

GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM UMA MICROCERVEJARIA: BALANÇO DE MASSA E ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO

*WASTE GENERATION IN A MICROBREWERY: MASS-BALANCE AND TREATMENT
ALTERNATIVES*

*GENERACIÓN DE RESIDUOS EN UNA MICROCERVECERA: BALANCE DE MASA Y
ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO*

Jéssica Cristine Teles¹
Gabriela Pereira Roveroto²
Ana Claudia Barana³

Resumo

A indústria cervejeira produz grandes quantidades de efluente com alta carga orgânica, que devem ser tratados adequadamente antes de dispostos no meio ambiente. Neste trabalho realizou-se o acompanhamento do processo produtivo em uma microcervejaria no interior do Paraná, com o objetivo de se quantificar e caracterizar os efluentes gerados na produção de dois tipos de cerveja, *American Pale Ale* (APA) e *Bernstein Amber Ale* (BAA). Verificou-se que a produção de cerveja utiliza grande quantidade de água: cerca de 4,3 L para produzir 1 L de cerveja tipo APA e 4,7 L para cada litro de cerveja tipo BAA. Cerca de 70% da água consumida se torna efluente, com valores de Demanda Química de Oxigênio acima de 4.000 mg L⁻¹ e de Nitrogênio Total Kjeldahl entre 25-80 mg L⁻¹, de maneira que é necessário um correto tratamento antes de ser lançado ao meio ambiente.

Palavras-chave: meio ambiente; águas residuárias; tratamento biológico; efluente cervejeiro.

Abstract

The beer industry generates significant amounts of effluent with a high organic load, which must be adequately treated before being discharged into the environment. This study monitored the production process at a microbrewery in the interior of Paraná, aiming to quantify and characterize the effluents generated during the production of two types of beer, *American Pale Ale* (APA) and *Bernstein Amber Ale* (BAA). It was observed that beer production consumes a large amount of water: approximately 4.3 L to produce 1 L of APA beer and 4.7 L for each liter of BAA beer. Around 70% of the water consumed becomes effluent, with Chemical Oxygen Demand values above 4,000 mg L⁻¹ and Total Kjeldahl Nitrogen between 25-80 mg L⁻¹, requiring a proper treatment before being released into the environment.

Keywords: environment; wastewater; biological treatment; brewery effluent.

Resumen

La industria cervecera genera grandes cantidades de efluentes con alta carga orgánica, que deben ser debidamente tratados antes de su disposición en el medioambiente. En este trabajo se monitoreó el proceso de producción en una microempresa cervecera del interior de Paraná, con el objetivo de cuantificar y caracterizar los efluentes generados en la producción de dos tipos de cerveza, *American Pale Ale* (APA) y *Bernstein Amber Ale* (BAA). Se encontró que la producción de cerveza utiliza gran cantidad de agua: alrededor de 4,3 L para producir 1 L de cerveza tipo APA y 4,7 L por cada litro de cerveza tipo BAA. Cerca del 70% del agua consumida se convierte en efluente, con valores de Demanda Química de Oxígeno superiores a 4.000 mg L⁻¹ y Nitrógeno Total Kjeldahl entre 25-80 mg L⁻¹, lo que exige un correcto tratamiento antes de ser liberado al medio ambiente.

¹ Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - UEPG. E-mail: teles_jessica@hotmail.com

² Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - UEPG. E-mail: gabi_roveroto@hotmail.com

³ Doutora em Agronomia. Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos – UEPG. E-mail: acbarana@uepg.br

Palabras-clave: medioambiente; aguas residuales; tratamiento biológico; efluente de industria cervecera.

1 Introdução

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais ingeridas mundialmente. No Brasil são consumidos cerca de 13 bilhões de litros/ano. Segundo uma pesquisa realizada em 2017 pela Barth HaasGroup, o Brasil foi o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, ficando atrás somente da China e dos EUA (STEPHAN BARTH, 2017). As três empresas líderes na produção de cerveja do mercado brasileiro são AMBEV, Heineken e Petrópolis, responsáveis por 5% de toda produção brasileira no ano de 2017 (ALVARENGA, 2018; LAPOLLI, 2018; MAPA, 2018). Segundo a ABRACERVA (MELZ, 2019), nos últimos 10 anos houve grande crescimento no número de cervejarias registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), alcançando, no final do ano de 2018, um total de 889 cervejarias registradas e em atividade operacional, a maioria na região Sul e Sudeste do Brasil (LAPOLLI, 2018).

O setor de cervejas artesanais cresce em torno de 35% ao ano. Este crescimento ocorre devido ao seu potencial de negócio, hobby ou curiosidade pela produção (MARTINS; PANDOLFI; COIMBRA, 2017; RAMOS, PANDOLFI, 2019). Segundo Gunes *et al.* (2019), em países como Irlanda e Reino Unido é considerada uma microcervejaria, ou cervejaria artesanal, aquela cuja produção é inferior a 1760 m³/ano. No município de Ponta Grossa, a Lei 13.504, de 10/08/2019, define como microcervejarias apenas as unidades de fabricação artesanal de cervejas e chopes, que estejam enquadradas no Simples Nacional (Supersimples) (PONTA GROSSA, 2019).

