

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE RESÍDUO DE MALTE PARA USO EM FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS

Dyonata E. Andzrevski[1]

[1]*Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil*
dyonatabrum@gmail.com

Palavras-Chave: economia circular, condicionador de solo, agricultura sustentável

Introdução

A degradação dos solos, associada à erosão, perda de matéria orgânica, compactação, acidificação e esgotamento nutricional, reduz a fertilidade e compromete a produtividade agrícola. A reposição adequada de nutrientes por meio de fertilizantes é essencial para manter o desenvolvimento das culturas; entretanto, a elevada dependência de fontes minerais não renováveis reforça a necessidade de alternativas que conciliem eficiência agronômica e menor impacto ambiental (LAL, 2015; FAGERIA et al., 2010).

Nesse contexto, o aproveitamento de resíduos agroindustriais representa uma estratégia de economia circular. Entre esses materiais, destaca-se o resíduo de malte proveniente da indústria cervejeira, também denominado Brewer's Spent Grain (BSG), composto principalmente por matéria orgânica, fibras, proteínas, carboidratos e minerais. Seu elevado teor de matéria orgânica pode favorecer a estrutura do solo, a retenção de água e nutrientes e a atividade microbiológica, características relevantes para sua utilização como componente de fertilizantes organominerais (MUSSATTO, 2014; LYNCH et al., 2016).

Os fertilizantes NPK fornecem nitrogênio (N), fósforo (expresso como P_2O_5) e potássio (expresso como K_2O), nutrientes essenciais ao metabolismo vegetal. O N está relacionado ao crescimento vegetativo e à formação de proteínas e clorofila; o P participa da transferência de energia e do desenvolvimento radicular; e o K atua na regulação osmótica, ativação enzimática e tolerância a estresses (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Para que resíduos orgânicos sejam aproveitados de forma segura e tecnicamente adequada, é necessário caracterizar sua composição físico-química e avaliar parâmetros relacionados à fertilidade e à presença de contaminantes.

Assim, este trabalho teve como objetivo caracterizar físico-quimicamente um resíduo de malte proveniente da produção de bebida alcoólica e avaliar seu potencial como matéria-prima orgânica para formulações de fertilizantes organominerais, considerando os resultados analíticos obtidos e os requisitos aplicáveis da Instrução Normativa MAPA nº 61/2020.

Material e Métodos

A amostra de resíduo de malte proveniente da cevada foi fornecida pela indústria cervejeira DART 72, localizada em Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul. Após o recebimento, o material foi mantido em recipiente fechado e sob refrigeração entre 4 e 8 °C, visando preservar sua umidade original e reduzir alterações da matéria orgânica antes das análises.

As determinações foram realizadas em triplicata. A umidade foi determinada pelo método 935.29; o teor de cinzas, por calcinação a 550 °C conforme o método AOCS Ba 5a-49, em material previamente seco, sendo o resultado considerado em base seca; e sódio e lítio, após calcinação e digestão ácida, por fotometria de chama. Para os demais metais, a amostra foi digerida com ácido nítrico concentrado, diluída e analisada por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), conforme BS EN 16711-1:2015. Foram

avaliados, entre outros, cálcio, ferro, potássio, zinco, magnésio, estrôncio, alumínio, cobre, manganês, arsênio, mercúrio, cádmio, chumbo, cromo, bário, níquel e cobalto.

O nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl (AOAC 920.87) e o resultado foi considerado na base da amostra in natura (base úmida). O pH foi obtido após extração aquosa e leitura em peagâmetro calibrado (ASBC, 2011), e a acidez titulável foi determinada com solução padrão de hidróxido de sódio e fenolftaleína como indicador (AOAC 942.15). O carbono orgânico foi quantificado por oxidação úmida com dicromato de potássio, conforme método oficial do MAPA, sendo expresso em base seca; a capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada por saturação dos sítios de troca com íons hidrogênio, deslocamento com acetato de cálcio e titulação, também conforme método oficial do MAPA.

O fósforo total (P) foi determinado após extração e digestão ácida, desenvolvimento de cor com reagente vanadato-molibdato e leitura espectrofotométrica em 470 nm. Para padronizar a comparação dos macronutrientes em uma mesma base analítica, os resultados de N, P e K obtidos na amostra in natura foram também recalculados para base seca, utilizando a umidade média de 78,48% (21,52% de matéria seca). Para as conversões, utilizaram-se os fatores $P_2O_5 = P \times 2,291$ e $K_2O = K \times 1,205$. Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão e comparados, quando aplicável, com dados da literatura e parâmetros regulatórios.

