

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO CERVEJEIRO NO DESENVOLVIMENTO DE BIOPRODUTOS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.II-004>

Giséle Alves (*), Daniela da Costa e Silva, Rosana de Cassia de Souza Schneider, Andreas Köhler, Michele Hoeltz

*Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado e Doutorado, Universidade de Santa Cruz do Sul/RS - Brasil. E-mail: giselealves9@hotmail.com

RESUMO

Os resíduos provenientes da fabricação de cerveja têm um impacto ambiental significativo devido à presença elevada de contaminantes e às questões associadas à sua eliminação inadequada. Não só águas residuais da produção cervejeira, mas também os resíduos sólidos e subprodutos relacionados a esse processo. Os resíduos úmidos gerados durante a produção de cerveja são provenientes de várias etapas, como fermentação, maltagem e lupulagem, resultando em subprodutos como o bagaço de cevada. Devido a grande quantidade de resíduos gerados, se faz necessário a busca por soluções biotecnológicas para mitigar os impactos negativos desses resíduos, evitando o desperdício de energia e nutrientes que poderiam ser mais eficientemente aproveitados para atender às crescentes demandas por recursos. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial uso do bagaço de cevada, para a produção de biomassa da microalga *Euglena* sp. e biomassa de *Hermetia illucens*, visando principalmente à sua aplicação na nutrição animal. Inicialmente, os resíduos coletados em uma microcervejaria da região de Santa Cruz do Sul/RS – Brasil, foram centrifugados e filtrados para a separação líquido/sólido e submetidos a análises para conhecimento do seu valor nutricional. A microalga *Euglena* sp. foi cultivada em frascos Erlenmeyer de 2 L em mineral NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), com proporção de inóculo e meio de 20% e 80%, respectivamente, com iluminação e aeração artificial. Os cultivos foram suplementados com o resíduo líquido cervejeiro (5 mL a cada 2 dias), totalizando 3% de suplementação no final do experimento. Foi possível obter uma produtividade de biomassa de $1,888 \pm 0,2 \text{ g L}^{-1}$ com um aumento de $0,097 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, diferindo dos cultivos sem suplementação, mostrando a viabilidade do uso do resíduo cervejeiro para a obtenção de biomassa de *Euglena* sp. O desempenho em bioconversão de *H. illucens* foi avaliado através do cultivo da espécie, utilizando 100 larvas iniciais com cinco dias de idade, em recipiente plástico contendo 30g de resíduo sólido cervejeiro e acrescido de 70% de água (21 ml), em salas climatizadas com temperatura de $27 \pm 2^\circ$ e umidade relativa (UR) de $60 \pm 5\%$. Foi possível obter um ganho de biomassa (%) de $1074,5 \pm 53,7$, rendimento de biomassa de $0,607 \pm 0,02$, eficiência de bioconversão % de $35,81 \pm 1,79$, % redução do substrato de $58,06 \pm 0,70$ e taxa de conversão: $1,64 \pm 0,07$, mostrando que as larvas de *H. illucens* podem processar os resíduos cervejeiros, recuperando os nutrientes e produzindo ingredientes de alto valor com menor impacto ambiental. Este estudo demonstra que esse resíduo possui potencial para ser usado em tecnologias e processos de maior valor devido às suas características e composição, incentivando estudos para sua reutilização e valorização.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo cervejeiro, *Euglena* sp., *Hermetia illucens*, biomassa, bioconversão

INTRODUÇÃO

Os resíduos resultantes da produção de cerveja representam um significativo desafio ambiental em escala global devido à elevada carga de contaminantes, cujo descarte inadequado pode causar vários impactos ao meio ambiente. O tratamento desses resíduos pode ser uma atividade dispendiosa para as empresas, o que tem impulsionado um maior interesse na busca por novas tecnologias para o seu tratamento (MARCHÃO *et al.*, 2017). Os custos relacionados no tratamento e disposição destes resíduos não se limitam apenas às águas residuais do processo cervejeiro, mas também abrangem os resíduos sólidos e subprodutos gerados no mesmo processo (RODRIGUEZ *et al.*, 2022).