A fabricação de cerveja distribui-se em operações como moagem, mosturação, filtração, fervura, resfriamento, fermentação, maturação e envase. Os insumos utilizados na produção variam em função do estilo da cerveja a ser produzida, mas, normalmente, utiliza-se malte, lúpulo e água (ROSA; AFONSO, 2015; TORRES; HANSEN, 2019).

A qualidade da água é muito importante para a produção de uma boa cerveja, pois, além de ser utilizada em todo o processo produtivo, também integra mais de 90% da cerveja. Portanto, deve ser potável, sem sabor ou odor, isenta de microrganismos, partículas em suspensão e outros componentes indesejáveis. Nas cervejarias, a água é utilizada também em grande quantidade na higienização dos equipamentos e instalações e nas etapas de resfriamento e pasteurização (ESSLINGER, 2009; PALMER, 2006; ROSA; AFONSO, 2015).

O malte utilizado na fabricação da cerveja pode ser proveniente da cevada, centeio, trigo e aveia. A moagem do malte é feita em moinho de rolo, que promove a exposição do conteúdo

amiláceo e diminuição do tamanho do grânulo de amido, facilitando a hidrólise do mesmo para a etapa posterior, de mosturação (ESSLINGER, 2009; PALMER, 2006). No tanque de mosturação, o malte é misturado com água e submetido a um processo de cozimento, onde os açúcares fermentescíveis são extraídos (ESSLINGER, 2009; PRIEST; STEWART, 2006). Forma-se, então, o mosto (Figura 1).

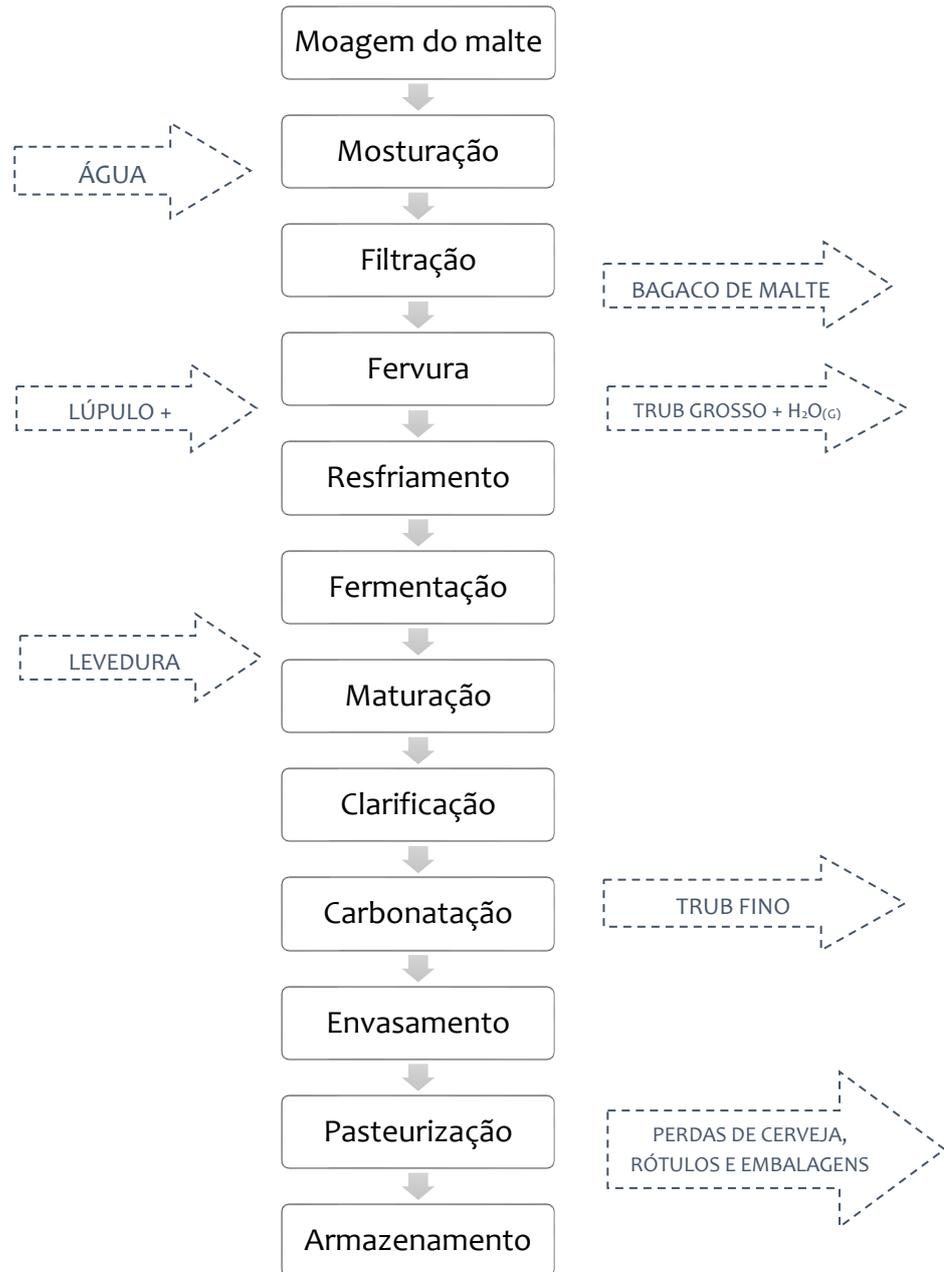
O mosto passa, então, pela etapa de filtração para remoção do bagaço de malte, que é formado pelos sólidos insolúveis, como restos de grão e cascas do malte (PICCINI; MORESCO; MUNHOS, 2002; SANTOS; RIBEIRO, 2005).

