



PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FARMHOUSE ALE TRADICIONAL FERMENTADA COM LEVEDURA KVEIK NORUEGUESA

PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FARMHOUSE ALE TRADICIONAL FERMENTADA CON LEVADURA KVEIK NORUEGA

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF TRADITIONAL FARMHOUSE ALE FERMENTED WITH NORWEGIAN KVEIK YEAST

Apresentação: Comunicação Oral

Camila Cristina da Silva Lopes¹; João Arthur Galmarini dos Santos²; Ana Carolina de Melo Freitas Nunes³; João Victor da Silva Alexandre⁴; Dr. Carlos Alberto Bispo de Sousa⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/VIICIAGRO.0135>

RESUMO

A crescente demanda por cervejas artesanais com identidade sensorial distinta tem impulsionado o interesse científico e tecnológico por leveduras tradicionais, como as kveik norueguesas, em virtude de suas propriedades fenotípicas singulares frente às cepas comerciais convencionalmente utilizadas na produção cervejeira. Essas leveduras destacam-se por sua alta taxa de fermentação, forte floculação e notável termotolerância. Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo comparar aspectos físico-químicos e sensoriais da fermentação conduzida com a levedura Kveik Voss em relação à cepa comercial Ale S-33, na produção de uma Farmhouse Ale tradicional. Foram produzidos 27 litros de mosto em batelada única, posteriormente divididos entre dois biorreatores de 12 L, cada um inoculado com uma das cepas avaliadas, mantidos sob temperatura controlada de 26 °C. A viabilidade celular do inóculo foi determinada por contagem em câmara de Neubauer, enquanto a cinética fermentativa foi monitorada por meio de análises físico-químicas realizadas ao longo de 155 horas de processo. O produto final foi caracterizado quanto à densidade, teor alcoólico (determinado por ebulliometria), pH, acidez total titulável, cor (escala SRM) e capacidade de floculação, sendo a avaliação sensorial conduzida por meio de teste triangular com três avaliadores treinados. Os resultados demonstraram atenuação semelhante entre as duas cepas, com valores finais de 6,2 °Brix para a S-33 e 6,0 °Brix para a Kveik Voss, e teores alcoólicos de 6,35% abv e 6,50% abv, respectivamente. O pH foi de 4,01±0,36 (S-33) e 4,20±0,1 (Kveik), sendo resultados semelhantes. Observou-se que a Kveik Voss apresentou fase lag mais prolongada em comparação à cepa comercial. Entretanto, destacou-se pela ausência total de off-flavors associados a diacetil e acetaldeído, bem como por um perfil aromático caracterizado pela predominância de ésteres frutados e por um melhor equilíbrio sensorial global. O teste triangular confirmou diferença perceptível entre as amostras avaliadas, corroborando a distinção sensorial entre as cepas. Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a levedura Kveik Voss constitui uma alternativa tecnologicamente viável e sensorialmente vantajosa para a produção de Farmhouse Ales, especialmente em regiões de clima quente, nas quais a termotolerância dessa cepa representa um diferencial relevante para o processo fermentativo.

¹ Doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos - CT - UFPB, camila.cristina@academico.ufpb.br

² Mestrando em Engenharia Química, PPGEQ - TC - UFPB, joao.galmarini@academico.ufpb.br

³ Graduanda em Química Industrial, Departamento de Engenharia Química - CT - UFPB, peessoalanacfreitas@gmail.com

⁴ Graduando em Química Industrial, Departamento de Engenharia Química - CT - UFPB, vitorjoo944@gmail.com

⁵ Professor efetivo Adjunto IV do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Campus I. carlobispo@gmail.com

Palavras-Chave: Kveik, Farmhouse Ale, levedura cervejeira, fermentação.

RESUMEN

La creciente demanda de cervezas artesanales con una identidad sensorial distintiva ha impulsado el interés científico y tecnológico por levaduras tradicionales, como las kveik noruegas, debido a sus propiedades fenotípicas singulares en comparación con las cepas comerciales convencionalmente utilizadas en la producción cervecera. Estas levaduras se destacan por su elevada velocidad de fermentación, fuerte floculación y notable termotolerancia. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo comparar las características fisicoquímicas y sensoriales de la fermentación realizada con la levadura Kveik Voss y la cepa comercial Ale S-33 en la producción de una Farmhouse Ale tradicional. Se produjeron 27 L de mosto en un único lote, posteriormente divididos en dos biorreactores de 12 L, cada uno inoculado con una de las cepas evaluadas y mantenido a una temperatura controlada de 26 °C. La viabilidad celular del inóculo se determinó mediante recuento en cámara de Neubauer, mientras que la cinética de fermentación se monitoreó mediante análisis fisicoquímicos realizados durante 155 horas de proceso. Las cervezas obtenidas se caracterizaron en cuanto a densidad final, contenido alcohólico (determinado por ebulliometría), pH, acidez total titulable, color (escala SRM) y capacidad de floculación. La evaluación sensorial se realizó mediante una prueba triangular con tres evaluadores entrenados. Los resultados demostraron una atenuación similar entre ambas cepas, con valores finales de sólidos solubles de 6,2 °Brix para S-33 y 6,0 °Brix para Kveik Voss, y contenidos alcohólicos de 6,35% ABV y 6,50% ABV, respectivamente. Los valores de pH fueron de 4,01±0,36 (S-33) y 4,20±0,1 (Kveik), sin diferencias significativas entre las muestras. Se observó que Kveik Voss presentó una fase lag más prolongada que la cepa comercial; sin embargo, se destacó por la ausencia total de sabores no deseados asociados con diacetilo y acetaldehído, así como por un perfil aromático caracterizado por el predominio de ésteres frutales y un mejor equilibrio sensorial global. La prueba triangular confirmó una diferencia perceptible entre las muestras evaluadas, corroborando la distinción sensorial entre ambas cepas. Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la levadura Kveik Voss constituye una alternativa tecnológicamente viable y sensorialmente ventajosa para la producción de Farmhouse Ale, especialmente en regiones de clima cálido, donde su termotolerancia representa una ventaja relevante para el proceso fermentativo.

Palabras clave: Kveik; Farmhouse Ale; levadura cervecera; fermentación.