A produção de cerveja gera para cada 100 litros, 14-20 Kg de resíduos, sendo o principal destino ração animal ou aterros sanitários (TOMBINI *et al.*, 2020), mostrando a necessidade de se estudar soluções que ajudem a reduzir os impactos negativos (PEREIRA *et al.*, 2021). Em geral o descarte indiscriminado, os tratamentos de má qualidade e o uso descontrolado de aterros sanitários refletem as más práticas na gestão de alguns resíduos, mostrando também um desperdício de energia e nutrientes que poderiam ser usados para atender à crescente demanda por recursos (AKHTARI, 2000).

A utilização da microalga *Euglena* sp. e de larvas de *Hermetia illucens* na gestão de resíduos é uma abordagem inovadora e sustentável. A união dessas duas pesquisas pode ser especialmente eficaz em sistemas integrados e

contribuir para a reciclagem de nutrientes, a redução de resíduos e a produção de recursos valiosos a partir de resíduos orgânicos, promovendo a sustentabilidade ambiental.

Euglena sp., é uma espécie de microalga unicelular eucariota, capaz de se desenvolver utilizando diferentes modos metabólicos, incluindo autotrófico, heterotrófico e mixotrófico. Esta espécie vem recebendo crescente atenção e interesse comercial por possuir capacidade de produzir compostos de alto valor agregado em sua biomassa e por possuir características nutricionais valiosas que podem ser uma fonte de proteína e outros nutrientes essenciais para a alimentação animal (KOTTUPARAMBI *et al.*, 2019).

H. illucens, conhecida popularmente como mosca-soldado-negro ou Black Soldier Fly (BSF), é uma espécie de mosca, cuja larvas (BSFL) são capazes de se alimentar de uma variedade de resíduos orgânicos, reduzindo o volume em um período curto, e transformando em proteína para alimentação animal de alta qualidade (SINGH; KUMARI, 2019).

OBJETIVO

O presente estudo, parte da preocupação com o reaproveitamento de resíduos em novos processos, aliado a busca por novas alternativas de biomassa na alimentação animal, visando promover a sustentabilidade e mitigar impactos ambientais.

Sendo assim, o propósito deste estudo é explorar as possibilidades de reaproveitamento do resíduo cervejeiro como matéria-prima para a criação de dois diferentes bioprodutos: a biomassa da microalga *Euglena* sp. e a biomassa de BSFL, visando sua posterior utilização na alimentação animal.

MATERIAL E MÉTODOS

• Caracterização do resíduo cervejeiro

Os resíduos do processo cervejeiro, considerados coprodutos residuais limpos, foram gentilmente cedidos por uma cervejaria artesanal da cidade de Santa Cruz do Sul/RS, Brasil. O malte foi coletado após o processo de produção do mosto e filtragem, o lúpulo após o processo de lupulagem e fervura, a levedura após o processo de fermentação. Estes resíduos foram centrifugados e filtrados para a separação líquido/sólido e refrigerados a 10 °C e submetidos a análises, conforme necessidade nutricional de cada organismo utilizado neste estudo.

Os resíduos líquidos (após serem misturada em partes iguais) foram submetidos à análise seguindo a metodologia analítica utilizada pelo laboratório de análise da Universidade de Santa Cruz do Sul, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (BAIRD *et al.*, 2017), onde analisou-se a quantidade de Fe, Ca, K, N (NO_3^- , NO_2^- e NH_3), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO) e fósforo total (PO_4^{3-}).

A parte sólida do resíduo foi encaminhada ao laboratório Unianálises, para avaliação nutricional conforme RDC n° 360, 2003 – ANVISA e Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 2017. Método n°14 e n° 46., onde analisou-se Carboidratos, Lipídio, Proteína e Fibra Bruta.

• Cultivo de *Euglena* sp. em resíduo líquido

A cepa da microalga *Euglena* sp. foi gentilmente cedida pelo Laboratório de Ficologia da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil (SISGEN A863DC8- UFSM) e mantida em meio mineral. O meio mineral utilizado para os cultivos foi o NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) da marca Yara Mila COMPLEX (12%, 11% e 18%) e mantidos em solução de 0,5 g L⁻¹ na proporção de 20% de inóculo e 80% de meio.