O mosto cervejeiro filtrado segue para a etapa de fervura, para adição do lúpulo. Além de dar amargor e aroma característico à cerveja, o lúpulo também ajuda na conservação da bebida devido aos compostos fenólicos com propriedades antioxidantes presentes em sua composição (ESSLINGER, 2009; OBERHOLSTER; TITUS, 2016; HRNCIC *et al.*, 2019). Após a fervura, utilizando-se processos de filtração ou decantação, os precipitados proteicos e outros componentes que não solubilizaram são separados, formando-se o trub grosso. Usualmente, são cerca de 0,2 a 0,4 kg de trub grosso a cada hectolitro de cerveja produzido (BRUST *et al.*, 2015; PRIEST; STEWART, 2006).

Depois de filtrado, o mosto é resfriado e enviado para a etapa de fermentação. Ao final da fermentação as leveduras são separadas por decantação, depositando-se no fundo do tanque. Nesta etapa obtém-se em torno de 1,5 a 3 kg de material decantado para cada 100 L de cerveja produzida. Esse material é um resíduo composto por leveduras e cerveja com concentrações variadas de álcool. Em seguida, o líquido é encaminhado para a maturação, na qual ocorre a estabilização de compostos de sabor e aroma, além de auxiliar na clarificação da mesma, devido à precipitação de leveduras e proteínas (PRIEST; STEWART, 2006).

Antes de ser envasada, a cerveja pode passar por clarificação por filtros de terra diatomácea para remoção de partículas em suspensão, chamado de trub fino. Após a filtração, pode ser realizada também a carbonatação, para garantir as necessidades do produto. Para ter uma maior durabilidade a cerveja pode ser pasteurizada após a carbonatação e envase (ROSA; AFONSO, 2015).

Figura 1: Fluxograma do processo geral de produção da cerveja



Fonte: Autor.

Como se vê no fluxograma da Figura 1, na produção da cerveja é inevitável a obtenção de resíduos e efluentes, produzidos em diversas etapas, desde o processamento até a limpeza dos equipamentos. A limpeza interna dos equipamentos pode ser realizada manualmente, de forma semi-automática ou automática pelo processo *Cleaning in Place* (CIP). Comumente, realiza-se um pré-enxágue, circulação de detergente alcalino, enxágue, circulação ácida e enxágue. Para evitar a formação de biofilmes, recomenda-se a utilização de agentes oxidantes como ácido peracético, cloro ou peróxido de hidrogênio.

De maneira geral, tem-se que, para cada litro de cerveja produzida, gera-se em torno de 3 a 10 litros de efluente. Este efluente é rico em matéria orgânica proveniente dos restos de cerveja e levedura, além de compostos presentes nos produtos de limpeza e desinfecção. A composição química deste efluente pode variar de acordo com o processamento e matéria-prima utilizada (Tabela 1) (ESSLINGER, 2009; EYVAZ, 2016; PRIEST; STEWART, 2006).

Tabela 1: Características do efluente de cervejaria

Parâmetro	Valor
Demanda química de oxigênio (DQO)	2.000-6.000 mg L ⁻¹
Sólidos suspensos totais (SST)	200-1.000 mg L ⁻¹
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	25-80 mg L ⁻¹
Temperatura	18-40 °C
pH	3-12

Fonte: EYVAZ, 2016.

Grandes cervejarias costumam tratar seus efluentes por processos biológicos, utilizando sistemas com configuração composta de dois a três reatores sequenciais que promovem a remoção da DQO e de parte do nitrogênio. Esses processos exigem grandes investimentos de implantação e altos custos operacionais (THIRUGNANASAMBANDHAM; SIVAKUMAR, 2015; SANGEETHA *et al.*, 2016).

Empresas com menor volume de produção, como as microcervejarias, muitas vezes não contam com uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), devido à falta de espaço e, também, de recursos. Assim, a alternativa é contratar uma empresa terceirizada para coleta do efluente ou, quando permitido, descartá-lo na rede coletora de esgotos (EYVAZ, 2016; PRIEST; STEWART, 2006; TORRES; HANSEN, 2019). O lançamento de efluentes de microcervejarias em redes coletoras de esgoto pode ocasionar uma sobrecarga no sistema, visto que o número desse tipo de empreendimento tem crescido a cada ano, com uma taxa média de 36,4% nos últimos cinco anos. A região Sul-Sudeste possui mais de 80% destes estabelecimentos, sendo o Paraná a 5^a região com maior número de microcervejarias, segundo o Anuário da Cerveja de 2019 disponibilizado pelo MAPA (2020). É importante destacar que o lançamento em corpos d'água de efluentes sem nenhum tratamento, ou submetidos a tratamentos indevidos, pode causar poluição e eutrofização, levando ao crescimento excessivo de algas e esgotamento do oxigênio que a vida aquática necessita.