Resultados e Discussão

A caracterização físico-química evidenciou elevada umidade, com média de 78,48 ± 0,61%, valor compatível com a faixa de 70 a 80% relatada para esse tipo de resíduo. Esse resultado indica a necessidade de atenção ao armazenamento e ao processamento, pois teores elevados de água podem favorecer atividade microbiológica. Para aplicações em compostagem, a literatura citada no estudo indica faixa ideal de umidade de aproximadamente 55 a 65%, podendo ser necessária a mistura com materiais mais secos.

O teor de cinzas foi de 0,86 ± 0,044% em base seca, abaixo da faixa de 3 a 6% em base seca relatada por Mussatto (2014). Entre os elementos determinados, foram quantificados sódio, lítio, cálcio, ferro, potássio, zinco e magnésio (Tabela 1). Estrôncio, alumínio, cobre, manganês, arsênio, mercúrio, cádmio, chumbo, cromo, bário, níquel e cobalto não foram detectados nas condições analíticas empregadas. Para a interpretação desses resultados, os respectivos Limites de Quantificação do Método (LQM), expressos em mg kg^{-1}, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Resultados da caracterização físico-química do resíduo de malte

Parâmetro	Valor médio ± DP	Unidade
Umidade	78,48 ± 0,61	% (m/m)
Cinzas	0,86 ± 0,044	% (m/m)
Sódio	210,94 ± 15,32	mg kg^{-1}
Cálcio	266,50 ± 23,31	mg kg^{-1}
Ferro	27,19 ± 3,89	mg kg^{-1}
Potássio	94,19 ± 5,67	mg kg^{-1}
Zinco	15,94 ± 0,44	mg kg^{-1}
Magnésio	518,92 ± 45,64	mg kg^{-1}
Nitrogênio	0,80 ± 0,012	% (m/m)
pH	6,23 ± 0,064	-
Acidez	0,087 ± 0,018	% (v/m)
Carbono orgânico	45,64 ± 1,03	% (m/m)

Parâmetro	Valor médio ± DP	Unidade
CTC	280,7 ± 8,9	mmolc kg^{-1}
Fósforo total (P)	51,95 ± 2,19	mg kg^{-1}

Nota: cinzas e carbono orgânico estão expressos em base seca; nitrogênio, fósforo total (P) e potássio correspondem aos resultados analíticos na amostra in natura (base úmida). Os valores de N, P_2O_5 e K_2O padronizados para base seca são apresentados no texto.

Tabela 2 - Limites de Quantificação do Método (LQM) dos elementos não detectados

Metal	LQM (mg kg^{-1})	Metal	LQM (mg kg^{-1})
Estrôncio (Sr)	13,333	Arsênio (As)	0,267
Alumínio (Al)	13,333	Mercúrio (Hg)	0,013
Cobre (Cu)	2,667	Cádmio (Cd)	0,133
Manganês (Mn)	13,333	Chumbo (Pb)	0,667
Cromo (Cr)	3,333	Níquel (Ni)	1,333
Bário (Ba)	13,333	Cobalto (Co)	1,333

O nitrogênio total foi de 0,80 ± 0,012% na amostra in natura (base úmida). Considerando a umidade média de 78,48%, esse resultado corresponde a aproximadamente 3,72% em base seca, valor situado na faixa de 2,4 a 4,0% apresentada na literatura para resíduo de malte (MUSSATTO, 2014). O pH médio foi 6,23 ± 0,064, caracterizando o material como levemente ácido. A acidez titulável foi de 0,087 ± 0,018%, dentro da faixa de 0,05 a 0,20% relatada para resíduos de malte (ALIYU; BALA, 2011; MUSSATTO, 2014).

O carbono orgânico apresentou média de 45,64 ± 1,03% em base seca, compatível com os valores de 45 a 50% descritos para a biomassa de resíduo de malte (MUSSATTO, 2014; CASTRO; COLPINI, 2021). Esse resultado demonstra elevada fração orgânica, característica importante para a melhoria da estrutura do solo, retenção hídrica, atividade microbiológica e ciclagem de nutrientes. A CTC foi de 280,7 ± 8,9 mmolc kg^{-1}, situando-se na faixa de 200 a 350 mmolc kg^{-1} citada no estudo para biomassas lignocelulósicas semelhantes, o que evidencia capacidade relevante de retenção e troca de cátions.