ABSTRACT

The growing demand for craft beers with distinctive sensory characteristics has driven scientific and technological interest in traditional yeasts, such as Norwegian kveik strains, due to their unique phenotypic properties compared with conventional commercial brewing yeasts. These strains are distinguished by their high fermentation rate, strong flocculation, and remarkable thermotolerance. In this context, the present study aimed to compare the physicochemical and sensory characteristics of fermentation conducted with Kveik Voss yeast and the commercial Ale S-33 strain in the production of a traditional Farmhouse Ale. A total of 27 L of wort was produced in a single batch and subsequently divided into two 12-L bioreactors, each inoculated with one of the evaluated strains and maintained at a controlled temperature of 26 °C. The viability of the yeast inoculum was determined by cell counting using a Neubauer chamber, while fermentation kinetics were monitored through physicochemical analyses performed over 155 hours of fermentation. The final beers were characterized in terms of final gravity, alcohol content (determined by ebulliometry), pH, total titratable acidity, color (SRM scale), and flocculation capacity. Sensory evaluation was conducted using a triangle test with three trained assessors. The results demonstrated similar attenuation for both strains, with final soluble solids of 6.2 °Brix for S-33 and 6.0 °Brix for Kveik Voss, and alcohol contents of 6.35% ABV and 6.50% ABV, respectively. The pH values were 4.32 (S-33) and 4.38 (Kveik), showing no significant differences. Kveik Voss exhibited a longer lag phase than the commercial strain; however, it was distinguished by the complete absence of off-flavors associated with diacetyl and acetaldehyde, as well as by an aromatic profile characterized by the predominance of fruity esters and superior overall sensory balance. The triangle test confirmed a perceptible difference between the evaluated beers, corroborating the sensory distinction between the yeast strains. Based on these findings, Kveik Voss can be considered a technologically viable and sensorially advantageous alternative for Farmhouse Ale production, particularly in warm-climate regions, where its thermotolerance represents a significant advantage for the fermentation process.

Keywords: Kveik; Farmhouse Ale; brewing yeast; fermentation.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos com características diferenciadas no mercado cervejeiro tem impulsionado a busca por ingredientes e microrganismos capazes de conferir características sensoriais únicas, respondendo às expectativas dos consumidores e ampliando as fronteiras da inovação na indústria de bebidas fermentadas. Nesse contexto, as leveduras tradicionais norueguesas de cerveja artesanal, denominadas kveik, emergiram como objeto de crescente interesse científico e tecnológico, em virtude de suas propriedades fenotípicas distintas em relação às cepas comerciais convencionalmente empregadas na produção cervejeira (Foster et al., 2022).

Originárias de uma tradição secular nas regiões rurais do oeste da Noruega, as kveik são culturas mistas de *Saccharomyces cerevisiae* utilizadas há séculos na produção de Farmhouse ales. Sendo cervejas de fabricação doméstica que constituem parte do patrimônio cultural e fermentativo escandinavo. Tais leveduras são tradicionalmente preparadas por meio da imersão de sua suspensão em um recipiente de madeira de formato ovalado, seguida de secagem em cinza e farinha, processo que historicamente permite seu armazenamento por períodos de até um ano ou mais (Kawa-Rygielska et al., 2021).

As leveduras kveik apresentam características de grande interesse para a indústria cervejeira, destacando-se pela elevada taxa fermentativa, capacidade de conduzir fermentações em temperaturas entre 24 e 40 °C em períodos reduzidos (1 a 2 dias), forte floculação, ausência de produção de compostos fenólicos indesejáveis e elevada resistência a estresses térmicos e alcoólicos, associada ao acúmulo intracelular de trealose (Foster et al., 2022). Além das vantagens tecnológicas, essas leveduras têm demonstrado potencial para a produção de cervejas com perfis sensoriais diferenciados, uma vez que estudos comparativos evidenciaram desempenho físico-químico semelhante ao de leveduras comerciais convencionais, mas com influência significativa sobre os atributos de aroma e sabor, frequentemente resultando em maior aceitação sensorial (Kawa-Rygielska et al., 2021; Kawa-Rygielska et al., 2022).

Diante do exposto, justifica-se a relevância científica e tecnológica das leveduras kveik no contexto da produção de Farmhouse ales. O objetivo deste trabalho foi produzir e caracterizar uma Farmhouse ale tradicional fermentada com a levedura *Kveik Voss* "Sigmund Gjernes", proveniente da região de Voss, Noruega, comparando-a com uma cerveja produzida com a cepa Ale comercial S-33, avaliando os parâmetros cinéticos, físico-químicos e sensorial dos produtos obtidos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Produção da Cerveja

A cerveja resulta da interação entre matérias-primas específicas e processos bioquímicos controlados.

Sendo a água, componente majoritário da bebida (cerca de 95% da composição final), exercendo papel determinante na qualidade do produto: além da ausência de contaminantes, o ajuste de íons como cálcio, magnésio, sulfatos e cloretos é essencial para influenciar o perfil sensorial e a eficiência enzimática durante a brassagem (Kunze, 2019; Borzani et al., 2008).

O malte, obtido pela germinação e secagem controlada de grãos de cevada, fornece os açúcares fermentescíveis e as enzimas necessárias à mosturação, além de contribuir para cor, aroma e corpo da bebida. Maltes especiais, submetidos a torrefação ou defumação, são empregados em proporções menores para conferir complexidade sensorial (Farzaneh et al, 2017). O lúpulo, consolidado como insumo fundamental a partir do século XVI, confere amargor, aroma e estabilidade microbiológica, graças às suas resinas amargas, óleos essenciais e polifenóis (Palmer, 2006; Daniels, 1996). A levedura, por sua vez, é o agente central da fermentação alcoólica, convertendo açúcares em etanol, CO₂ e metabólitos secundários que definem o perfil sensorial da cerveja (Palmer, 2006).

O processo produtivo inicia-se com a moagem do malte, que favorece a ação enzimática sobre o amido. Na mosturação, o controle de temperatura e pH é determinante para a hidrólise de macromoléculas e a obtenção de um mosto adequado à fermentação (Venturini, 2010). A clarificação remove partículas indesejadas, enquanto a fervura promove esterilização, coagulação proteica e isomerização dos ácidos alfa do lúpulo, conferindo amargor mensurável em unidades IBU. O resfriamento rápido assegura a inoculação eficiente e a estabilidade microbiológica do mosto. A fermentação, etapa central do processo, é seguida pela maturação, que elimina subprodutos indesejados e promove a clarificação natural da bebida. O envase corrige a carbonatação e pode incluir refermentação ou pasteurização, conforme o estilo produzido (Nachel, 2008).