Desta forma, este trabalho tem por objetivo caracterizar e quantificar os resíduos gerados em uma microcervejaria.

2 Metodologia

2.1 Quantificação dos resíduos

Para se quantificar e caracterizar a geração dos resíduos produzidos no processo de fabricação de cerveja artesanal, fez-se o acompanhamento do processo em uma microcervejaria localizada no município de Ponta Grossa, Paraná (25°06'35.0"S 50°12'02.0"W). A quantificação e a coleta de amostras foram realizadas *in loco*.

As amostras de resíduos sólidos e líquidos foram coletadas em cada etapa do processo, transportadas em galões ou baldes de polipropileno de 5 L e armazenados a -18°C, no Laboratório de Estudos em Meio Ambiente (LEMA) do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Campus Uvaranas, até o momento de análise.

Os resíduos sólidos foram quantificados no local de produção com o uso de balanças. Os efluentes líquidos foram quantificados por meio de balde graduado. Também se procedeu à leitura do hidrômetro da empresa no início e final do processo produtivo. Através da leitura do hidrômetro, foi possível quantificar o volume de água consumido para a produção da cerveja, higienização de equipamentos e instalações e dos sanitários.

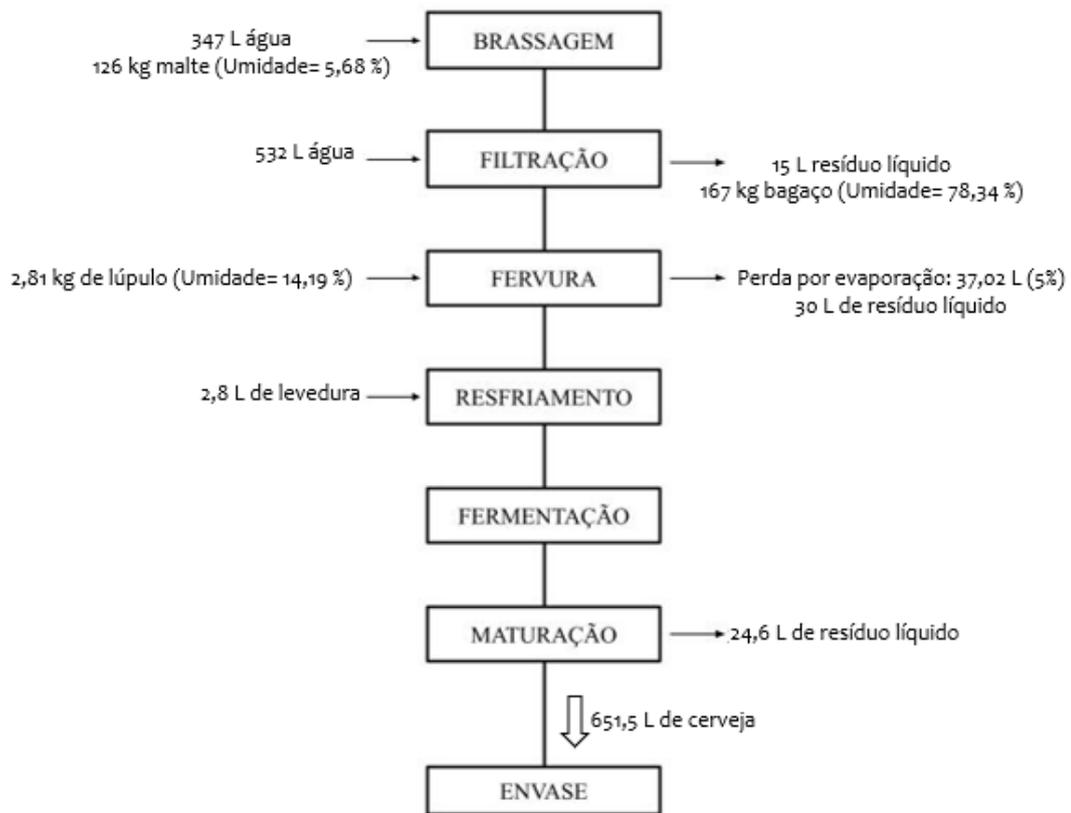
2.2 Caracterização físico-química do efluente

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata; os efluentes foram caracterizados com relação aos parâmetros de pH, Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Nitrogênio Amoniacal (N-NH₄). As análises foram determinadas segundo métodos especificados pela APHA (1998). A caracterização dos efluentes brutos das cervejas APA e BAA foi realizada utilizando apenas os resíduos líquidos dos equipamentos, sem considerar as águas do processo de limpeza.

