a injeção de CO₂. A injeção proposital de CO₂ no tanque vazio configura o procedimento conhecido como *colchão de CO₂*. O colchão é uma técnica de preparo do tanque que vai receber a cerveja centrifugada para maturação. Durante o preparo é injetado gás carbônico por 30 minutos no tanque. Se o gás estiver impuro, ou seja, com menos de 99,99% de pureza, a cerveja que entrará no tanque terá seu oxigênio dissolvido elevado. Os resultados foram expressos em % de pureza do gás carbônico (EBC, 1987), onde a especificação é de no mínimo 99,99%.

Análise estatística

Foi realizada a análise estatística conforme o teste de Tukey, em experimento inteiramente casualizado com sete repetições por tratamento. Uma avaliação do oxigênio dissolvido na cerveja foi realizada durante as etapas do processo, antes e depois do tratamento de forma separada.

Outra avaliação comparou as médias das etapas antes e após o tratamento, os resultados de significância, diferença mínima significativa e o coeficiente de variação foram reportados no programa utilizado.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão os dados da avaliação do oxigênio dissolvido na cerveja, nas diferentes etapas do processo, na sequência correta das etapas. É possível observar que houve diferença significativa desde que a cerveja sai do fermentador até sua chegada no maturador. Os resultados encontrados na entrada do maturador e dentro do tanque maturador estão no limite superior da especificação e for a dela. Valor da especificação adotada pela cervejaria é de no máximo 0,20 mg L⁻¹.

Comparados os tratamentos TF e AC, as maiores elevações nos níveis de oxigênio dissolvido na cerveja estão entre as etapas antes DC, DTC e EM, porém dentro da especificação, e TM, for a dos parâmetros estabelecidos pela cervejaria. Santos (2003) encontrou resultados mais baixos nas mesmas etapas, sendo notória uma elevação entre a fermentação e antes da centrifugação. O autor atribuiu o incremento do oxigênio à presença de oxigênio na linha montada entre o fermentador e a centrífuga.

Tabela 1. Oxigênio dissolvido nas etapas do circuito Fermat na cervejaria em estudo, antes do tratamento.

Tratamentos	Médias	Significância
Tanque fermentador (TF)	0,03	c
Antes de centrifugar (AC)	0,05	c
Depois de centrifugar (DC)	0,14	b
Depois do trocador de calor (DTC)	0,17	b
Entrada do maturador (EM)	0,20	b
Tanque maturador (TM)	0,32	a

Fonte: Autores, 2021.

A etapa de centrifugação foi avaliada para verificar o motivo de estar elevando o oxigênio dissolvido na cerveja. Notou-se que a baixa pressão de gás carbônico injetado na cúpula do tambor da centrífuga foi a principal causa do incremento. Sendo comprovado após ajustes e novos testes.

A causa fundamental do incremento do oxigênio no tanque maturador foi atribuída à impureza do gás carbônico no preparo do colchão de CO₂. Durante o preparo do colchão de CO₂ detectou-se pureza de 99,90%, conformando a contaminação do gás em suspensão no tanque. O oxigênio dissolvido na cerveja é um elemento crítico no controle de qualidade da cerveja, ele também pode se tornar tóxico para alguns microrganismos anaeróbicos como as leveduras cervejeiras mudando seu comportamento de fermentação (HALLIWELL & GUTTERIDGE, 2007). Após essa verificação o CO₂ foi retrabalhado para melhorar sua pureza, e após ser restabelecida com 99,99% novos testes foram realizados e os resultados estão expressos na (Tabela 2).

A Tabela 2 expressa os dados obtidos após as intervenções propostas. Os resultados apresentaram diferença estatística, no entanto as médias se apresentaram mais próximas. Em nenhuma dessas etapas foi observado valor fora da especificação, Souza (2015) encontrou resultados semelhantes, dentro da especificação. Esses dados evidenciam a melhoria neste parâmetro de qualidade físico-química da cerveja que tem relação direta com a qualidade sensorial da bebida.

