

Avaliação físico-química de cervejas lagers com pupunha (*Bactris gasipaes*) em bioprocessos com leveduras livres e imobilizadas

Physicochemical evaluation of lager beers produced with peach palm (*Bactris gasipaes*) in bioprocesses conducted with free and immobilized yeasts

Patrick Gomes de Souza^{1*}, Lílían Pantoja², Alexandre Soares dos Santos², Helyde Albuquerque Marinho¹, João Batista de Almeida e Silva³

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade físico-química da cerveja lager com farinha de pupunha, um fruto regional rico em amido, como adjunto em processo fermentativo com emprego de leveduras livres e imobilizadas em alginato de cálcio, para condução do processo fermentativo. Primeiramente foi preparado o mosto cervejeiro a partir de malte moído, adjunto e água, em seguida, foi filtrado e levado a fervura onde foi acrescentado de lúpulo. Após a fervura o mosto foi resfriado e dividido em duas partes para condução dos processos fermentativos. O inóculo de uma das partes foi realizado com leveduras livres e o outro com leveduras imobilizadas. Após a fermentação alcoólica do mosto e retirada das leveduras foi obtida a cerveja lager com adjunto de pupunha que foi avaliada físico-quimicamente, quanto ao teor de extrato original e aparente, cor, amargor, gás carbônico, pH, turvação, dicetonas e teor alcoólico. Os resultados obtidos permitiram concluir que a cerveja obtida pôde ser caracterizada como cerveja do estilo american lager, clara, alcoólica e comum.

Palavras-chave: Fruta Amazônica; Fermentação; Bebida.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the physicochemical quality of lager beer with peach palm flour, a regional fruit rich in starch, as an adjunct in a fermentation process using free yeasts immobilized in calcium alginate, to conduct the fermentation process. First, the brewer's wort was prepared from ground malt, adjunct and water, then it was filtered and brought to the boil where hops were added. After boiling, the must was cooled and divided into two parts to conduct the fermentation processes. The inoculum of one of the parts was carried out with free yeasts and the other with immobilized yeasts. After the alcoholic fermentation of the must and the removal of the yeasts, the lager beer with peach palm adjunct was obtained, which was evaluated physicochemically, regarding the original and apparent extract content, color, bitterness, carbon dioxide, pH, turbidity, diketones and alcohol content. The results obtained allowed us to conclude that the beer obtained could be characterized as an American lager style beer, clear, alcoholic and common.

Keywords: Amazon Fruit; Fermentation; Beverage.

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

*E-mail: patrick.souza@inpa.gov.br

² Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

³ Universidade de São Paulo

INTRODUÇÃO

A produção de cerveja é um processo biotecnológico antigo que começou há pelo menos 6.000 anos atrás. Nas últimas décadas do século XIX, o processo sofreu mudanças consideráveis devido ao avanço tecnológico (MACHADO; PICARDO, 2020). Nos últimos anos o setor cervejeiro vem crescendo gradativamente, visto que a cerveja é um produto de grande no mercado nacional. No Brasil, a produção de cervejas é liderada pelo estilo *american lager* que é caracterizada pelo baixo amargor, suavidade e sabor agradável. O país registrou em 2020 a marca superior a 1300 cervejarias registradas, evidenciando esse indicador de crescimento (MAPA, 2021).

O estilo *american lager* permite a produção de cervejas utilizando adjuntos em substituição de parte do malte de cevada. Os adjuntos mais comuns nas cervejas comercializadas no mercado nacional são o arroz e o milho (SILVA et al, 2021a). Uma das principais características dos adjuntos é a presença de açúcares fermentescíveis, por isso os grãos, frutas amiláceas e tubérculos preenchem essa necessidade.

No Amazonas podem ser encontrados diversos frutos com alto teor de amido, como a pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) que é um fruto popularmente consumido na alimentação do povo amazonense. A utilização da fruta na forma de farinha consiste em uma excelente alternativa para o mercado, permitindo seu uso e manuseio como matéria-prima industrial. A farinha de pupunha possui elevada concentração de amido e os valores podem variar entre 59,7 e 81 %, além de elementos minerais e pró-vitamina A (CARVALHO et al, 2013; SOUZA et al., 2022).