3 Resultados e discussão

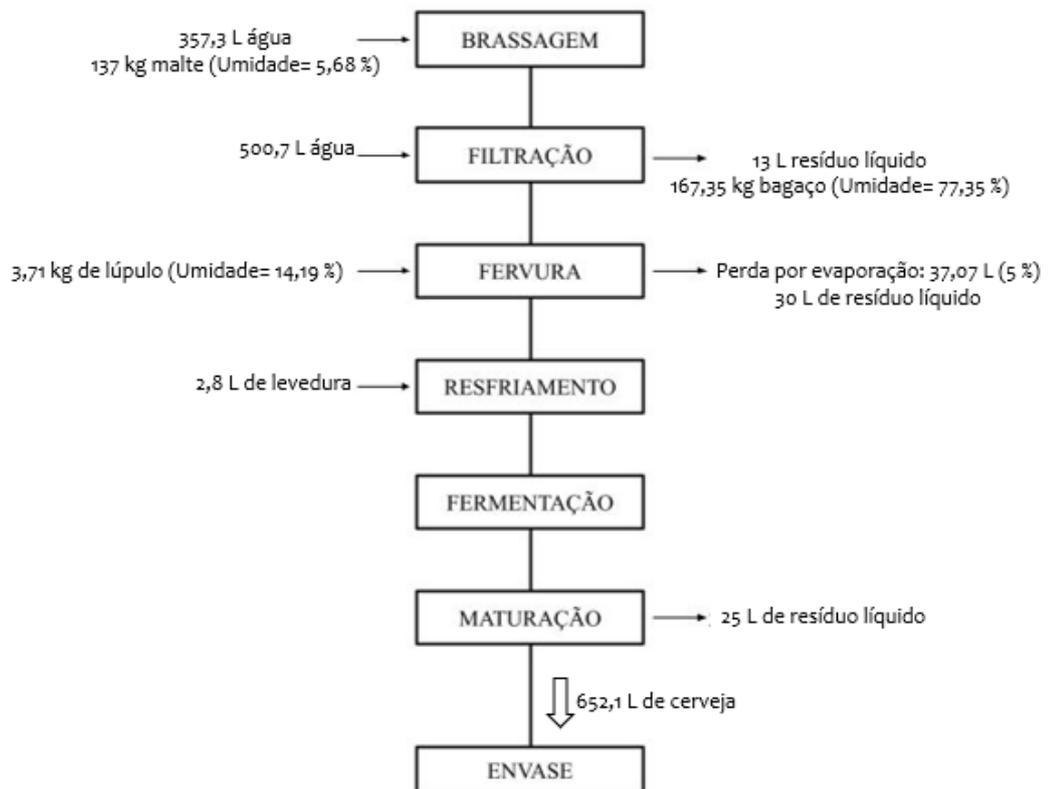
Após medição das quantidades de resíduos gerados, foi realizado o balanço hídrico e mássico do processamento de dois tipos de cervejas. Os resultados estão apresentados nas Figuras 2 e 3.

Figura 2: Fluxograma da produção da cerveja American Pale Ale e balanço de massa do processo



Fonte: Autor.

Figura 3: Fluxograma da produção da cerveja Bernstein Amber Ale e balanço de massa do processo



Fonte: Autor.

Sabe-se que a água é o ingrediente principal na produção de cerveja, constituindo cerca de 90 a 95% da sua composição. Durante o processo de produção, a água é adicionada em duas etapas: na mosturação (chamada de água primária) e na lavagem do bagaço no processo de filtração (chamada de água secundária) (LÚPULO, 2014; PRIEST; STEWART, 2006).

Na brassagem da cerveja tipo APA foram adicionados cerca de 2,75 kg de água para cada quilo de malte, totalizando 347 L de água adicionados nesta etapa. Foram utilizados 4 tipos de maltes característicos para este tipo de cerveja. Para a cerveja tipo BAA, foram adicionados 2,60 kg de água para cada quilo de malte adicionado, totalizando 357,3 L de água. Foram adicionados 6 tipos de maltes em diferentes proporções, característicos para este tipo de bebida. Durante a brassagem não se gerou resíduo e a mistura foi totalmente transferida para a filtração.

Na etapa de filtração ocorre a separação entre malte e mosto. Na produção da cerveja tipo APA foram adicionados 532 L de água durante a filtração, ou seja, 4,22 kg de água por quilo de malte. Já para a cerveja tipo BAA foram adicionados 500,7 L de água, ou seja, 3,65 kg de água por quilo de malte. A literatura cita que o valor desta água secundária deve ser equivalente a 1,5 L da água primária, valor muito próximo obtido em ambos os processos, que podem variar conforme a cerveja produzida (LÚPULO, 2014). A água adicionada ajuda na extração de açúcares e proteínas ainda retidos no malte, aumentando o volume final.

O malte retido na filtração é chamado de bagaço ou resíduo úmido de cervejaria (RUC); é um material com alto teor de umidade e rico em proteínas e fibras. Nesta cervejaria, este material é doado para um produtor de suínos, pois atende às exigências nutricionais desses animais. A quantidade de bagaço formado na produção da cerveja tipo APA foi de 167 kg, com umidade de 78,34%, ou seja, estavam retidos no bagaço 123,67 kg de água. Na produção da cerveja tipo BAA geraram-se 167,35 kg de bagaço com umidade de 77,35%, ficando retidos 121,67 kg de água; o restante do peso é o do malte que não foi dissolvido no mosto. No processo de filtração da cerveja tipo APA foram produzidos cerca de 15 L de resíduo líquido. Na produção da cerveja tipo BAA foram gerados 13 L de resíduo líquido, rico em matéria orgânica carbonácea e nitrogenada.