Metabolismo da Levedura

O metabolismo das leveduras compreende um conjunto integrado de reações catabólicas e anabólicas, catalisadas por enzimas e moduladas por coenzimas e cofatores, que governa tanto a geração de energia quanto a síntese de biomoléculas essenciais (Campbell et al., 2015). A glicólise, ou via de Embden-Meyerhof, é a rota central de degradação da glicose, compreendendo dez etapas enzimáticas divididas em fase preparatória com consumo de ATP e fase de rendimento, com geração de ATP e NADH.

O produto final, o piruvato, é metabolizado de forma distinta conforme a disponibilidade de oxigênio: em condições aeróbicas, é convertido em acetil-CoA e direcionado ao ciclo de Krebs; em condições anaeróbicas, segue a via fermentativa, com regeneração de NAD⁺ indispensável à continuidade da glicólise (Nelson et al., 2002; Lehninger, 2002). Cofatores como íons magnésio (Mg²⁺) são essenciais para enzimas-chave como hexoquinase e piruvato quinase (Da Silva, 2023).

O ciclo de Krebs, localizado na matriz mitocondrial, promove a oxidação completa do acetil-CoA, gerando por ciclo três NADH, um FADH₂, um ATP e duas moléculas de CO₂. Os transportadores de elétrons produzidos alimentam a fosforilação oxidativa, responsável pela maior parcela da síntese de ATP. Além da função catabólica, o ciclo possui caráter anfibólico, fornecendo intermediários para a biossíntese de aminoácidos e ácidos graxos. (Vasudevan et al., 2017).

Na fermentação alcoólica, característica de *Saccharomyces cerevisiae* e *S. pastorianus*, o piruvato é descarboxilado a acetaldeído e subsequentemente reduzido a etanol, com regeneração de NAD⁺ e formação de compostos secundários como ésteres e álcoois superiores, determinantes para o perfil aromático da cerveja (Lehninger, 2002). A via de Ehrlich complementa esse processo ao degradar aminoácidos em álcoois fusel, aldeídos e ácidos orgânicos por ação de aminotransferases, descarboxilases e desidrogenases, sendo fortemente regulada pela disponibilidade de nutrientes e pelo estado metabólico celular (Hazelwood, 2008).

Entre os subprodutos de maior impacto sensorial destacam-se as dicetonas vicinais (VDKs), especialmente diacetil e 2,3-pentanodiona, oriundas da biossíntese dos aminoácidos valina e isoleucina. Em concentrações elevadas, conferem notas indesejáveis de manteiga ou caramelo, particularmente perceptíveis em estilos de baixa densidade como lagers e pilsners. O controle dessas substâncias envolve técnicas como o *diacetyl rest*, seleção de cepas com menor produção de VDKs e monitoramento analítico por cromatografia gasosa (Blanchette et al., 2007).

Outro aspecto relevante é a via de assimilação de sulfatos, responsável pela síntese de aminoácidos sulfurados como cisteína e metionina. Desequilíbrios nessa rota podem resultar em liberação excessiva de sulfeto de hidrogênio (H₂S), associado a off-flavors de caráter sulfuroso. O manejo adequado da fermentação, incluindo suplementação nitrogenada e disponibilidade de cofatores minerais como zinco, é essencial para minimizar tais defeitos (White e Zainasheff, 2018).

Levedura Kveik e as cervejas Farmhouse Ales

As cervejas do estilo farmhouse, historicamente produzidas em fazendas da Europa Ocidental e Escandinava, caracterizam-se pela fermentação rústica em temperaturas elevadas, com perfil sensorial complexo e marcante influência da cepa de levedura empregada. Entre as leveduras tradicionais associadas a esse estilo, as kveik norueguesas se destacam por sua capacidade de fermentar eficientemente em amplas faixas de temperatura (tipicamente entre 24 °C e 40 °C). Produzindo perfis aromáticos distintos com predominância de ésteres frutados e baixa formação de compostos indesejados como álcoois fusels e dicetonas vicinais (Foster et al., 2022; Preiss et al, 2018). Essas características as tornam especialmente adequadas à produção de farmhouse ales com identidade sensorial própria, além

de apresentarem vantagens operacionais em climas quentes.

METODOLOGIA

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo é de natureza quantitativa e experimental, caracterizando-se como um estudo comparativo entre duas cepas de leveduras cervejeiras, a cepa comercial SafAle™ S-33 (Fermentis) e a levedura nórdica *Kveik Voss*. Avaliadas sob as mesmas condições de processo. O campo de pesquisa foi o Laboratório de Produtos Fermentados e Destilados (LPFD), localizado no Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em João Pessoa – PB. Os insumos cervejeiros foram adquiridos junto ao Brew Shop Lamas (Campinas-SP), e a cepa líquida *Kveik Voss* foi obtida pela Acerva-PB (João Pessoa-PB). Para a produção e caracterização das cervejas, utilizaram-se equipamento Bier Maker (30 L), biorreatores de 12 L e instrumentos para análises físico-químicas e microbiológicas.

Preparo e Viabilidade das Leveduras

A cepa S-33, fornecida na forma liofilizada, foi reidratada pela dissolução de 1,5081 g do fermento em 10 mL de água esterilizada a 28 °C por 1 hora, conforme recomendação do fabricante, obtendo-se uma suspensão inicial na diluição de 1:10. O *Kveik Voss*, obtido na forma líquida com prazo de validade expirado, teve sua viabilidade inicial avaliada antes de qualquer intervenção. Constatada viabilidade próxima a 10%, procedeu-se à propagação da cultura em starter contendo 400 mL de mosto preparado com extrato de malte seco (DME) e água destilada, ajustado a 9 °Brix (densidade aparente de 1,036 g/mL), mantido sob agitação magnética e aeração constante por 48 horas em frasco Erlenmeyer previamente esterilizado.