O teor de fósforo total (P) foi de 51,95 ± 2,19 mg kg^{-1} na amostra in natura. Nessa base, a conversão corresponde a aproximadamente 0,0119% de P_2O_5, enquanto o teor de potássio de 94,19 ± 5,67 mg kg^{-1} corresponde a aproximadamente 0,0113% de K_2O. Após a padronização para base seca, a composição equivalente estimada foi de aproximadamente 3,72% de N, 0,0553% de P_2O_5 e 0,0527% de K_2O. Esses resultados caracterizam a contribuição nutricional do resíduo, mas não permitem, isoladamente, concluir pela adequação de uma formulação comercial. Os teores de P_2O_5 e K_2O permanecem modestos, indicando provável necessidade de complementação mineral em uma formulação organomineral final.

Em relação à Instrução Normativa MAPA nº 61/2020, os resultados obtidos sugerem potencial de aproveitamento do resíduo como matéria-prima orgânica, especialmente pelo teor de carbono orgânico e pela não detecção dos contaminantes inorgânicos avaliados nas condições do ensaio. Os respectivos LQM estão apresentados na Tabela 2. Entretanto, a adequação definitiva para uso comercial deve ser estabelecida a partir da formulação final do produto, da avaliação dos requisitos legais aplicáveis e de análises complementares de segurança e qualidade, incluindo avaliações microbiológicas.

Conclusões

O resíduo de malte analisado apresentou características de interesse para aproveitamento agrícola, destacando-se o teor de carbono orgânico de 45,64% em base seca, a CTC de 280,7 mmolc kg^{-1}, o pH de 6,23 e a não detecção de metais potencialmente tóxicos nas condições analíticas empregadas. Em conjunto, esses resultados indicam potencial para utilização do resíduo como fonte de matéria orgânica e componente de formulações

organominerais. A interpretação dos metais não detectados deve considerar os respectivos LQM apresentados na Tabela 2.

Após a padronização dos macronutrientes para base seca, a composição equivalente estimada foi de aproximadamente 3,72% de N, 0,0553% de P_2O_5 e 0,0527% de K_2O. Embora o teor de nitrogênio seja relevante na base seca, os teores de P_2O_5 e K_2O são baixos, de modo que uma eventual formulação organomineral deverá ser avaliada e, quando necessário, complementada com fontes minerais para atingir as características e garantias pretendidas no produto final.

Conclui-se que o resíduo de malte apresenta potencial de aplicação como matéria-prima orgânica em fertilizantes organominerais. Contudo, não se estabelece adequação definitiva do resíduo ou de um produto comercial nesta etapa, pois essa conclusão depende da avaliação da formulação final, do atendimento aos requisitos legais e agronômicos aplicáveis e da realização de análises complementares, especialmente microbiológicas, incluindo Salmonella e coliformes termotolerantes.

Agradecimentos

À Prof.ª Dr.ª Janice da Silva (UNISINOS), coordenadora de Eng. Química e Alimentos, pela orientação; à téc. Monique Sipp, pelo apoio; à DART 72, pela amostra; e ao IBTeC, pela infraestrutura.

Referências

ALIYU, S.; BALA, M. Brewer's spent grain: a review of its potentials and applications. African Journal of Biotechnology, v. 10, n. 3, p. 324-331, 2011.

AOAC INTERNATIONAL. Official Methods of Analysis of AOAC International. 21. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2019.

AOCS - AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. Champaign: AOCS, 1990.

ASBC - AMERICAN SOCIETY OF BREWING CHEMISTS. Methods of Analysis. Method Beer-9: pH of Malt. St. Paul: ASBC, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Brasília: MAPA, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. Estabelece as normas sobre fertilizantes orgânicos e biofertilizantes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 2020.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS EN 16711-1:2015. Determination of Metal Content - Part 1: Method Using Microwave Digestion Followed by ICP-OES or ICP-MS. London: BSI, 2015.

CASTRO, L. E. N.; COLPINI, L. M. S. All-around characterization of brewers' spent grain. European Food Research and Technology, 2021.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. Growth and mineral nutrition of field crops. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. Sustainability, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015.

LYNCH, K. M. et al. Brewers' spent grain: biochemistry, valorization, and application. Journal of Cereal Science, v. 72, p. 85-90, 2016.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARSCHNER, P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MUSSATTO, S. I. Brewers' spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 94, n. 7, p. 1264-1275, 2014.

TCHOUNWOU, P. B.; YEDJOU, C. G.; PATLOLLA, A. K.; SUTTON, D. J. Heavy metal toxicity and the environment. EXS, v. 101, p. 133-164, 2012.