Depois de filtrado, o mosto foi transferido para a dorna de fervura. Na produção da cerveja tipo APA foram adicionados 2,81 kg de lúpulo e na cerveja tipo BAA foram adicionados 3,71 kg de lúpulo, com umidade de 14,19%. Durante o processo de fervura, a literatura cita que existe uma perda de água por evaporação de 4 a 10% (BRIGGS *et al.*, 2004). Nesta cervejaria, a perda foi de aproximadamente 5%. Uma vez resfriado, o mosto foi transferido para a dorna de fermentação e, ao final desta etapa, gerou-se cerca de 30 L de resíduo líquido. Este resíduo

líquido ficou no fundo da dorna de fervura em ambas as produções de cerveja e foi posteriormente descartado no ralo da indústria.

O volume total de água adicionado para a produção de cerveja tipo APA foi de 879 L e, considerando as perdas durante o processo, sobraram cerca de 673 L de mosto. Este volume foi transferido para o processo de fermentação, no qual foram adicionados 2,8 L de levedura cervejeira, que é retirada no final do processo de fermentação e reutilizada, em média, de 3 a 4 vezes pela indústria. Nesta etapa ocorre um aumento da massa da levedura de até 5 vezes (BRIGGS *et al.*, 2004). Após a fermentação, o produto passa pelo processo de maturação, e, então, é envasado.

Já para a produção de cerveja tipo BAA, foram adicionados 858 L de água, gerando cerca de 674 L de mosto que seguiu para a dorna de fermentação; nele foram adicionadas 2,8 L de levedura. Após a fermentação, o produto é maturado e envasado.

Ao longo de todo o processo, uma grande quantidade de água é requerida, tanto para a fabricação da cerveja, como ingrediente, quanto para uso nos processos de lavagem e limpeza de pisos e equipamentos. A água utilizada na empresa vem de dois locais: de uma caixa d'água que armazena a água distribuída pela rede municipal e a vinda direto da rua, também distribuída pela rede municipal. A água armazenada na caixa passa por um filtro de carvão ativado e é usada na produção de cerveja. Neste caso, foram 879 L para cerveja tipo APA e 858 L para cerveja tipo BAA. A água vinda diretamente da rede de distribuição é utilizada para limpeza de pisos e equipamentos, sem passar por filtração. A partir da medição realizada no hidrômetro, para quantificar o volume de água utilizada no processo de limpeza e higienização de pisos e equipamentos, foram obtidos valores de 1,9 m³ para a produção da cerveja tipo APA e 2,0 m³ para a produção da cerveja tipo BAA. Somando estes valores com o volume de água utilizada como matéria-prima da cerveja, tem-se que o volume total de água utilizada na produção de cerveja tipo APA foram de 2.779 L e para a produção de cerveja tipo BAA foram de 2.858 L. Desta maneira, foram necessários 4,26 L de água para produzir 1 L de cerveja tipo APA e 4,57 L para produzir 1 L de cerveja tipo BAA (Tabela 2). Este valor está de acordo com os encontrados em literatura, na faixa de 3 a 10 L (SIMATE *et al.*, 2011).

Tabela 2: Distribuição do consumo de água na fabricação de cerveja

Tipo de cerveja	Total de água utilizada para produzir 1 L de cerveja (L)	Uso da água (%)			
		Cerveja	Evaporação	Bagaço	Efluente
APA	4,26	23,5	1,4	4,5	70,6
BAA	4,70	22,7	1,1	4,2	72,0

Fonte: Autor.

Analisando-se a Tabela 2, é possível observar que a maior parte da água utilizada resulta em efluente, surgido durante o processo de produção, limpeza e sanitização. Essa relação se manteve a mesma nos dois tipos de cerveja.

Foi possível verificar que os efluentes gerados no processo, que saem diretamente dos equipamentos, representam em torno de 2,5% dos efluentes totais, tanto para cerveja APA quanto para cerveja BAA. Mesmo representando uma porcentagem pequena, são altamente poluidores e responsáveis pelas altas concentrações de DQO e NTK do efluente final (Tabela 3).

Tabela 3: Composição média do efluente bruto de cervejas tipo APA e BAA

Parâmetros	Efluente bruto
DQO (mg L ⁻¹)	102.378 ± 2165
pH	4,7 ± 0,3
NTK (mg L ⁻¹)	1.000 ± 64
N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	46 ± 3,8
ST (g L ⁻¹)	38 ± 2,1
STV (g L ⁻¹)	29 ± 0,7

Fonte: Autor.

Após os processos de limpeza e higienização, nos quais se utiliza uma grande quantidade de água, este efluente do processo é diluído, o que facilita o seu tratamento posterior.

A Tabela 4 apresenta o resultado da caracterização físico-química do efluente final gerado na produção das cervejas *American Pale Ale* (APA) e *Bernstein Amber Ale* (BAA), ou seja, é a mistura dos efluentes gerados em processo com os produzidos nas etapas de higiene e sanitização.

Tabela 4: Caracterização do efluente de microcervejaria

Parâmetros	Efluente		Literatura	Legislação
	APA	BAA		
NTK (mg L ⁻¹)	45,6 ± 0,8	51,8 ± 1,2	20 a 80	-
N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	1,76 ± 0,14	1,45 ± 0,16	0,48 a 13,05	até 20
DQO (mg L ⁻¹)	4.131 ± 137	4.654 ± 144	1800 a 15000	até 200
pH	4,7 ± 0,2	5,8 ± 0,3	3 a 12	5 a 9

Fonte: Autor.