Os cultivos que foram suplementados com resíduo cervejeiro, receberam 5 mL do mesmo a cada 2 dias para um volume total de 1 L, completando uma suplementação de até 3% no final do experimento sendo realizados em triplicata em frascos Erlenmeyer de 2 L por 12 dias. Os experimentos foram conduzidos em uma sala climatizada a 23 °C, utilizando luz artificial fornecida por lâmpadas LED tubulares de 20,5 W, com uma média de 148 μmol fótons m⁻² s⁻¹. O fotoperíodo foi estabelecido como 12L:12D (ciclos de luz e escuridão) por meio de um temporizador digital programável T01 Luuk Young. A aeração artificial ocorreu através de mini compressores de ar (180 L s⁻¹, Boyu Sc7500).

O monitoramento foi realizado a cada 48 horas utilizando um espectrofotômetro UV/Vis ChromTech UV-1100, no comprimento de onda de 680 nm, para medir a densidade óptica (OD), e após o encerramento dos experimentos, os cultivos foram centrifugados a 3200 rpm e a biomassa seca em estufa (Solab SL-100/42) a 50 °C por no máximo 72h e a produtividade foi dada em biomassa seca (g L⁻¹ e g L⁻¹ d⁻¹) (LU *et al.*, 2017).

- **Bioconversão com BSFL em resíduo sólido**

A espécie é criada no Laboratório de Entomologia da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), em salas climatizadas com temperatura de $27 \pm 2^\circ \text{C}$, umidade relativa (UR) de $60 \pm 5\%$.

O desempenho de bioconversão foi avaliado utilizando um recipiente plástico que recebeu 30g de resíduo, acrescido de 70% de água (21 ml), e 100 larvas iniciais com cinco dias de idade.

Foram avaliados os seguintes parâmetros, conforme Bosch *et al.* (2020).

I. Ganho de biomassa (% , peso fresco)

= peso larval final – peso larval inicial x 100 equação (1)

II. Rendimento da biomassa

(g) biomassa produzida/(g) substrato consumido equação (2)

III. Eficiência de bioconversão (BE)

If – li/d x 100 equação (3)

Onde: D é a quantidade de dieta fornecida; If, peso larval final; li, peso larval inicial.

IV. Redução do substrato

Total do resíduo adicionado – resíduo após o tratamento/total de resíduo adicionado x 100 equação (4)

V. Taxa de conversão

Resíduo consumido/total de biomassa larval equação (5)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

VI. Caracterização do resíduo cervejeiro

Os resultados dos parâmetros analisados no resíduo cervejeiro encontram-se listados na tabela abaixo (tabela 1).

Tabela 1: Avaliação nutricional da fase líquida e sólida do resíduo cervejeiro.

Parâmetros	Concentração	Fase
Fe	0,07 mg L ⁻¹	Líquida
Ca	13,82 mg L ⁻¹	Líquida
K	466,40 mg L ⁻¹	Líquida
P-PO ₄ ³⁻	101,30 mg L ⁻¹	Líquida
N-NO ₃ ⁻	0,73 mg L ⁻¹	Líquida
N-NO ₂ ⁻	0,16 mg L ⁻¹	Líquida
N-NH ₃	31,23 mg L ⁻¹	Líquida
DBO ₅	9.124,1 mg L ⁻¹	Líquida
DQO	91798,9 mg L ⁻¹	Líquida
Carboidratos	60,00 g	Sólida
Lipídios	6,8 g	Sólida
Proteínas	22,3 g	Sólida
Fibra bruta	12,44%	Sólida

VII. Biomassa de *Euglena* sp.

A produtividade de biomassa do experimento que recebeu suplementação do resíduo líquido cervejeiro, foi significativamente maior a partir do sexto dia cultivo ($<0,0001$) quando comparado ao cultivo que não recebeu a suplementação. A produtividade média do cultivo sem suplementação foi de $1,033 \pm 0,1 \text{ g L}^{-1}$ com um aumento de $0,062 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, diferindo do cultivo com suplementação, com $1,888 \pm 0,2 \text{ g L}^{-1}$ com um aumento de $0,097 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Isso indica que os resíduos cervejeiros, ricos em nutrientes, estimulam o crescimento e desenvolvimento das microalgas, chegando a 56% a mais em produtividade de biomassa a cada dia.