A viabilidade celular de ambas as cepas foi determinada quantitativamente por contagem em câmara de Neubauer acoplada a microscópio óptico com aumento de 400×, utilizando coloração vital por azul de metileno a 0,2% (m/v), preparado pela dissolução de 0,1060 g do reagente em 50 mL de água destilada. As amostras para contagem foram preparadas pela mistura de 0,1 mL da suspensão celular, 0,1 mL da solução corante e 9,8 mL de água destilada, resultando em fator de diluição final de 1:100. Foram contados cinco quadrantes da câmara, diferenciando células vivas (incolores, membrana íntegra) das mortas (azuis, membrana comprometida). O cálculo da viabilidade considerou a diferença entre as células vivas e mortas, e foi determinado de acordo com a Equação 1:

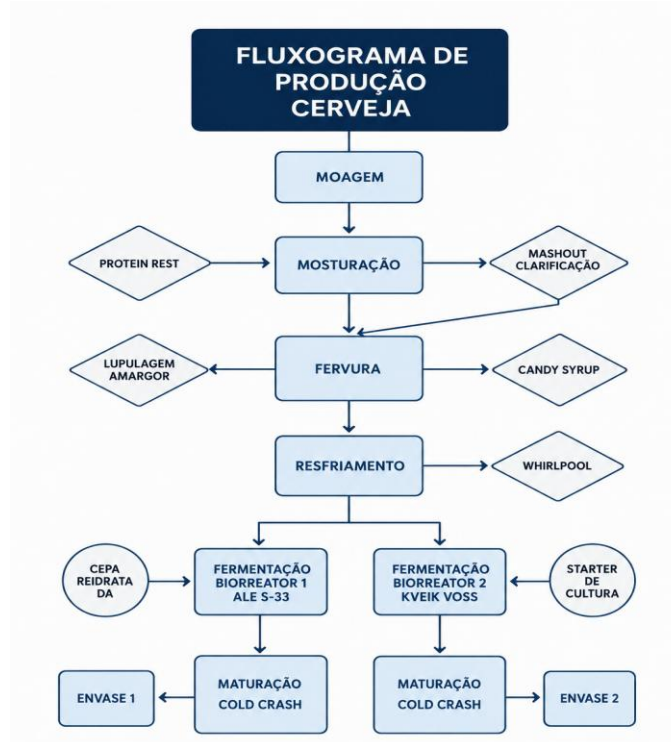
$$Viabilidade (\%) = \left(\frac{n^{\circ} \text{ total de células vivas}}{(n^{\circ} \text{ de células vivas} + n^{\circ} \text{ células mortas})} \right) \times 100 \quad (1)$$

Complementarmente, a vitalidade foi avaliada de forma qualitativa pelo método do iodo a 2%, que detecta a presença de glicogênio intracelular como indicativo do vigor fisiológico das células (QUAIN, 1983). A taxa de inoculação foi padronizada em underpitching intencional, ligeiramente abaixo de $0,75 \times 10^6$ células/mL/°P recomendado para cervejas Ale (WHITE; ZAINASHEFF, 2010), adotando-se $0,50 \times 10^6$ células/mL/°P. Visando favorecer a produção de compostos aromáticos durante a fermentação dos 12 L de mosto a 13 °Brix.

Produção das Cervejas

O processo de produção das cervejas encontra-se apresentado na Figura 1. Inicialmente, foi produzida uma batelada de 27 L de mosto em uma Beer Maker com capacidade nominal de 30 L, o qual foi posteriormente dividida em dois biorreatores para a condução independente das fermentações, cada um inoculado com uma cepa distinta de levedura. A formulação da receita foi desenvolvida de modo a minimizar a contribuição de compostos aromáticos provenientes do malte, visando evidenciar a influência do metabolismo fermentativo das leveduras no perfil final das cervejas.

Figura 1. Fluxograma do processo de produção das cervejas elaboradas com as leveduras Ale S-33 e Kveik Voss.



Fonte: Autores (2026).

O processo produtivo foi adaptado da metodologia descrita por Venturini Filho (2010) e compreendeu as etapas de mosturação por infusão, fervura com adição dos lúpulos *Cascade* e *Columbus*, suplementação com *candy syrup* vermelho, fermentação conduzida a 26 °C durante 6 dias, maturação a frio (*cold crash*) a 1 °C por 5 dias e envase com adição de açúcar para priming na concentração de 5,5 g/L. Após o envase, as cervejas permaneceram em refermentação em garrafa a 25 °C por 5 dias para promoção da carbonatação natural.

Acompanhamento Cinético da Fermentação

A cinética fermentativa foi monitorada diariamente até o término da fermentação utilizando amostras desgaseificadas. Foram avaliados os sólidos solúveis totais (°Brix) por refratometria e o pH por potenciometria. A turbidez (DO₆₀₀ nm) foi determinada por espectrofotometria UV-Vis em amostras coletadas ao longo do processo e armazenadas sob congelamento, permitindo acompanhar o crescimento e a floculação celular (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

Análises Físico-Químicas do Produto Final

As análises físico-químicas do produto final foram realizadas após seis dias de fermentação em garrafa, utilizando amostras previamente degasificadas. Foram determinados a gravidade específica por densimetria; os teores de sacarose residual e de sólidos solúveis totais (°Brix) por sacarimetria e refratometria, com correção em função do teor alcoólico; o pH por potenciometria com compensação automática de temperatura; o teor alcoólico por ebulliometria, considerando a temperatura local de ebulição (99,4 °C). A acidez total titulável por titulometria ácido-base em triplicata, utilizando solução padronizada de NaOH e fenolftaleína como indicador. E a cor (SRM) por espectrofotometria a 430 nm, após microcentrifugação das amostras por 10 min (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

Análise Sensorial

A análise sensorial foi realizada por meio de teste triangular, conduzido com três avaliadores treinados, conforme os procedimentos estabelecidos pela norma ISO 4120:2004. A metodologia adotada foi baseada na abordagem empregada por Kawa-Rygielska et al. (2022) para a avaliação comparativa de cervejas produzidas com leveduras Kveik e cepas comerciais.

As amostras foram servidas em taças de vidro codificadas, mantidas à temperatura padronizada de 8 °C, e apresentadas aos avaliadores em ordem balanceada e aleatorizada, a fim de minimizar possíveis vieses

experimentais. Inicialmente, os participantes foram instruídos a identificar uma amostra distinta entre as três apresentadas. Em seguida, realizaram a caracterização sensorial das cervejas por meio de uma ficha estruturada contendo descritores específicos para o estilo Farmhouse Ale, contemplando os atributos de aroma, sabor, corpo, presença de off-flavors e aspectos visuais.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando constatadas diferenças significativas ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software Statistica 10.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Contagem de Células e Viabilidade – levedura de controle S-33

Conforme apresentado na Tabela 1, a cepa S-33 apresentou concentração celular de $4,6 \times 10^9$ células/mL na suspensão inicial, com viabilidade de 77,7%. Esse valor é inferior ao normalmente esperado para leveduras liofilizadas de alta qualidade, cujas taxas de viabilidade geralmente ultrapassam 90% (WHITE; ZAINASHEFF, 2010). Essa discrepância em relação às especificações do fabricante pode estar associada a fatores como condições de armazenamento, transporte ou ao tempo decorrido desde a produção e embalagem do fermento.

