DESENVOLVIMENTO DE INGREDIENTES FUNCIONAIS POR FERMENTAÇÃO DO BAGAÇO DA FÉCULA DE MANDIOCA

Elvis Henrique Lazarin (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Jaqueline Ferreira Silva, Paula Toshimi Matumoto Pintro (Orientador). E-mail: ptmpintro@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Ciências Agrárias/ Agronomia
Palavras-chave: Fermentação mista; Produção de metabólitos; Reaproveitamento de resíduo.

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é amplamente utilizada na alimentação e na indústria, porém o processamento para obtenção de fécula gera grandes volumes de resíduos com potencial poluente. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo obter compostos bioativos a partir da fermentação do resíduo de mandioca utilizando fermentação estilo kombucha e *Bacillus subtilis*. Foram avaliados os teores de compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante pelos métodos DPPH e ABTS. Os resultados demonstraram que o resíduo apresentou elevado potencial como substrato fermentativo, evidenciado pela redução do pH e pelas alterações nos sólidos solúveis totais, indicando a produção de metabólitos pelos microrganismos. A atividade antioxidante permaneceu elevada entre os tratamentos, enquanto as amostras autoclavadas apresentaram aumento significativo dos compostos fenólicos totais, atribuído à liberação de compostos fenólicos ligados à matriz celular. Assim, a fermentação do resíduo de mandioca mostrou-se uma estratégia promissora para sua valorização, permitindo a obtenção de compostos com potencial funcional e antioxidante e contribuindo para o aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais.

INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma importante cultura agrícola, cujo processamento para obtenção de fécula gera grandes volumes de bagaço, um resíduo rico em carboidratos e fibras que, quando descartado inadequadamente, causa impactos ambientais (FIORDA et al., 2013). Em razão de sua composição, esse resíduo apresenta elevado potencial para processos fermentativos, possibilitando sua valorização e a obtenção de compostos bioativos de interesse industrial e funcional (PANDEY et al., 2000). Entre as estratégias de valorização destacam-se a fermentação estilo kombucha e a fermentação com *Bacillus subtilis*, microrganismos capazes de produzir metabólitos de interesse, como ácidos orgânicos, enzimas e antioxidantes (BARROS et al., 2024). Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial da fermentação do bagaço de mandioca por esses dois processos para a obtenção de compostos bioativos com potencial aplicação como ingredientes funcionais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O bagaço de mandioca foi coletado em uma agroindústria de Nova Esperança-PR, liofilizado, triturado, peneirado (45 mesh) e armazenado protegido da luz. A composição centesimal (umidade, proteínas, lipídios, fibras, cinzas e carboidratos) foi determinada conforme metodologias da AOAC (2005), sendo os lipídios determinados pelo método de Bligh e Dyer (1959).

Foram avaliados dois processos fermentativos: fermentação estilo kombucha (FEK) e fermentação com *Bacillus subtilis* ATCC 6633 (FBS). Foram desenvolvidas quatro formulações para os processos fermentativos: Controle, composta por chá verde, líquido start e celulose microbiana; F1, contendo os mesmos componentes do controle acrescidos de 7,5 g de resíduo de mandioca; F2, composta por chá verde, líquido start, celulose microbiana, 7,5 g de resíduo de mandioca e 3 mL de *Bacillus subtilis*; e F3, formulada com chá verde, 7,5 g de resíduo de mandioca e 3 mL de *Bacillus subtilis*, sem adição de líquido start e celulose microbiana.