Além disso, esta biomassa chegou a alcançar uma produtividade máxima de proteínas de $35,1 \pm 0,1\%$, indicando que esta biomassa pode ser utilizada na alimentação animal (AMENORFENYO *et al.*, 2019). A utilização desses resíduos como fonte de nutrientes para o cultivo de microalgas mostrou-se promissora, promovendo a obtenção de biomassa de *Euglena* sp. com potencialidade econômica.

A figura 1 abaixo representa a curva de crescimento da microalga, sendo comparada a resposta do crescimento quando suplementada com resíduo cervejeiro em relação a microalga não suplementada, expressa em biomassa (g L^{-1}). A comparação entre as duas curvas permite observar o impacto da suplementação com resíduo cervejeiro no crescimento da microalga. O uso de resíduo cervejeiro pode levar a um aumento significativo da produtividade de biomassa, demonstrando o potencial desse suplemento.

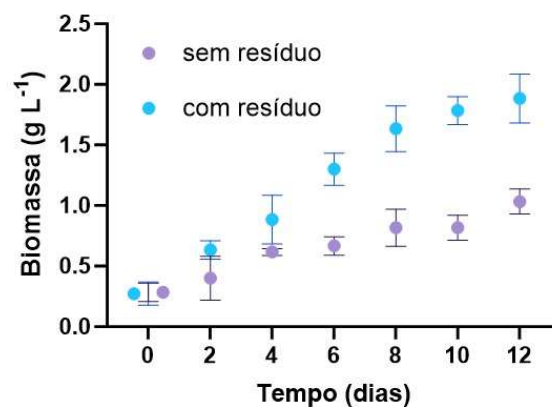


Figura 1: Resultado da curva de crescimento do cultivo com e sem a suplementação de resíduo cervejeiro.

VIII. Biomassa de BSFL

Os resultados mostram que a espécie pode se alimentar de resíduos cervejeiros, sem impacto significativo na sobrevivência ou no crescimento, apresentando um ótimo resultado na produção de biomassa larval, conforme tabela 2.

Tabela 2: Resultados dos parâmetros avaliados no teste de bioconversão de resíduo cervejeiro.

PARÂMETROS AVALIADOS	RESULTADOS
Ganho de biomassa %	$1074,5 \pm 53,7$
Rendimento de biomassa	$0,607 \pm 0,02$
Eficiência em bioconversão %	$35,81 \pm 1,79$
% redução do substrato	$58,06 \pm 0,70$
Taxa de conversão	$1,64 \pm 0,07$
Tempo de tratamento (dias)	$16 \pm 1,52$
Viabilidade larval %	$94 \pm 0,57$
Viabilidade ciclo completo %	$82,3 \pm 1,9$

A espécie é um agente valioso na recuperação de importantes nutrientes e na entrega de ingredientes de valor agregado com menores impactos ambientais. Na alimentação animal BSFL é classificada como concentrado proteico devido ao seu alto teor de proteína (20 a 65%), podendo assim substituir ingredientes como farinha de carne, ossos e vísceras, farinha de peixe e farelo de soja (HENRY *et al.*, 2015).

O cultivo de BSFL para a produção de proteína animal pode ser realizado em espaços relativamente pequenos e de forma vertical, reduzindo a pressão sobre a terra e os recursos hídricos. Isso contribui para uma pegada ambiental mais favorável em comparação com a produção convencional de proteína animal, que frequentemente envolve o desmatamento e o uso intensivo de recursos naturais (VAN HUIS *et al.*, 2015).

Além disso, o processo de bioconversão utilizando BSFL, também nos gera um outro produto de valor agregado, o chamado “*frass*”, que se refere ao excremento das larvas, juntamente com matéria orgânica não digerida. O *frass* de BSFL tem atraído atenção devido às suas propriedades potencialmente benéficas, incluindo seu valor como fertilizante orgânico (SCHMITT; DE VRIES, 2020).