Tabela 1 – Contagem celular da Levedura S-33

Quadrante	Células Vivas	Células Mortas
1	48	13
5	47	10
13	47	22
21	50	8
25	38	13
Total	230	66

Fonte: Autores (2026).

Apesar da viabilidade reduzida, o ensaio qualitativo de vitalidade por coloração com iodo evidenciou boa retenção da coloração pelas células, indicando a presença de reservas intracelulares de glicogênio em níveis adequados. Esse resultado sugere que a população celular remanescente apresentava condições fisiológicas satisfatórias para o início e condução do processo fermentativo, uma vez que as reservas energéticas desempenham papel fundamental na adaptação das leveduras ao meio e na manutenção da atividade metabólica durante as fases iniciais da fermentação.

Contagem de Células e Viabilidade – YLB 1010 (Kveik Voss)

Conforme apresentado na Tabela 2, a levedura Kveik Voss, obtida com prazo de validade expirado, apresentou viabilidade inicial próxima de 10%, valor insuficiente para sua utilização direta na fermentação. Em razão disso, foi realizada uma etapa de propagação em starter, a qual elevou a viabilidade celular para 95,5% e resultou em uma concentração de $4,28 \times 10^8$ células/mL. Esses resultados evidenciam a eficiência da propagação na recuperação da cultura, possibilitando a obtenção de uma população celular numericamente adequada e fisiologicamente ativa para a inoculação.

Tabela 2 – Contagem Celular da Levedura Kveik Voss

Quadrante	Células Vivas	Células Mortas
1	43	1
5	45	2
13	44	2
21	47	2
25	35	3
Total	214	10

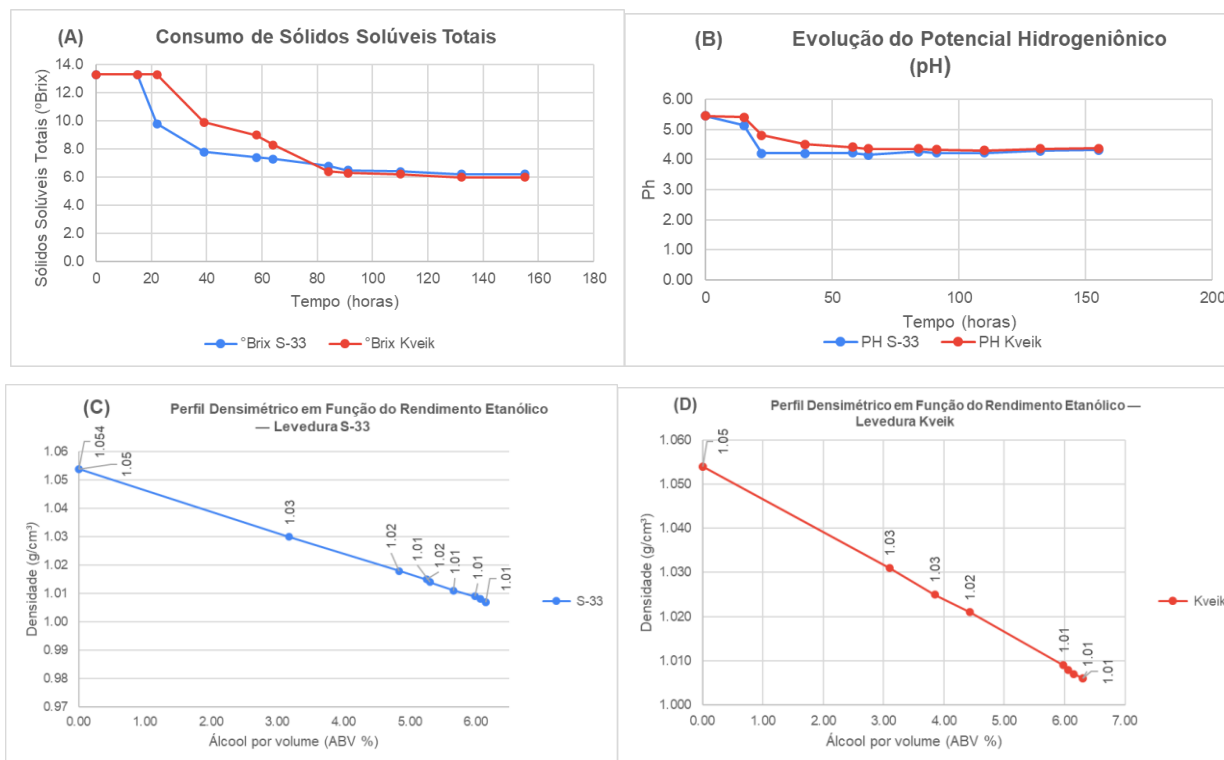
Fonte: Própria (2026)

Adicionalmente, o teste qualitativo de vitalidade por coloração com iodo revelou elevada retenção da coloração pelas células, indicando altos níveis de reservas intracelulares de glicogênio e, consequentemente, elevado vigor fisiológico. Esse comportamento sugere que as células apresentavam intensa atividade metabólica e adequada capacidade de adaptação ao meio fermentativo. A taxa de inoculação empregada foi deliberadamente mantida em nível ligeiramente inferior ao recomendado para o estilo cervejeiro (*underpitching* controlado), estratégia frequentemente utilizada para estimular a síntese de ésteres e outros metabólitos secundários associados ao perfil aromático característico das leveduras do grupo *Kveik*. Dessa forma, buscou-se potencializar a expressão sensorial da cepa durante a fermentação, sem comprometer significativamente o desempenho fermentativo.

Cinética de Fermentação

Com base nos dados obtidos na figura 2a, o gráfico de Sólidos Solúveis Totais revela diferenças cinéticas entre as amostras. Ambas as leveduras partiram de um mosto com 13,3 °Brix, valor típico para uma Farmhouse Ale de densidade moderada, e convergiram para um extrato aparente final em torno de 6,2 °Brix. Porém, a velocidade de consumo foi substancialmente diferente.

Figura 2 – Características físico-químicas e cinéticas das diferentes cepas de levedura (S-33 e Kveik) durante o processo fermentativo.