A forma de manejo da farinha é mais viável para as indústrias cervejeiras, pois seu armazenamento pode ser feito em silos, sendo conduzidos aos tanques de processamento através de transportes mecânicos, seguido de canecas de plástico. Das unidades de armazenamento e conservação disponíveis como área útil para armazenamento de produtos granulares no Brasil, há predominância dos silos (CARDOSO et al, 2020).

A produção de cervejas envolve o uso de leveduras cervejeiras na forma livre, ou seja, são adicionadas diretamente no mosto para conduzir a fermentação. Após este processo, apesar de haver a decantação da maior parte das leveduras, um percentual expressivo permanece em suspensão. Por este motivo, muitas cervejas necessitam ser filtradas para melhorar sua limpidez. O processo de imobilização celular é pouco

conhecimento nesse ramo industrial e pode eliminar esse processo, ou aumentar a eficiência da remoção dessas células (SILVA et al, 2021b).

A condução do processo fermentativo por meio de leveduras imobilizadas, por ser uma técnica já estabelecida, nos últimos anos, vem sendo bastante estudada na produção de bebidas alcoólicas (PANTOJA, 2009; OLIVEIRA, 2010; SILVA et al, 2021b). Esse processo representa uma das inovações tecnológicas mais promissoras para indústria de bebidas, pois aumenta a produtividade uma vez que o processo de filtração e limpeza dos tanques se torna mais ágil; possui baixo custo, apresentando vantagens relacionadas ao rendimento do produto final e influencia nas características de sabor e aroma.

Dentro deste contexto o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade físico-química da cerveja lager produzida com adjunto de farinha de pupunha, utilizando a fermentação com leveduras imobilizadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Material

Para elaboração da cerveja foi utilizada água potável obtida de poço artesiano distribuída no Campus I, da Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP). O malte Pilsen foi doado pela Maltaria do Vale S/A. O lúpulo Saaz e a levedura cervejeira *lager* foram doados pela Microcervejaria da EEL/USP, na cidade de Lorena/SP. A farinha de pupunha foi doada pelo Laboratório de Alimentos e Nutrição, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia.

Equipamentos

Para realização das análises foram utilizados Alcolyser Beer ME (Anto Paar DMA 4500 M), espectrofotômetro (HACH DR5000), aparelho medidor de ar e CO₂ com manômetro (Zahm Modified Piercing Device), turbidímetro (Hach 2100AN) e pHmetro (Quimis 0400AS). Para a produção da cerveja foi utilizada a sala de brassagem da empresa MecBier para produção de 100L de cerveja, com moinho de malte, tina de mostura com agitador interno, tina filtro com fundo falso e sistema de circulação de mosto, tina de fervura, trocador de calor, tanques de cerveja com controle automático de temperatura, filtro de terra, sistema de refrigeração com água gelada e sistema de refrigeração com solução de glicol.

Delineamento Experimental

O experimento consistiu na elaboração de duas cervejas da família lager utilizando como adjunto a farinha de pupunha (45 % total de peso por peso), cada uma com volume de 50 L. As cervejas foram preparadas na Micro cervejaria da Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP). As bebidas foram elaboradas por processos fermentativos conduzidos de duas formas, um empregando o agente fermentativo na forma livre e o outro na forma imobilizada em alginato. Ao final do processo as cervejas foram avaliadas quanto a qualidade físico-química.

Caracterização Físico-química da Farinha de Pupunha

A obtenção da farinha de pupunha e sua caracterização centesimal, físico-química, presença de compostos fenólicos e flavonoides foram publicados no trabalho de Souza et al (2022).

Produção do Mosto Cervejeiro com Farinha de Pupunha

A farinha de pupunha foi misturada com água na proporção de 1:3. A mistura foi adicionada de 1% de malte moído com a finalidade de obter enzimas para realizar a sacarificação dos açúcares dessa mistura. Esse sistema foi aquecido a 70 ± 2 °C por 15 minutos, em seguida foi elevada a temperatura para 100 ± 2 °C por 30 minutos. Após o aquecimento a mistura foi adicionada na mostura, no momento da elevação da temperatura de 45 ± 2 para 65 ± 2 °C.