A fermentação foi conduzida por 14 dias a 25 ± 2 °C. Ao final de 7 e 14 dias, determinaram-se pH, sólidos solúveis totais (°Brix), compostos fenólicos totais (Singleton & Rossi, 1965) e atividade antioxidante pelos métodos DPPH (Li et al., 2009) e ABTS (Re et al., 1999). Parte das amostras foi submetida à autoclavagem (121 °C/15 min). Os resultados foram expressos como média ± desvio-padrão e analisados por ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do resíduo de mandioca

A caracterização do resíduo de mandioca demonstrou elevado potencial para aplicação em processos fermentativos (Tabela 2). O resíduo apresentou 75,39% de carboidratos. A caracterização do resíduo de mandioca revelou baixo teor de umidade (5,22 ± 0,38%) e lipídios (0,30 ± 0,18%), além de elevados teores de carboidratos (75,39%) e fibra bruta (15,07 ± 0,29%), enquanto o conteúdo de proteínas foi de 2,42 ± 0,46%. Esses resultados demonstram o elevado potencial do resíduo como substrato para processos fermentativos e para a produção de ingredientes funcionais. As análises de proteínas e lipídios complementaram a caracterização do resíduo. Assim, o bagaço de mandioca mostrou-se uma matéria-prima promissora para processos fermentativos e para a obtenção de compostos de valor agregado, representando uma alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos gerados pela indústria da fécula.

Caracterização do processo fermentativo

O chá verde (*Camellia sinensis*) utilizado como substrato apresentou elevados teores de compostos fenólicos totais (620,20 ± 50,71 mg GAE g^{-1}) e atividade antioxidante (92,09 ± 0,85% para DPPH e 82,25 ± 6,74% para ABTS), evidenciando seu potencial para os processos fermentativos. Esses resultados refletem a elevada concentração de compostos fenólicos presentes no chá verde, principalmente catequinas e flavonoides, reconhecidos por sua elevada atividade antioxidante (LUO et al., 2024). Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstraram que ambos os processos fermentativos ocorreram de forma efetiva,

evidenciada pela redução do pH e pelas alterações nos sólidos solúveis totais (°Brix). A diminuição do pH está relacionada à produção e liberação de ácidos orgânicos durante a fermentação, enquanto o aumento do °Brix, observado principalmente na formulação F3, indica o acúmulo de metabólitos produzidos pelos microrganismos, como ácidos orgânicos, etanol, glicerol e aminoácidos (VARGAS et al., 2026).

Tabela 3. Caracterização das formulações obtidas utilizando fermentação mista.

	Controle	F1	F2	F3
Dia 7				
CFT	$707,12^{aC} \pm 29,62$	$357,45^{bC} \pm 23,16$	$386,20^{bC} \pm 19,31$	$150,58^{cC} \pm 77,93$
DPPH (%)	$93,16^{aA} \pm 0,33$	$93,10^{aA} \pm 0,11$	$93,11^{aA} \pm 0,14$	$89,83^{bA} \pm 1,95$
pH	$1,32^{cG} \pm 0,04$	$1,78^{bEF} \pm 0,04$	$1,73^{bEFG} \pm 0,05$	$2,79^{aAB} \pm 0,18$
SST	$7,18^{aABC} \pm 0,35$	$6,17^{bBC} \pm 0,1$	$5,49^{bC} \pm 0,38$	$7,30^{aABC} \pm 0,00$
Dia 14				
CFT	$856,14^{aC} \pm 77,21$	$473,79^{bC} \pm 34,56$	$481,63^{bC} \pm 33,63$	$500,59^{bC} \pm 18,58$
DPPH (%)	$93,11^{aA} \pm 0,08$	$87,57^{aA} \pm 16,18$	$93,26^{aA} \pm 0,17$	$88,02^{aA} \pm 4,17$
pH	$2,02^{cDE} \pm 0,01$	$2,43^{bcBCD} \pm 0,03$	$2,49^{bBC} \pm 0,32$	$2,97^{aA} \pm 0,35$
SST	$6,40^{bBC} \pm 0,30$	$5,42^{cC} \pm 0,20$	$6,47^{bBC} \pm 0,1$	$7,53^{aABC} \pm 0,06$
Dia 14 (Autoclavado)				
CFT	$3480,98^{aA} \pm 295,29$	$2486,86^{abB} \pm 598,21$	$2277,71^{abB} \pm 275,77$	$1946,99^{bB} \pm 549,67$
DPPH(%)	$92,35^{aA} \pm 0,44$	$88,80^{aA} \pm 5,87$	$92,33^{aA} \pm 0,54$	$90,92^{aA} \pm 1,31$
ABTS (%)	$70,07^{a} \pm 8,57$	$62,29^{a} \pm 10,16$	$68,11^{a} \pm 9,50$	$74,42^{a} \pm 11,63$
pH	$1,41^{bFG} \pm 0,03$	$1,78^{bEF} \pm 0,04$	$1,78^{bEF} \pm 0,11$	$2,32^{aCD} \pm 0,29$
SST	$8,84^{aAB} \pm 1,54$	$6,02^{aC} \pm 1,04$	$6,60^{aBC} \pm 0,61$	$9,47^{aA} \pm 2,05$

Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. Médias com letras minúsculas diferentes diferem em colunas para as 4 formulações (controle, F1, F2 e F3), médias com letras maiúsculas diferentes diferem entre os tempos analisados (7, 14 e 14 dias autoclavado) para a diferentes formulações para $p < 0,05$. CFT: compostos fenólicos totais (mg GAE g^{-1}), SST: Sólidos Solúveis Totais (°Brix).

Após a autoclavagem, todas as formulações apresentaram aumento significativo dos compostos fenólicos totais, independentemente do processo fermentativo, resultado atribuído à ruptura da parede celular e à liberação de compostos fenólicos anteriormente ligados à matriz vegetal (ACOSTA-ESTRADA et al., 2014). Esse comportamento também é relatado em alimentos submetidos a tratamentos térmicos (SILVA et al., 2018). Além disso, a atividade antioxidante permaneceu elevada durante a fermentação e após a autoclavagem, demonstrando a estabilidade dos compostos antioxidantes presentes nas amostras.

CONCLUSÕES

Os processos fermentativos se mostraram eficiente para obtenção de metabólitos, destacando-se principalmente para produção de compostos bioativos, produzindo

compostos 5 vezes a mais quando comparados ao substrato inicial. O resíduo de mandioca não afetou o processo fermentativo e a fermentação mista estilo kombucha foi o método fermentativo que apresentou resultados significativos, produzindo compostos de alto valor agregado e de aplicação em diferentes áreas, como alimentícia, cosmética, farmacêutica ou até mesmo como insumos para sistemas alternativos. e claro. A formatação deve ser Arial 12, com espaço simples e parágrafo justificado.

REFERÊNCIAS

ACOSTA-ESTRADA, B. A. *et al.* Bound phenolics in foods: a review. *Food Chemistry*, v. 152, p. 46-55, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.093. Acesso em: 2 jul. 2026.

AOAC. *Official methods of analysis of AOAC International*. 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

BARROS, V. C. *et al.* Alternative substrates for the development of fermented beverages analogous to kombucha: an integrative review. *Foods*, v. 13, n. 11, art. 1768, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/foods13111768. Acesso em: 2 jul. 2026.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959. Disponível em: https://doi.org/10.1139/o59-099. Acesso em: 2 jul. 2026.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Brazilian Journal of Biometrics*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.28951/RBB.V37I4.450. Acesso em: 2 jul. 2026.

FIORDA, F. A. *et al.* Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 43, n. 4, p. 408-416, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000400005. Acesso em: 2 jul. 2026.

LI, J.; ZHANG, M.; ZHENG, T. The in vitro antioxidant activity of lotus germ oil from supercritical fluid carbon dioxide extraction. *Food Chemistry*, v. 115, p. 939-944, 2009.

LUO, Q. *et al.* Biological potential and mechanisms of tea's bioactive compounds: an updated review. *Journal of Advanced Research*, v. 65, p. 345-363, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.12.004. Acesso em: 2 jul. 2026.

PANDEY, A. *et al.* Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: cassava bagasse. *Bioresource Technology*, v. 74, p. 81-87, 2000. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00143-1. Acesso em: 2 jul. 2026.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 26, p. 1231-1237, 1999.

SILVA, G. G. *et al.* Processing methods with heat increases bioactive phenolic compounds and antioxidant activity in grape juices. *Journal of Food Biochemistry*, v. 43, e12732, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1111/jfbc.12732. Acesso em: 2 jul. 2026.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, v. 16, p. 144-158, 1965.