Legenda: (A) Consumo de sólidos solúveis totais (°Brix) ao longo do tempo; (B) Evolução do potencial hidrogeniônico (pH); (C) Perfil densimétrico em função do rendimento etanólico para a levedura S-33; (D) Perfil densimétrico em função do rendimento etanólico para a levedura Kveik.

Fonte: Própria (2026).

A levedura Kveik demonstrou um atraso metabólico inicial (0-20h) possivelmente devido a características da própria levedura, tendo uma queda considerável no teor de sólidos solúveis a partir do tempo de 40h. Em comparação com a literatura, cepas Kveik em geral atenuam o mosto mais rapidamente que linhagens controle em suas temperaturas ótimas de fermentação, com preferência por fermentações na faixa de 25–40°C (Foster et al, 2022). De forma que ambos atingiram valores semelhantes (6,5°Brix) no tempo de 80-100 horas. Ao final da fermentação, foi possível observar que ambas as leveduras obtiveram resultados semelhantes.

Sob essa ótica, os valores de pH (Figura 2b) revelam um comportamento cinético igualmente importante. Ambas as leveduras partiram de um pH inicial de 5.46 valor condizente com mostos preparados para cervejas de fermentação alta, e declinam progressivamente até atingir o pH final de 4,32 (S-33) e 4,38 (Kveik), valores mantidos até o final do acompanhamento (155h). Sendo um valor de pH final ligeiramente mais ácido do que o reportado por Kawa-Rygielska et al. (4,53–4,83), sugerindo que a composição do mosto e o estilo de cerveja influenciam o pH final de forma mais determinante do que a identidade da cepa.

De forma que, o pH final de ambas leveduras foram desejáveis para o estilo Farmhouse Ale, pois contribui para o frescor, estabilidade microbiológica e realce da percepção de amargor e ésteres frutados (Kits e Garshol, 2021). Do ponto de vista científico, a convergência de pH entre as duas leveduras sugere que, sob as condições experimentais adotadas, ambas exercem capacidade tamponante semelhante no produto final (Preiss et al, 2018).

A plotagem da densidade ajustada ($D_{ajustada}$, g/cm³) em função do teor alcoólico (%ABV), presente na figura 2.c e 2.d constitui um instrumento analítico de relevância para o acompanhamento cinético da fermentação, uma vez que após o início da fermentação não é mais possível utilizar uma leitura isolada de refratômetro para obter a gravidade real do mosto, devido aos efeitos do etanol sobre o índice de refração. Nesse sentido, a correção realizada nas leituras de SST (Sólidos Solúveis Totais) para obtenção da densidade ajustada torna-se indispensável, dado que o etanol, por ser menos denso que a água porém com alto índice de refração, faz com que, à medida que a fermentação avança, a queda do teor de açúcares reduza a leitura enquanto o aumento do álcool a eleva, mascarando o real grau de atenuação (Kawa-Rygielska et al, 2022).

A cepa S-33 apresentou início imediato de consumo de substrato após 22 horas de fermentação, com queda de °Brix de 13,3 para 9,8 e consequente aumento do teor alcoólico para 3,18% ABV. A densidade ajustada caiu de 1,054 para 1,030 g/cm³ nesse intervalo, demonstrando uma fase lag curta e rápida adaptação ao meio. A estabilização observada entre 110 e 155 horas, com densidade ajustada de 1,007 g/cm³ e teor alcoólico de 6,15% ABV, indica o término da atenuação aparente. Este comportamento é coerente com o que se observa em cepas comerciais convencionais de *Saccharomyces cerevisiae*, em que os rendimentos em etanol das cepas controle ale variaram de 4,33% a 5,14% ABV em condições padronizadas de fermentação de mosto (Preiss et al, 2018). O teor de 6,15% ABV obtido para a S-33 posiciona-se ligeiramente acima desse intervalo.

Ademais, a levedura *Kveik* exibiu uma fase lag notavelmente mais longa: as leituras de SST e densidade mantiveram-se estáveis em 13,3 °Brix e 1,054 g/cm³ até as 22 horas de processo, sem qualquer variação mensurável no teor alcoólico. Apenas na leitura de 39 horas observou-se o início efetivo da fermentação (9,9 °Brix; $D_{ajustada}$ = 1,031; 3,10% ABV). Conforme descrito por Preiss et al. (2021), demonstraram que leveduras *Kveik* são tolerantes ao álcool, flocculantes, capazes de utilizar maltose e maltotriose, e exibem elevada termotolerância em comparação com leveduras modernas de cerveja.

Análise Físico Química do produto final

Conforme apresentado na Tabela 3, os parâmetros físico-químicos das cervejas elaboradas com as leveduras Belgian S-33 e *Kveik* Voss evidenciam comportamento fermentativo semelhante entre os

tratamentos. Os valores de densidade final obtidos para as cervejas Belgian S-33 (1,008 g/cm³) e Kveik Voss (1,006 g/cm³) indicam elevada eficiência fermentativa em ambas as leveduras, sem diferenças significativas entre as amostras. Esses resultados são semelhantes aos reportados por Meza-Márquez et al. (2024), que observaram densidade final de 1,004 em cervejas artesanais submetidas à alta fermentação.

A determinação da densidade é amplamente utilizada para monitorar o progresso da fermentação, uma vez que o consumo de açúcares fermentescíveis e a consequente produção de etanol promovem a redução da densidade do mosto. Os valores de extrato aparente obtidos, de 1,97 °Plato para a Belgian S-33 e 1,65 °Plato para a Kveik Voss, corroboram esse comportamento, visto que menores concentrações de extrato residual estão associadas a maiores graus de atenuação e, consequentemente, a uma conversão mais eficiente dos açúcares em álcool e dióxido de carbono.

Tabela 3 — Análise físico-química das cervejas finais Belgian S-33 e Kveik Voss

	Belgian S-33	Kveik Voss
Densidade (g/cm³)	1,008 ±0,22	1,006 ± 0,13
Extrato aparente (°Plato)	1,97 ± 0,15	1,65 ± 0,06
Sólidos Solúveis Totais	6,20 ± 0,1	6,30 ± 0,01
pH	4,01 ± 0,36	4,20 ± 0,11
Teor alcoólico (% abv)	6,35 ± 0,01	6,50 ± 0,08
Acidez total (mEq/L)	118,2 ± 0,06	124,7 ± 0,12
Cor (SRM)	4,41± 0,01	4,89 ±0,29
Floculação	0,089 ± 0,17	0,119 ±0,03

Densidade determinada por densímetro de massa (250 ml, ref. 20 °C); extrato aparente por sacarímetro BRIX (250 ml); extrato por refratômetro (1 ml, 25 °C); pH por pHmetro (50 ml); teor alcoólico por ebuliômetro (50 ml, 94 °C); acidez total por titulação (10 ml, 25 °C); cor por espectrofotometria a 430 nm (3 ml); floculação por absorbância a 600 nm (3 ml, 25 °C). Valores apresentados após correção instrumental.