O malte de cevada foi triturado em moinho com um par de rolos, com a finalidade de obter um substrato com maior área de superfície exposta, aumentando a hidrólise do amido durante a mosturação. O malte moído foi misturado com água na proporção de 1:3,5 na panela de mostura. A panela possui controle automático de temperatura e mexedor interno. O controle da mostura foi programado diretamente no equipamento, sendo 45 ± 2 °C por 15 minutos, para quebra de glucanos e proteínas, 65 ± 2 °C por 60 minutos, para atuação das amilases, 76 ± 2 °C por 10 minutos, para inativação enzimática. Esta última etapa é conhecida como *mash out*. Após o *mash out* o mosto foi filtrado.

Após a mostura procedeu-se a filtração em tina filtro com fundo falso. O mosto recebido na tina filtro foi circulado para formar o leite filtrante e após clarificação do mosto foi iniciada a filtração para a panela de fervura. Após a filtração o bagaço retido

foi lavado com água quente até que o mosto filtrado atingisse a densidade original de $1,058 \text{ g.cm}^{-3}$, antes da fervura.

O mosto filtrado, na panela de fervura, foi aquecido até atingir ebulição. Durante esta etapa foi adicionado o lúpulo em pellets, após 30 minutos do início da fervura. Após a fervura de 60 minutos, o mosto foi circulado tangencialmente no tanque para condução do *Whirlpool*. Após a circulação o mosto foi decantado por 20 minutos. Em seguida, foi resfriado com auxílio de um trocador de calor com placas verticais, que usou água gelada como com líquido refrigerante. O mosto atingiu a temperatura de $16 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ após o resfriamento, foi dividido em dois tratamentos e cada tratamento foi aerado e recebeu seu próprio inóculo de leveduras cervejeiras.

Inóculo com Leveduras Livres

Uma cerveja controle foi produzida utilizando leveduras livres e recebeu inoculação de $1,15 \text{ g.L}^{-1}$ de fermento liofilizado por volume de mosto frio, com no máximo $12 \text{ }^{\circ}\text{P}$ de extrato original. Essa concentração é adotada para cervejas da família lager. A levedura foi hidratada em água na concentração de $0,25 \text{ g.mL}^{-1}$, por 30 minutos antes do inóculo. Após o inóculo o tanque entrou em processo de fermentação.

Inóculo com Leveduras de Imobilizadas

As leveduras foram aprisionadas em alginato de cálcio (bioesferas), conforme a metodologia usada por Silva et al. (2020b). As bioesferas foram produzidas através da mistura composta da suspensão celular a $1,15 \text{ g.L}^{-1}$ e alginato de cálcio 2 % (p/v), a qual foi gotejada em solução de CaCl_2 0,1 M, formando instantaneamente, por ligações eletrostática, com isso, gerando as bioesferas de alginato de cálcio. As bioesferas foram aprisionadas em uma garrafa PET, com furos em toda sua parede lateral, previamente limpa e sanitizada com PAC (ácido peracético) a 2 g.L^{-1} . A garrafa PET com as bioesferas foi introduzida no interior do tanque fermentador e foi mantida ancorada por um fio de nylon preso na porta de abertura do tanque, para facilitar sua remoção no término do processo. Após o inóculo o tanque entrou em processo de fermentação.

Fermentação e Preparo da Cerveja

A fermentação de ambos os sistemas ocorreu a $15 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ até que a densidade final manter valor constante indicando o final da fermentação. Os tanques possuíam controle

automático de temperatura, com camisa de frio e utilizaram solução de glicol 20% como líquido refrigerante. Ao término da fermentação as leveduras livres foram removidas pela válvula inferior do tanque do primeiro experimento, e a cerveja foi mantida no tanque para condução da fermentação. Processo conhecido como *unitank*.

O tanque com leveduras imobilizadas teve sua cerveja trasfegada para outro tanque com a finalidade de separar a cerveja das bioesferas aprisionadas na garrafa PET. Por conter pressão dentro do tanque as leveduras não puderam ser removidas pela porta de visita. O processo de trasfega exige dois tanques diferentes, um para fermentar e outro para maturar. O tanque que recebeu a cerveja fermentada para maturação teve seu interior preenchido com gás carbônico para evitar a oxidação da cerveja com a presença de oxigênio. Processo comum em grandes cervejarias.