O efluente da produção de cerveja é rico em matéria orgânica e por isso deve ser tratado para posterior lançamento em corpos d'água. No Paraná, a Resolução CEMA 070/09 (PARANÁ, 2009), em seu Anexo 7, dispõe sobre os padrões de lançamento de efluentes líquidos industriais. Para a indústria de bebidas é permitido o lançamento de efluente com DQO máxima de 200 mg L⁻¹. Neste trabalho foram obtidos valores de DQO do efluente acima de

4.000 mg L⁻¹, que está dentro da faixa encontrada em literatura, mas fora do exigido em legislação (AYUB; SHARMA, 2017; BRIGGS *et al.*, 2004; MATA *et al.*, 2012; RADU *et al.*, 2014). Com relação aos valores de pH, os valores encontrados estão dentro da faixa encontrada na literatura e próximos à faixa da Resolução CONAMA N° 430/2011 (BRIGGS *et al.*, 2004; EYVAZ, 2016). Os valores de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) obtidos foram de 45,6 ± 0,8 mg L⁻¹ e 51,82 ± 1,2 mg L⁻¹, estando de acordo com a literatura (BRIGGS *et al.*, 2004). Os valores do nitrogênio amoniacal ficaram abaixo do permitido pela Resolução CONAMA N° 430/2011 (CONAMA, 2011) e dentro da faixa relatada por Enitan *et al.* (2018).

Com relação aos sólidos totais, os valores encontrados foram de 1839 ± 44 mg L⁻¹ (APA) e de 2035 ± 18 mg L⁻¹ (BAA). Os valores encontrados para sólidos suspensos totais foram de 214 ± 8 mg L⁻¹ (APA) e de 238 ± 11 mg L⁻¹ (BAA), valores de sólidos suspensos abaixo quando comparados com o efluente utilizado em estudo de Papadopoulos *et al.* (2020), que coletou amostra do tanque de equalização de uma cervejaria, mas de acordo com os valores citados por Eyvaz (2016). A presença de sólidos suspensos pode levar ao desenvolvimento de depósitos de lodo e desenvolvimento de condições anaeróbias quando o efluente é lançado sem tratamento no meio ambiente; desta forma, confirma que é necessária a redução deste parâmetro.

A microcervejaria estudada possui autorização da Prefeitura Municipal de Ponta Grossa e da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) para descartar todo o efluente líquido na rede coletora de esgoto sem tratamento prévio. É importante destacar o crescente surgimento de novas microcervejarias no município, o que pode sobrecarregar as ETEs existentes e, assim, em breve, pode haver necessidade de tratamento adequado deste efluente antes de ser descartado, ou até mesmo um pré-tratamento antes de ser lançado na rede pública de esgoto.

4 Considerações finais

Analisando os resultados de balanço hídrico e mássico e de caracterização dos resíduos gerados, pode-se concluir que efluentes de cervejaria são poluentes devido às elevadas concentrações de DQO e NTK, com uma média de 4392 mg L⁻¹ e de 48 mg L⁻¹, respectivamente, necessitando de um correto tratamento para reduzir seu potencial poluidor. Foi possível verificar também que os maiores volumes de efluente são gerados durante as etapas de limpeza e sanitização dos equipamentos e instalações.

Referências

ALVARENGA, D. Número de cervejarias no Brasil quase dobra em 3 anos e setor volta criar empregos. **G1**, São Paulo, 30 mar. 2018. Economia. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/pme/noticia/numero-de-cervejarias-no-brasil-quase-dobra-em-3-anos-e-setor-volta-criar-empregos.ghtml>. Acesso em: 14 jun. 2020.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. edition. Washington - DC: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, 1998.

AYUB, S.; SHARMA, V. Status and impact of brewery effluent on ground water quality of adjoining communities - A case study. **Australian Journal of Applied Sciences Research**, Australia, v. 11, n. 8, p. 28-33, special 2017.

BRIGGS, D.; BOULTON, C.; BROOKES, P.; STEVENS, R. **Brewing Science and practice**. Abington: Woodhead Publishing Limited, 2004. 983 p.

BRUST, L. A. C. *et al.* Enfermidades em bovinos associadas ao consumo de resíduos de cervejaria. **Pesq. Vet. Bras.**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 12, p. 956-964, dez. 2015.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n°430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre classificação de corpos d'água e estabelece as condições e padrões para lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2011

ENITAN, A. M.; KUMARI, S.; ODIYO, J. O.; BUX, F.; SWALAHA, F.M. Principal component analysis and characterization of methane community in a full-scale bioenergy producing UASB reactor treating brewery wastewater. **Physics and Chemistry of the Earth**, [s. l.], v. 108, p. 1-8, dez. 2018.

ESSLINGER, H. M. **Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets**. Weinheim. Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. v. 1.

EYVAZ, M. Treatment of brewery wastewater with electrocoagulation: Improving the process performance by using alternating pulse current. **International Journal of Electrochemical Science**, [s. l.], v. 11, p. 4988-5008, jun. 2016.

GUNES, B.; STOKES, J.; DAVIS, P.; CONNOLLY, C.; LAWLER, J. Pre-treatments to enhance biogas yield and quality from anaerobic digestion of whiskey distillery and brewery wastes: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 113, p. 1-15, out. 2019.