Fonte: Própria (2026).

As cervejas produzidas apresentaram teores alcoólicos de 6,35% abv (S-33) e 6,50% abv (Kveik Voss), ambos dentro da faixa esperada para cervejas ales de corpo médio. A força alcoólica da cerveja pode ser estimada a partir dos valores de densidade, com faixas típicas de 5,0 a 8,7% v/v à depender do estágio do processo cervejeiro.

O pH da cerveja S-33 foi de 4,01 e o da Kveik Voss 4,20, sugerindo maior acidificação durante a fermentação com a levedura belga. A acidez total obteve um comportamento diferente, onde a S-33 apresentou 118,2 mEq/L frente a 124,7 mEq/L da Kveik Voss. Embora a Kveik Voss apresente pH mais elevado, sua acidez titulável maior pode estar relacionada à composição de ácidos orgânicos produzidos

durante a fermentação. Estudos com leveduras Kveik do tipo NEIPA registraram queda do pH durante a fermentação secundária, com valores na faixa de 4,28, valores próximos aos encontrados no presente trabalho (Kawa-Rygielska et al, 2022). O pH ácido observado em ambas as amostras é relevante também para a estabilidade microbiológica do produto, uma vez que a combinação de pH ácido e maior teor alcoólico reduz significativamente a susceptibilidade da cerveja à contaminação microbiana.

Ademais, os valores de cor obtidos foram 4,41 SRM (S-33) e 4,89 SRM (Kveik Voss), classificando ambas as cervejas como douradas claras a douradas, dentro do espectro visual típico de cervejas pale ale e Belgian ale. O pH mais ácido tende a resultar em cerveja mais clara, ao passo que cepas de levedura com alta floculação promovem a clarificação mais rápida da cerveja, afetando a cor percebida (Brandt et al, 2023). Onde a diferença entre as amostras pode refletir tanto o metabolismo das leveduras quanto a maior turbidez residual da Kveik Voss, que floculou de forma menos intensa.

Sob essa ótica, a levedura não afeta diretamente a cor da cerveja. Contudo, pode causar perda de cor ao adsorver substâncias coloridas em sua superfície celular durante a fermentação. Além disso, a riboflavina, substância de coloração amarelo-alaranjada produzida pelas células de levedura durante a fermentação, é apontada como contribuinte para a cor de cervejas de coloração clara (Ualema et al, 2024). Nesse sentido, diferenças metabólicas entre as cepas S-33 e Kveik Voss podem ter influenciado a produção diferencial desses compostos, contribuindo para a variação de cor observada.

A avaliação da floculação revelou valores de absorbância de 0,089 para a cerveja produzida com a levedura Belgian S-33 e de 0,119 para a Kveik Voss, indicando maior turvação residual nesta última ao final do processo. Esse resultado contrasta com o comportamento geralmente descrito para leveduras Kveik, as quais apresentam elevada capacidade de floculação, considerada uma de suas principais características fenotípicas em comparação às leveduras ale comerciais convencionais (Kawa-Rygielska et al, 2022). A maior absorbância observada na cerveja fermentada com Kveik Voss pode estar relacionada a fatores tecnológicos, como as condições de fermentação, maturação e clarificação empregadas, bem como à presença de compostos coloidais, proteínas e outros constituintes em suspensão no produto final.

A floculação constitui um parâmetro de grande relevância para a qualidade da cerveja, uma vez que leveduras com elevada capacidade floculante tendem a sedimentar mais rapidamente, favorecendo a clarificação da bebida, enquanto cepas com menor floculação permanecem suspensas por períodos mais prolongados, resultando em maior turbidez. Além de contribuir para a aparência visual do produto, a floculação influencia diretamente sua estabilidade durante o armazenamento (Kawa-Rygielska et al., 2022). Nesse contexto, os resultados obtidos sugerem que as condições de processamento podem ter exercido maior influência sobre o comportamento floculante da *Kveik Voss* do que a predisposição

genética da cepa isoladamente, evidenciando a importância dos fatores ambientais na expressão dessa característica.

Análise Sensorial

Os resultados da avaliação sensorial revelaram diferenças perceptíveis e consistentes entre as cervejas produzidas com as cepas Kveik Voss e Fermentis S-33, corroboradas pela unanimidade dos três avaliadores treinados na identificação da amostra distinta no teste triangular. O aroma da cerveja produzida com Kveik Voss foi caracterizado pela dominância de ésteres frutados de frutas amarelas, com integração de notas florais e herbais de lúpulo. Os achados do presente estudo são convergentes com os de Kawa-Rygielska et al. (2022), que avaliaram o potencial de leveduras Kveik na produção de Foreign Extra Stout e concluíram que a cepa exerceu influência significativa sobre a qualidade sensorial da cerveja, com as amostras fermentadas por Kveik recebendo avaliação significativamente superior.

Tabela 4 - Perfil sensorial em comparativo para as cervejas.

Levedura	Aroma	Sabor	Corpo	Off-flavors	Apresentação
Fermentis S-33	Levemente alcóolico, frutado de bananas e passas. Pães assados e biscoitos. Leve floral/herbal	Leve aquecimento alcóolico. Dulçor pronunciado de malte e cereais, frutado mais intenso e amargor suave	Corpo médio, persistência de boca moderada e com final mais adocicado	Presença leve perceptível de acetaldeído e diacetil. Possível presença de Álcoois fúseis Sem fenólicos	Cor amarela clara e mais cristalina Espuma fina e menos persistente
Kveik Voss	Aromas de pão e cereais, dominados por frutas amarelas que se misturam com floral herbal de lúpulo	Melhor equilíbrio entre dulçor e amargor, aromas frutados mais agradáveis	Corpo médio baixo , mais equilibrada , sem açúcares residuais	Ausência de off-flavors de fermentação Sem fenólicos	Cor dourada mais intensa, com maior turbidez Espuma fina e mais persistente

Fonte: Própria (2026).