A maturação das cervejas foi conduzida a 1 ± 2 °C por 2 dias. Após a maturação as cervejas foram filtradas com terra infusória, através de um filtro fechado, e foram acondicionadas em barris previamente limpos, sanitizados e preenchidos com CO₂. As cervejas dos barris foram avaliadas quando a qualidade físico-química.

Análises Físico-químicas da Cerveja

As análises do potencial hidrogeniônico da cerveja foram realizadas por leitura direta em pHmêtro conforme a metodologia descrita pelo IAL (2008). Os resultados foram expressos em número inteiro seguido da sigla pH.

As análises de extrato original e aparente (°P), densidade original e final (g.cm⁻³) e fermentabilidade aparente (%) e teor alcoólico (% v.v⁻¹ e % p.v⁻¹) foram realizadas utilizando aparelho Beer Analyser II, específico para leitura de cerveja, conforme a metodologia da European Brewery Convention - de EBC (1987). Uma amostra de 200 mL de cerveja foi descarbonatada por agitação, em Erlemmeyer com tampa até completa eliminação dos gases presentes na cerveja. 20 mL de cerveja descarbonatada foram adicionados no frasco próprio do equipamento e foi posicionado no carretel de amostras do mesmo. Após a sucção da cerveja pelo equipamento os resultados foram expressos na tela do aparelho. O potencial de extrato (GU) foi medido multiplicando o extrato original por 4.

A análise de dicetonas totais (mg L⁻¹) foi realizada conforme metodologia da EBC (1987). Foi realizada a partir da destilação de uma solução contendo 100 mL de cerveja e de 25 mL de água destilada. Foram coletados 24 mL da amostra destilada que, em

seguida, foi transferida para um balão de 25 mL e avolumada com água destilada. A partir desta solução, foram pipetados 10 mL de amostra em um tubo de ensaio que foi acrescentado com 0,5 mL de solução de orto-fenilidiamina. Após repouso de 35 minutos foram adicionados 2 mL de HCl 4 M seguido de homogeneização. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 335 nm.

A análise de amargor (IBU) foi realizada conforme metodologia da EBC (1987). Uma gota de álcool 1-octílico foi gotejada em uma proveta e, em seguida, misturada com 10 mL de cerveja. Essa mistura foi transferida para um Erlenmeyer de 125 mL com tampa, contendo uma tira plástica de 1 cm² e 3 pérolas de vidro com a finalidade de manter o processo bifásico. Em seguida, foi adicionado de 0,5 mL de HCl 6 M e 20 mL de isoctano, após ser tampado procedeu-se com a agitação por 20 minutos em agitador orbital a 180 rpm, sendo este processo facilitado pelas pérolas de vidro adicionadas a mistura anteriormente. Em seguida, a fração superior (límpida) da solução bifásica foi transferida para um tubo de ensaio com tampa rosqueada. A leitura da amostra foi realizada em espectrofotômetro a 275 nm. A relação BU:GU foi encontrada dividindo o valor de amargor da amostra pelo seu potencial de extrato, calculado por relação direta.

A razão de amargura relativa (RBR) leva em consideração o equilíbrio relativo dos estilos de cerveja. O cálculo foi realizado conforme o método descrito por Shwayder (2022). Valores abaixo de 0,5 tendem a cerveja levemente adocicada, valores superiores tendenciam uma cerveja mais amarga. O cálculo foi realizado através da subtração do valor decimal da fermentabilidade aparente retirado de 0,7655, um fator numérico. Ao resultado foi somado o valor de 1,0. Por fim, o valor encontrado foi multiplicado pela relação BU:GU.

A determinação da cor da cerveja (EBC e SRM) foi realizada por espectrofotometria seguindo o método EBC (1987). Uma amostra de 400 mL de cerveja foi descarbonatada e filtrada com terra diatomácea infusória, a partir do filtrado procedeu-se a leitura em espectrofotômetro. A absorção de luz é medida num comprimento de onda de 430nm. O resultado é expresso em EBC e quando dividido por 1,97 o resultado pode ser expresso em SRM. As leituras em ambas as unidades de medidas facilitam o entendimento da qualidade da cerveja com diferentes métodos.