CONCLUSÕES

O resíduo cervejeiro é considerado um subproduto industrial de baixo valor agregado e de pouca aplicabilidade na indústria alimentícia. Porém, esse resíduo apresenta um grande potencial para ser aplicado em tecnologias e bioprocessos, devido a suas características e composição, o que acaba motivando estudos que visam o seu reaproveitamento e valorização para fins mais nobres.

A microalga *Euglena* sp. é foco de vários estudos devido a sua versatilidade. Estes estudos comprovam o quanto este microrganismo pode ser importante para bioenergia, meio ambiente, saúde e alimentos nutritivos e funcionais. O uso de resíduo cervejeiro como suplemento para o cultivo de microalgas traz vantagens como custo reduzido, fonte de nutrientes, sustentabilidade, aumento da produção e facilidade de aplicação. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a produção de biomassa de *Euglena* sp. quando suplementação de resíduo de cervejaria, pode ser uma opção adequada para o cultivo alternativo desta espécie.

BSF é uma espécie considerada promissora entre os pesquisadores, por ser um excelente agente de compostagem com impacto ambiental mínimo. O uso de BSFL em resíduo cervejeiro, é uma tecnologia eficiente, nos proporcionando produtos sustentáveis com valor agregado.

A união do uso de microalgas com a produção de insetos é uma abordagem inovadora, que consegue combinar o potencial de ambos os organismos em transformar resíduos orgânicos em produtos valiosos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. AKHTARI, M. Prospective assessment for long-term impact of excessive solid waste generation on the environment. **Environment**, n. 6, 2000.
2. AMENORFENYO, D. K., X. HUANG, Y. ZHANG, Q. ZENG, N. ZHANG, J. REN e Q. HUANG (2019). "Microalgae Brewery Wastewater Treatment: Potentials, Benefits and the Challenges." *Int J Environ Res Public Health* 16(11).10.3390/ijerph16111910
3. BAIRD, R. B., A. D. EATON e E. W. RICE (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater, **American public health association Washington, DC**.
4. HENRY, M.; GASCO, L.; PICCOLO, G.; FOUNTOULAKI, E. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. **Animal Feed Science and Technology**, 203, p. 1-22, 2015.
5. KOTTUPARAMBIL, S., R. L. THANKAMONY e S. AGUSTI (2019). "Euglena as a potential natural source of value-added metabolites. A review." *Algal Research* 37: 154-159.10.1016/j.algal.2018.11.024
6. LU, L., G. YANG, B. ZHU e K. PAN (2017). "A comparative study on three quantitating methods of microalgal biomass." **Indian Journal of Geo-Marine Sciences** 46: 2265-2272.
7. MARCHÃO, L., T. L. DA SILVA, L. GOUVEIA e A. REIS (2017). "Microalgae-mediated brewery wastewater treatment: effect of dilution rate on nutrient removal rates, biomass biochemical composition, and cell physiology." **Journal of Applied Phycology** 30(3): 1583-1595.10.1007/s10811-017-1374-1.
8. PEREIRA, É. C.; DOS SANTOS, N. M. S.; FORMAGGINI, R. S.; DE OLIVEIRA, R. G. Geração de biogás a partir da biomassa do malte da fabricação de cervejas artesanais Biogas generation from the biomass of craft beer malt. **Brazilian Journal of Development**, 7, n. 10, p. 99933-99946, 2021.
9. RODRIGUEZ, L. M. et al. Protein recovery from brewery solid wastes. **Food Chemistry**, p. 134810, 2022.
10. SCHMITT, E.; DE VRIES, W. Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 25, p. 100335, 2020.
11. SINGH, A.; KUMARI, K. An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. **Journal of Environmental Management**, 251, p. 109569, 2019/12/01/ 2019.



12. VAN HUIS, A.; DICKE, M.; VAN LOON, J. J. Insects to feed the world. Wageningen Academic Publishers. 1: 3-5 p. 2015.
13. TOMBINI, C.; AGNOL, J. D.; CAPELEZZO, L.; GODOY, J. S. *et al.* Desenvolvimento, caracterização físico-química e análise sensorial de pães integrais adicionados de resíduo da fabricação de cerveja estilo Pilsen e Porter. **Research, Society and Development**, 9, n. 11, p. e499119274-e499119274, 2020.