Tabela 2. Oxigênio dissolvido nas etapas do circuito Fermat na cervejaria em estudo, após do tratamento.

Tratamentos	Médias	Significância
Tanque fermentador (TF)	0,04	c
Antes de centrifugar (AC)	0,05	c
Depois de centrifugar (DC)	0,07	bc
Depois do trocador de calor (DTC)	0,07	bc
Entrada do maturador (EM)	0,09	ab
Tanque maturador (TM)	0,11	a

Fonte: Autores, 2021.

A Tabela 3 evidencia a diferença estatística encontrada em todas as etapas antes e após os tratamentos citados, exceto na etapa antes de centrifugar (AC) todos os demais tratamentos apresentaram diferença estatísticas entre si. Como já discutido, todos os resultados de oxigênio dissolvido na cerveja após os tratamentos propostos foram satisfatórios. A redução do oxigênio dissolvido na cerveja aumenta o tempo de prateleira do produto, estando diretamente relacionada ao aumento no tempo de validade do produto.

Tabela 3. Oxigênio dissolvido nas etapas do circuito Fermat na cervejaria em estudo.

Etapa Circuito Fermat	Antes do Tratamento	Depois do Tratamento	Diferença Mín. Significativa	Coefficiente de Variação (%)
Tanque fermentador (TF)	0,03 ^b ± 0,01	0,04 ^a ± 0,01	0,01	16,97
Antes de centrifugar (AC)	0,05 ^a ± 0,01	0,05 ^a ± 0,01	0,01	18,52
Depois de centrifugar (DC)	0,14 ^a ± 0,05	0,07 ^b ± 0,02	0,04	33,65
Depois do trocador de calor (DTC)	0,17 ^a ± 0,03	0,07 ^b ± 0,03	0,03	21,44
Entrada do maturador (EM)	0,20 ^a ± 0,06	0,09 ^b ± 0,03	0,06	33,90
Tanque maturador (TM)	0,32 ^a ± 0,09	0,11 ^b ± 0,02	0,08	31,73

Nota: DP* = Desvio padrão. Fonte: Autores, 2021.

4. Conclusões

A principal causa da elevação do oxigênio durante a centrifugação estava relacionada a baixa pressão de CO₂ injetado na cúpula do tambor da centrífuga. A causa fundamental do incremento do oxigênio no tanque maturador foi atribuída à impureza do gás carbônico no preparo do colchão de CO₂. Após essas intervenções todos os resultados permaneceram dentro dos valores especificados pela cervejaria.

5. Agradecimentos

Agradecemos a cervejaria pela liberação do presente estudo e a Universidade do Estado do Amazonas pelo curso de formação na Especialização em Engenharia da Qualidade do segundo autor.

6. References

- Aquarone, E., Lima, U. A., Borzani, W. (1983). *Biotecnologia: alimentos e bebidas produzidos por fermentação*. 4^a ed. São Paulo: Edgard Blücher.
- Azevedo, L. F. S., Souza, P. G. (2021). Avaliação da perda de extrato de cerveja na etapa de brassagem em uma microcervejaria de Manaus. *Brazilian J. of Develop.*, 7 (4): 34537-34556.
- Barnette, B. M., Shellhammer, T. H. (2019). Avaliação do impacto do oxigênio dissolvido e do envelhecimento na estabilidade do aroma de dry-hopped em cerveja. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 77: 179-187.