A análise de gás carbônico foi realizada seguindo a metodologia descrita por EBC (1987). Para a realização da análise de gás carbônico (CO₂) foi utilizado aparelho medidor de ar e CO₂ com manômetro (Zahm Modified Piercing Device). A garrafa de 600 mL contendo cerveja foi posicionada no aparelho e após o furo da tampa, quando o aparelho

detecta uma pressão constante, foi realizada a leitura. Os resultados foram expressos em % CO₂ p.p⁻¹.

A análise de turvação 24 horas foi realizada conforme a metodologia da EBC (1987). Uma amostra de 100 mL de cerveja foi colocada em banho de álcool a 0 °C por um período de 24 horas. Em seguida, foi retirada do banho e procedeu-se a leitura em aparelho turbidímetro. Os resultados foram expressos em EBC.

Enquadramento de Estilo

Foram utilizados os parâmetros de qualidade do guia internacional de cervejas *Beer Judge Certification Program* (MITCHELL ET AL, 2021) para realizar o enquadramento físico-químico da cerveja em um dos estilos citados no guia. Para isso foram avaliadas a densidade original, final, amargor, cor e teor alcoólico da cerveja produzida.

Avaliação Estatística

Para análise estatística foi usado o Teste de Tukey, experimento inteiramente casualizado, com 15 tratamentos e 3 repetições para análise dos dados físico-químicos das cervejas. Letras iguais na mesma linha não representam diferença estatística significativa ($p > 0,05$) entre as amostras estudadas, letras diferentes representam diferença estatística significativa. O programa está disponível através do link <https://www.cca.ufscar.br/pt-br/servicos/teste-de-tukey>.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação Físico-química da Cerveja com Adjunto de Pupunha

Os resultados físico-químicos da cerveja como produto final estão expressos na Tabela 1. As cervejas apresentaram extrato original de 11,83 °P e extrato aparente final de 2,77 °P no bioprocessamento conduzidos com células livres e extrato original de 11,72 °P e extrato aparente final de 2,55 °P no bioprocessamento conduzidos com leveduras imobilizadas. Esses parâmetros estão dentro da faixa desejada para cervejas *american lagers* (MITCHELL et al, 2021). Machado e Picardo (2020), produzindo cervejas *american lagers*, reportaram extrato original de 12 °P e extrato aparente final de 4,2 °P.

A cor da cerveja oriunda de bioprocessamento com leveduras livres foi de 8,87 EBC e na cerveja proveniente do bioprocessamento com bioesferas foi de 8,32 EBC, segundo a

avaliação estatística foi notada diferença significativa entre esses valores. Curi et al. (2008) estudando cerveja com 60 % de maltose e 40 % de maltose de milho encontraram resultados semelhantes de cor, 8,5 EBC. Cabe mencionar que a coloração da cerveja é oriunda do tipo de matéria-prima utilizada em sua fabricação, onde o malte e os adjuntos são os principais contribuintes.

Quanto ao amargor às cervejas oriundas de bioprocessos com células livres apresentaram valores de 12,16 IBU e cervejas procedentes do bioprocessos com levedura imobilizada, 11,63 IBU, não houve diferença significativa entre esses valores. Venturini Filho e Cereda (1998) encontraram valores de amargor próximos, 10,8 e 11 IBU analisando cervejas com hidrolisado de milho e hidrolisado de mandioca, respectivamente; Curi et al. (2008) estudando cerveja puro malte encontraram resultados de amargor de 11,5 IBU. Segundo o MITCHELL et al (2021) os valores podem variar entre 8 e 18 IBU, portanto permaneceram dentro da especificação.

A principal fonte de amargor para a cerveja é o lúpulo. Para uma mesma concentração de iso- α -ácidos o amargor pode ser diferente para cada bebida, dependendo da concentração dos isômeros *cis* e *trans*. Estes contribuem com proporções diferentes para o amargor da cerveja e sua formação depende das condições de isomerozação dos iso- α -ácidos, ocorrida durante a fermentação do mosto (TECHAKRIENGKRAIL et al, 2004; SILVA; FARIA, 2008).