HRNCIC, M. K.; SPANINGER, E.; KOSIR, I. J.; KNEZ, Z.; BREN, U. Hop compounds: extraction techniques, chemical analyses, antioxidative, antimicrobial and anticarcinogenic effects. **Nutrients**, [s. l.], v. 11, p. 1-37, 2019.

LAPOLLI, C. Mercado da cerveja 2018. **ABRACERVA**, 2019. Disponível em: <https://abracerva.com.br/>. Acesso em: 15 jul. 2019.

LÚPULO, H. Quantidade de água na cerveja. **Homini Lupulo**, 2014. Disponível em: <https://www.hominilupulo.com.br/>. Acesso em: 25 maio 2018.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **A cerveja no Brasil**. Brasília: MAPA/DAS, 2018.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário da cerveja: 2019**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/DAS, 2020.

MARTINS, L. F.; PANDOLFI, M. A.; COIMBRA, C. C. Análise dos indicadores do mercado cervejeiro brasileiro. **Simtec**, Taquaritinga - SP, v. 4, n. 1, 2017.

MATA, T. M. *et al.* Parametric study of a brewery effluent treatment by microalgae *Scenedesmus obliquus*. **Bioresource Technology**, England, v. 107, p. 151-158, mar. 2012.

MELZ, M. Brasil fecha 2018 com 889 cervejarias, 210 a mais do que em 2017. **Abracerva**, [s. l.], 4 fev. 2019. Disponível em: <https://abracerva.com.br/2019/02/04/brasil-fecha-2018-com-889-cervejarias-210-a-mais-do-que-em-2017/>. Acesso em: 15 abr. 2020.

OBERHOLSTER, A.; TITUS, B. M. Review: Impact of dry hopping on beer flavor stability. **Ann. Food Process. Preserv.**, v. 1, n. 1, p. 1–6, set. 2016.

PALMER, J. J. **How to brew**: Everything you need to know to brew beer right the first time. 3. ed. Boulder - CO: Brewers Publications, 2006. 347 p.

PAPADOPOULOS, K. P.; ECONOMOU, C. N.; TEKERLEKOPOULOU, A. G.; VAYENAS, D.V. Two-step treatment of brewery wastewater using electrocoagulation and cyanobacteria-based cultivation. **Journal of Environmental Management**, London, v. 265, p. 1-7, jul. 2020.

PARANÁ. Resolução CEMA Nº 0070/2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para empreendimentos industriais. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, 01 out. 2009.

PICCINI, A. R.; MORESCO, C.; MUNHOS, L. Fermentação. **A Feira**, UFRS, 2002. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/prcerea/cerveja/>. Acesso em: 21 out. 2013

PONTA GROSSA. **Lei nº 13.504, de 19 de agosto de 2019**. Dispõe sobre licenciamento e regulamentação da atividade de micro cervejarias e seus respectivos bares e restaurantes cervejeiros, no Município de Ponta Grossa. Ponta Grossa, PR: Procuradoria Geral do Município, 2019.

PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. (ed.). **Handbook of brewing**. 2. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006. 844 p.

RADU, T.; BLANCHARD, R. E.; SMEDLEY, H.; WHEATLEY, A. D. Anaerobic digestion of brewery effluent: two-year operating experiences. *In: IWA WORLD WATER CONGRESS AND EXHIBITION*, 9., 2014, Lisboa, Portugal. **Proceedings** [...]. Lisboa: IWA, 2014.

RAMOS, G. C. B.; PANDOLFI, M. A. C. A evolução do mercado de cervejas artesanais no Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga - SP, v. 16, n. 1, p. 480-488, jun. 2019.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A Química da cerveja. **Química Nova na Escola**, São Paulo-SP, v. 37, n. 2, p. 98–105, ago. 2015.

SANGEETHA, T.; GUO, Z.; LIU, W.; CUI, M.; YANG, C.; WANG, L.; WANG, A. Cathode material as an influencing factor on beer wastewater treatment and methane production in a novel integrated upflow microbial electrolysis cell (Upflow-MEC). **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 2189-2196, jan. 2016.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. **Cervejas e refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 2005. 58 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 7 nov. 2019.

SIMATE, G. S.; CLUETT, J.; IYUKE, S. E.; MUSAPATIKA, E. T.; NDLOVU, S.; WALUBITA, L. F.; ALVAREZ, A. E. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art. **Desalination**, [s. l.], v. 273, n. 2, p. 235-247, jun. 2011.

STEPHAN BARTH. **The Barth Report**. 2016-2017. Nuremberg: Joh. Barth & Sohn GmbH & Co KG, 2017. Disponível em: <http://www.johnihaas.com/wp-content/uploads/2017/08/barthbericht20162017en.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2019.

THIRUGNANASAMBANDHAM, K.; SIVAKUMAR, V. Modeling and optimization of advanced oxidation treatment of beer industry wastewater using Electro-Fenton process. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, [s. l.], v. 34, p. 1071-1079, 2015.

TORRES, I. C.; HANSEN, E. Environmental licensing in microbreweries: an assessment based on industry performance indicators. **Revista Tecnologia e Tendências**, Novo Hamburgo, v. 10, n. 1, p. 182-199, jan. 2019.