- Bramforth, C. W., Lentini, A. (2009). *The flavor instability of beer*. In: Bramforth, C. W. (org.) *Beer a Quality Perspective*. Burlington: Academic Press.
- Carvalho, G. B. M., Rossi, A. A., Silva, J. B. A. (2007). Elementos biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro. 2ª parte: A Fermentação. *Revista Analítica*, 26: 46-54.
- Ebc (1987). *European Brewery Convention. Analytica*. 4ª ed. Zurich: Brauerei.
- Halliwell, B., Gutteridge, J. M. C. (2007). *Free radicals in biology and medicine*. New York: Oxford University Press.
- Hornsey, I. (1999). *Elaboración de cerveza: microbiología, bioquímica y tecnología*. Espanha: Acribia.
- Menezes Filho, A. C. P., Ventura, M. V. A., Alves, I., Taques, A. S. Batista-Ventura, H. R. F., Castro, C. F. S., Teixeira, M. B., Soares, F. A. L. (2022). Phytochemical prospection, total flavonoids and total phenolic and antioxidant activity of the mushroom extract *Scleroderma verrucosum* (Bull.) Pers. *Brazilian Journal of Science*, 1(1), 1-7.
- Mono, M. U. E. (2018). Melhoria para estabilidade do sabor oxidativo da cerveja - papel do radical OH na oxidação da cerveja. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 54: 198-204.
- Morado, R. (2018). *Larousse da cerveja*. São Paulo: Larousse do Brasil.
- Munroe, J. H. (1994a). *Fermentation*. In: Hardwick, W. A (org.) *Handbook of Brewing*. New York: Marcell Dekker.
- Munroe, J. H. (1994b). *Aging and Finishing*. In: Hardwick, W. A. (org.) *Handbook of Brewing*. New York: Marcell Dekker.
- Oliver, G., Mendes, I. (2020). *O Guia Oxford da Cerveja*. São Paulo: Blucher.
- Oliver, G. (2012). *A mesa do mestre cervejeiro: descobrindo os prazeres das cervejas e das comidas verdadeiras*. São Paulo: Editora Senac São Paulo.
- Rosa, N. A., Afonso, J. C. (2015). A química da cerveja. *Química Nova Escola*, 37(2), 98-105.
- Reinold, M. R. (1997). *Produtos utilizados para melhorar a estabilidade físico-química da cerveja*. São Paulo: Engarrafador Moderno.
- Sales, L., Souza, P. G. 2021. Produção de cerveja do estilo Catharina Sour com Araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh). *Brazilian J. of Develop*, 7 (1):1599-1613.
- Santos, A. C. A. (2003). Acompanhamento do oxigênio dissolvido na cerveja durante o processo de fermentação e maturação. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Católica de Goiás, Goiás, Brasil.
- Santos, M. A. S., R, P. V. L., Andrade, C. P., Machado, A. R. G., Souza, P. G., Kirsch, L. S. (2021). Physicochemical and sensory analysis of craft beer made with soursop (*Annona muricata* L.). *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment*. 20 (1): 103-112.
- Schmallegger, M.; Gescheidt, G. (2018). Atividade antioxidante da cerveja: um experimento EPR para um laboratório de física-química de graduação. *J. Chem. Educ*, 95(11): 2013–2016.
- Senai (1997). *Conheça a cerveja*. Rio de Janeiro: SENAI; 1997.
- Silva, D. F., Souza, P. G., Albuquerque, P. M. (2021). Avaliação da eficácia dos principais métodos de estabilização coloidal da cerveja tipo american lager. *Brazilian J. of Develop*, 7 (4): 34657-34670.
- Siqueira, P. B., Bolini, H. M. A., Macedo, G. A. (2008). O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. *Revista Alimentos e Nutrição*, 19(4), 491-498.
- SOUZA, P. G. (2010). *Elaboração de cervejas tipo lager a partir de farinha de pupunha (Bactris gasipaes Kunth) como adjunto, em bioprocessos conduzidos com leveduras livres e imobilizadas*. Dissertação de mestrado (Biotecnologia e Recursos Naturais da Amazônia). Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, Brasil.
- Souza, P. G. (2015). Estudo do potencial biotecnológico do rizoma de *Zingiber zerumbet* L. Smith como adjunto na produção de cerveja artesanal. Tese de Doutorado (Biotecnologia). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil.
- Varnam, A. H., Sutherland, J. P. (1996). *Bebidas: tecnología, química y microbiología*. Zaragoza: Ed. Acribia.
- Venturini Filho, W. G. (2020). *Qualidade da cerveja*. In: Venturini Filho, W. G. (org.) *Tecnologia de cerveja*.

Jaboticabal: Funep.

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).