O gás carbônico (CO₂) produzido durante a fermentação do extrato é suficiente para provocar a carbonatação da cerveja durante a maturação (CARVALHO et al, 2007). Ambas as cervejas elaboradas apresentaram em média 0,515 % de CO₂. A cerveja obtida por bioprocessos com leveduras livres apresentou pH de 4,27 e a oriunda de bioprocessos com leveduras imobilizadas em alginato de cálcio foi de 4,4. Valores próximos foram encontrados por Curi et al (2008) estudando cerveja de malte e maltose de milho (4,5 e 4,71 pH) e valores mais baixos foram encontrados por Silva e Souza (2021) ao produzirem uma cerveja do estilo *Catharina Sour* com araçá-boi que reportaram 3,25 pH. Não há especificação legal, nem possui valores sugeridos pelo BJCP para esses dois indicadores.

A análise de turvação em 24 h na cerveja com leveduras livres apresentou resultado superior ao obtido para cerveja proveniente do processo com levedura imobilizada, com valores de 1,2 e 0,75 EBC, respectivamente. Houve diferença significativa entre esses resultados, de acordo com a análise estatística. Curi et al (2008)

encontraram valores de 1,9 (EBC) em cerveja puro malte. Apesar do uso de adjunto o processo de imobilização celular se mostrou mais efetivo na aparência límpida da cerveja obtida. Comportamento contrário foi reportado por Silva et al (2020b), onde foi reportado um aumento da turvação nos processos com leveduras imobilizadas, atingindo valores de 25,34 EBC.

A turvação em cerveja esta relacionada principalmente a quantidade de células remanescente do processo após a retirada do fermento. A cerveja elaborada com leveduras imobilizadas apresentou baixo valor de turvação, isto deve-se ao fato de as células estarem aprisionadas em uma matriz porosa de alginato de cálcio. Este fato evidencia também a boa estabilidade mecânica das bioesferas, que pode ser observada pelo baixo desprendimento celular durante o processo de fermentação (PANTOJA, 2009; SILVA et al, 2020b).

A cerveja elabora com células imobilizadas apresentou valor de turvação 1,6 vezes menor quando comparado a turvação obtida em cerveja oriunda de processo com células livres. Valores acima de 1 EBC podem ocasionar sedimentação de proteínas na cerveja. Este fato geralmente ocorre após 6 meses de armazenamento em prateleira, ou após sucessivas práticas de congelamento e descongelamento do produto (SILVA et al, 2021a)

Os valores de dicetonas obtidos nas cervejas elaboradas foram na ordem de 0,16 e 0,14 mg L⁻¹ para cerveja obtidas por bioprocessos com leveduras livres e imobilizadas, respectivamente. De acordo com Linko et al. (1998) o limite de detecção sensorial do diacetil pelos consumidores é de 0,05 mg L⁻¹.

O teor alcoólico das cervejas está relacionado com o tipo de mosto, com as temperaturas escolhidas para a fermentação e com as leveduras utilizadas no processo. As cervejas obtidas utilizando farinha de pupunha como adjunto apresentaram teor alcoólico entre 4,34 e 4,21 % v v⁻¹, ou seja, dentro das especificações do BJCP que é entre 4,2 e 5,3% v v⁻¹ de álcool. Valor de 4,3 % v v⁻¹ foi reportado por Machado e Picardo (2020), na produção do mesmo estilo de cerveja. Estes valores podem ser considerados como moderado quando comparado com o de outras bebidas alcoólicas fermentadas, como o vinho, por exemplo.

Comparando os dois bioprocessos de obtenção da cerveja observou-se diferença estatística significativa ($p < 0,05$) para os resultados de extrato original, turvação em 24h, cor e teor alcoólico.

Tabela 1 - Composição físico-química das cervejas lager elaboradas utilizando farinha de pupunha como adjunto, fermentadas com levedura na forma livre e imobilizada.