No quesito sabor, a cerveja Kveik demonstrou melhor equilíbrio entre dulçor e amargor, com ausência de açúcares residuais perceptíveis, enquanto a S-33 apresentou dulçor pronunciado de malte e cereais, com frutado mais intenso e amargor suave. Essa diferença pode ser explicada pelo desempenho fermentativo superior da Kveik em relação à atenuação de açúcares complexos. No presente estudo, o painel apontou corpo médio-baixo para a Kveik e médio para a S-33, o que é coerente com essa diferença

de atenuação (Kawa-Rygielska et al, 2021).

A presença leve e perceptível de acetaldeído e diacetil na cerveja com S-33, bem como a possível detecção de álcoois fúseis, contrasta a ausência total de off-flavors na cerveja Kveik. As cepas Kveik se adaptaram a fermentar em temperaturas relativamente elevadas, sem produzir off-flavors como álcoois fúseis, diacetil e acetaldeído. Esse comportamento foi confirmado experimentalmente por Preiss et al. (2018), que submeteram cervejas fermentadas por três diferentes cepas Kveik, em oito temperaturas distintas, à análise sensorial com painel treinado, comparando-as à levedura comercial US-05, e avaliaram critérios como solvente/fúsel, adstringência, amargor, corpo, floral, frutado, persistência, maltado, acidez, picante e enxofre. Os resultados indicaram que as Kveiks produziram menor intensidade de off-flavors mesmo em temperaturas elevadas de estresse, ao contrário das leveduras ale convencionais.

Os off-flavors detectados na S-33 (acetaldeído e diacetil), têm origens metabólicas conhecidas. O acetaldeído é um intermediário da produção de etanol, toda levedura o produz, mas ele deve ser praticamente todo reduzido a etanol. De forma que, quando isso não ocorre, por fermentações incompletas, leveduras com baixa vitalidade ou interrupções abruptas, o acetaldeído permanece na cerveja com percepção de maçã verde ou grama recém-cortada. O diacetil, por sua vez, é produzido como subproduto da síntese da valina e deve ser reabsorvido pela levedura ao final da fermentação (Foster et al, 2022).

Quanto à apresentação, a diferença de cor, amarela clara e mais cristalina para a S-33 e dourada mais intensa com maior turbidez para a Kveik. Pode estar associada à menor floculação e ao perfil de compostos fenólicos da Kveik. De forma que, o uso de leveduras do tipo Kveik demonstrou potencial para aumentar a concentração de compostos fenólicos na cerveja e elevar seu potencial antioxidativo, com concentração total de fenóis de 446,9 a 598,7 mg GAE/L (Kawa-Rygielska et al, 2021).

CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que ambas as cepas foram capazes de produzir uma Farmhouse Ale dentro dos parâmetros físico-químicos esperados para o estilo, com teores alcoólicos, densidades finais semelhantes e pH compatível com o estilo do produto.

No qual a levedura Kveik Voss apresentou fase lag mais prolongada, porém atingiu atenuação final equivalente à S-33, com cinética de consumo de açúcares igualando-se a esta em torno ao final da fermentação. Do ponto de vista sensorial, a Kveik Voss se destacou pela ausência de off-flavors, pelo melhor equilíbrio entre dulçor e amargor e pelo perfil aromático de ésteres frutados, características que

a tornam superior para o estilo avaliado.

Os parâmetros físico-químicos convergentes entre as cepas indicam que as diferenças sensoriais observadas decorrem principalmente do metabolismo secundário distinto de cada levedura. Conclui-se que a levedura Kveik Voss representa uma alternativa tecnologicamente viável e sensorialmente superior para a produção de Farmhouse Ales, especialmente em contextos de clima quente como o do Brasil, onde sua termotolerância constitui vantagem operacional relevante.

REFERÊNCIAS

BLANCHETTE, M. et al. **Vicinal diketones in brewing: formation and control.** Journal of the Institute of Brewing, v.113, n.2, p.102–110, 2007.

BRANDT, M.; HAU, N.; LAATSCH, B. F.; TORTI, A.; BERTHIAUME, A. R.; KAAT, G. M.; BAILEY-HARTSEL, S. C. **Using an integrating cavity spectrophotometer to easily determine beer SRM color without filtration, centrifugation, or numerical correction.** Journal of the American Society of Brewing Chemists, v.82, n.2, p.179–185, 2024.

CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B.; MITCHELL, L. G. **Biologia.** 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

DA SILVA, R. **Bioquímica: fundamentos e aplicações.** São Paulo: Blucher, 2023.

FOSTER, B.; TYRAWA, C.; OZSAHIN, E.; LUBBERTS, M.; KROGERUS, K.; PREISS, R.; VAN DER MERWE, G. **Kveik Brewing Yeasts Demonstrate Wide Flexibility in Beer Fermentation Temperature Tolerance and Exhibit Enhanced Trehalose Accumulation.** Frontiers in Microbiology, v.13, p.747546, 2022.

HAZELWOOD, L. A. et al. **The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: a century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism.** Applied and Environmental Microbiology, v.74, n.8, p.2259–2266, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos.** 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

ISO. ISO 4120:2004 – **Sensory analysis — Methodology — Triangle test.** Geneva: International Organization for Standardization, 2004.

KAWA-RYGIELSKA, J.; ADAMENKO, K.; PIETRZAK, W.; PASZKOT, J.; GLOWACKI, A.; GASIŃSKI, A. **New England India Pale Ale beer produced with the use of Norwegian KVEIK yeast.** Molecules, v.27, p.2291, 2022.

KITS, D.; GARSHOL, L. M. **Norwegian Kveik brewing yeasts are adapted to higher temperatures and produce fewer off-flavours under heat stress than commercial *Saccharomyces cerevisiae* American Ale yeast.** bioRxiv, 2021.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de Bioquímica.** 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2002.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger Principles of Biochemistry.** 3. ed. New York: Worth

Publishers, 2002.

PREISS, R.; TYRAWA, C.; KROGERUS, K.; GARSHOL, L. M.; VAN DER MERWE, G. **Traditional Norwegian Kveik Are a Genetically Distinct Group of Domesticated *Saccharomyces cerevisiae* Brewing Yeasts**. *Frontiers in Microbiology*, v. 9, artigo 2137, 12 set. 2018. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02137.

SANTOS, P. R. **Metabolismo de enxofre em leveduras cervejeiras: implicações sensoriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

VASUDEVAN, D. et al. **Biochemistry**. 4. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2017.

WHITE, C.; ZAINASHEFF, J. **Yeast: the practical guide to beer fermentation**. Boulder: Brewers Publications, 2018.