Físico-química	Livre	Imobilizada
Extrato Original (°P)	11,83 ^a ± 0,03	11,72 ^b ± 0,01
Extrato Aparente (°P)	2,77 ^a ± 0,12	2,55 ^a ± 0,10
Densidade Original (g cm ⁻³)	1,047 ^a ± 0,00	1,047 ^a ± 0,00
Densidade Final (g cm ⁻³)	1,011 ^a ± 0,00	1,010 ^a ± 0,00
Cor (EBC)	8,87 ^a ± 0,16	8,32 ^b ± 0,07
Cor (SRM)	4,50 ^a ± 0,05	4,23 ^b ± 0,03
Amargor (IBU)	12,16 ^a ± 0,23	11,63 ^a ± 0,27
Gás Carbônico (% p p ⁻¹)	0,52 ^a ± 0,04	0,51 ^a ± 0,05
pH	4,27 ^a ± 0,03	4,4 ^a ± 0,10
Turvação 24 horas (EBC)	2,20 ^a ± 0,06	1,75 ^b ± 0,05
Dicetonas (mg L ⁻¹)	0,16 ^a ± 0,01	0,14 ^a ± 0,01
Teor Alcoólico (% v v ⁻¹)	4,34 ^a ± 0,05	4,21 ^b ± 0,02
Teor Alcoólico (% p v ⁻¹)	3,42 ^a ± 0,04	3,32 ^b ± 0,01
Fermentação Aparente (%)	76,59 ^a ± 0,95	78,25 ^a ± 0,86
Rel Amargor Relativo (RBR)	0,24 ^a ± 0,00	0,23 ^a ± 0,00

Enquadramento de Estilo

As cervejas apresentaram cor acima da especificação do MITCHELL et al (2021) quando avaliadas como *american lagers*, que é de no máximo 7,9 (EBC). Ele leve aumento pode ter sido influenciado pela cor alaranjada da farinha de pupunha, por isso apenas esse item se mostrou acima da especificação. A densidade final da cerveja produzida com leveduras livres também de mostrou levemente mais elevada com 1,011 g cm⁻³, no entanto o valor máximo da especificação é de 1,010 g cm⁻³. Esse discreto aumento pode ser até mesmo uma variação analítica. Visto que os demais parâmetros foram atingidos as cervejas se enquadrariam no estilo *american lager*, exceto na cor.

Quando avaliadas no estilo Cream Ale (MITCHELL et al, 2021), que pode ser lager ou ale, as cervejas apresentaram também algumas variações. Neste estilo elas enquadram em cor, que é no máximo 7,9 EBC. No entanto a cerveja com levedura imobilizada ficaria com teor alcoólico levemente mais baixo que a especificação de 4,3 % v v⁻¹ e a cerveja com leveduras livres com mesmo leve aumento de densidade final que

deveria ser de 1,010 g cm⁻³. Levando em consideração as possíveis variações de processo e analíticas as cervejas se enquadram no estilo *cream ale*. Para afirmar o enquadramento seria necessário fazer uma avaliação sensorial, além da físico-química.

CONCLUSÃO

A farinha de pupunha se mostrou viável para utilização como adjunto de processo cervejeiro. O amido contido na farinha de pupunha pode ter influenciado o atingimento do valor máximo da densidade final do produto, podendo ser melhorado com uma sacarificação mais prolongada ou uso de enzimas comerciais no cozimento do adjunto. Provavelmente a farinha de pupunha contribuiu aumentando a cor da cerveja. As cervejas com leveduras livres e imobilizadas apresentaram baixa variação físico-química com destaque para diferenças encontradas na turvação da cerveja com leveduras imobilizadas que apresentou resultados inferiores a 1 EBC, indicando uma boa estabilização.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos as instituições que auxiliaram na execução do trabalho: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA); Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP); Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). Também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e ao Programa de Capacitação Institucional do MCT (PCI/INPA). Em memória de Prof. Dr. João Batista de Almeida e Silva.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, A. L.; SOUSA FILHO, J. J. S.; MORAES JÚNIOR, D.; MORAES, M. S.; ROSA, V. S.; RUIZ, R. Características de fluxo e vazão de soja em silos prismáticos com tremonhas retangulares cuneiformes. **Braz. J. de Desenvolvimento.**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 28886-28903, 2020.

CARVALHO, G.B.M.; ROSSI, A.A.; ALMEIDA E SILVA, J.B. Elementos biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro. 2º parte: A Fermentação. **Revista Analítica**, n.26, p. 46-54, 2007.

CARVALHO, A.V.; BECKMAN, J.C.; MACIEL, R.A.; NETO, J.T.F. Características físicas e químicas de pupunheira no Estado do Pará. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 3, p. 763-768, 2013.

CURI, R.A.; VENTURINI FILHO, W.G.; DUCATTI, C.; NOJIMOTO, T. Produção de cerveja utilizando cevada e maltose de milho como adjunto de malte: análises físico-

química, sensorial e isotópica. **Braz. Journal Food Technology**, v.11, n.4, p.279-287, 2008.

EBC. **European brewery convention - EBC**. Analytica – EBC, 4º ed, Zurich: Brauerei, 1987, 271 p.

IAL. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4º Ed. São Paulo: IAL, 2008, 1020p.

LINKO, M; HAIKARA, A; RITALA, A.; PENTTILÄ, M. Recent advances in the malting and brewing industry. **Journal of Biotechnology**, v. 65, p.85-98, 1998.

MACHADO, L. A. H.; PICARDO, M. C. Avaliação da produção de cerveja tipo cerveja em regime semicontínuo. **Braz. J. de Desenvolvimento**, v. 6, n. 3, p. 13363-13370, 2020.

MAPA. **Anuário da cerveja 2020**: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/com-crescimento-de-14-4-em-2020-numero-de-cervejarias-registradas-no-brasil-passa-de-1-3-mil/anuariocerveja2.pdf>>. Acessado em: 31/05/2020.

MITCHELL, D.; HAVEN, J.; PIXLEY, D.; PUPO, T.; PATTINSON, R. **Beer Judge Certification Program: 2021 Style Guidelines**. Disponível em: < <https://www.bjcp.org/about/introduction-bjcp/>>. Acessado em: 13 de março de 2022.

OLIVEIRA, M.E.S. **Elaboração de bebida alcoólica fermentada de cagaita (*Eugenia dysenterica*) empregando leveduras livres e imobilizadas**. Lavras, 2010. 75p. (Dissertação de Mestrado em Microbiologia Agrícola – Universidade Federal de Lavras).

PANTOJA, L.; NEVES, N.A.; DESSIMONI, N.A.V.; SANTOS, A.S. Produção e caracterização química da bebida alcoólica fermentada de jabuticaba obtida por processo conduzido com leveduras imobilizadas. In: **Anais do XVII Simpósio Nacional de Bioprocessos**. 02-05 de ago. 2009. Natal/RN. 2009. 6p.

SHWAYDER, R. 2022. **Mad Alchemist: Relative Bitterness Ratio (RBR)**. Disponível em: < http://www.madalchemist.com/relative_bitterness.html>. Acessado em: 14 de janeiro de 2022.

SILVA, D. F.; SOUZA, P. G.; ALBUQUERQUE, P. M. Avaliação da eficácia dos principais métodos de estabilização coloidal da cerveja tipo American Lager. **Braz. J. of Develop**, v.7, n.4, p. 34657-34670, 2021a.

SILVA, H. G.; SOUZA, P. G.; PINHEIRO, C. L. Estudo da reutilização de leveduras imobilizadas sobre a qualidade da cerveja Cream Ale. **Braz. J. of Develop**, v.7, n.4, p. 43083-43095, 2021b.

SILVA, L.S.; SOUZA, P.G. Produção de cerveja do estilo catharina sour com araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh). **Braz. J. of Develop**, v.7, n.1, p. 1599-1613, 2021.

SILVA, P. H. A.; FARIA, F. C. Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 902-906, 2008.

SOUZA, P. G.; PANTOJA, L.; SANTOS, A. S.; MARINHO, H. A.; ALMEIDA E SILVA, J. B. Avaliação físico-química da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) para uso alimentício. **Brazilian Journal of Science**, v. 1, n. 2, p. 65-74, 2022.

TECHAKRIENGKRAIL, I. Relationships of sensory bitterness in *lager* beer to iso-alfa-acid contents. **Journal of the Institut of Brewing**, v. 110, n. 1, p. 51-56, 2004.

VENTURINI FILHO, W.G.; CEREDA, M.P. Hidrolisado de fécula de mandioca como adjunto de malte na fabricação de cerveja: avaliação química e sensorial. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 18, n. 2, 1998.

Recebido em: 16/06/2022

Aprovado em: 21/07/2022

Publicado em: 27/07/2022