



CONTEÚDO TOTAL, DIGESTIBILIDADE E BIOACESSIBILIDADE DE MINERAIS EM FARINHAS DE CANAS-DE-AÇÚCAR

C. S. Borba¹, C. G. Gomes², M. A. Vieira³, S. D. dos A. e Silva⁴, R. C. Zambiasi⁵, G. da S. C. Borges^{5*}

1 – Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Universidade Federal do Pelotas – CEP: 96010-900 – Pelotas – RS – Brasil, Telefone: (53) 3275-7284 – e-mail: (cris.borba1997@gmail.com)

2 – Laboratório de Metrologia Química - Centro de Ciências Químicas Farmacêuticas e de Alimentos – Universidade Federal do Pelotas – CEP: 96010-900 – Pelotas – RS – Brasil, Telefone: (53) 3275-7354 e-mail: (charliegomesii@gmail.com)

3 - Laboratório de Metrologia Química - Centro de Ciências Químicas Farmacêuticas e de Alimentos – Universidade Federal do Pelotas – CEP: 96010-900 – Pelotas – RS – Brasil, Telefone: (53) 3275-7354 e-mail: (maryanavieira@hotmail.com)

4 – EMBRAPA Clima Temperado – CEP: 96010-971 – Pelotas – RS – Brasil, Telefone: (53) 3275-8147 e-mail: (sergio.anjos@embrapa.br)

5 - Laboratório de Compostos Bioativos e Alimentos Funcionais - Centro de Ciências Químicas Farmacêuticas e de Alimentos – Universidade Federal do Pelotas – CEP: 96010-900 – Pelotas – RS – Brasil, Telefone: (53) 3275-7354 e-mail: (zambiasi@gmail.com)

5 - Laboratório de Compostos Bioativos e Alimentos Funcionais - Centro de Ciências Químicas Farmacêuticas e de Alimentos – Universidade Federal do Pelotas – CEP: 96010-900 – Pelotas – RS – Brasil, Telefone: (53) 3275-7354 e-mail: (gracieleborges@gmail.com)

RESUMO – Este estudo avaliou a digestibilidade e a bioacessibilidade dos minerais Zn, Fe, K, Mg, Mn, Ca e Na, em diferentes farinhas da cana-de-açúcar. Para isso, foi utilizado o ensaio de digestão gastrointestinal *in vitro* conforme o protocolo padronizado INFOGEST 2.0, além da quantificação dos minerais por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por micro-ondas (MIP-OES). A matéria-prima utilizada foi a variedade RB 867515 da cana-de-açúcar, da qual foram produzidas duas farinhas: farinha da cana-de-açúcar integral (FCI) e a farinha de colmo de cana-de-açúcar (FCC). Ambas as farinhas demonstraram contribuir significativamente para a ingestão diária recomendada (IDR) de minerais essenciais, especialmente Mn (60,5-73,2%), K (17,8-18,7%), Fe (16,8-19,3%) e Zn (16,8-19,3%). FCI destaca-se com maiores índices de bioacessibilidade para Zn (93,4%), Fe (17,7%), K (71%), Mg (63,8%) e Mn (63,2%). Esses resultados indicam que a farinha do colmo da cana-de-açúcar, especialmente na forma integral, é uma alternativa promissora para inserção e fortificação de minerais na alimentação humana.

ABSTRACT – This study evaluated the digestibility and bioaccessibility of the minerals Zn, Fe, K, Mg, Mn, Ca and Na in different sugarcane flours. The analysis was conducted using an *in vitro* gastrointestinal digestion assay following the standardized INFOGEST 2.0 protocol, along with



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

mineral quantification through microwave-induced plasma optical emission spectrometry (MIP-OES). Sugarcane stalks of the RB 867515 variety were processed to obtain two types of flour: whole sugarcane flour (WSF) and sugarcane stalk flour (SSF). Both flours showed significant contributions to the recommended daily intake (RDI) of essential minerals, particularly manganese (60.5–73.2%), potassium (17.8–18.7%), iron (16.8–19.3%), and zinc (16.8–19.3%). The WSF exhibited higher mineral bioaccessibility indices, with Zn at 93.4%, Fe at 17.7%, K at 71%, Mg at 63.8%, and Mn at 63.2%. These findings highlight sugarcane stalk flour—especially in its whole form—as a promising alternative for enhancing mineral intake through the diet.

PALAVRAS-CHAVE: digestão gastrointestinal; ingestão diária; MIP-OES;

1. INTRODUÇÃO

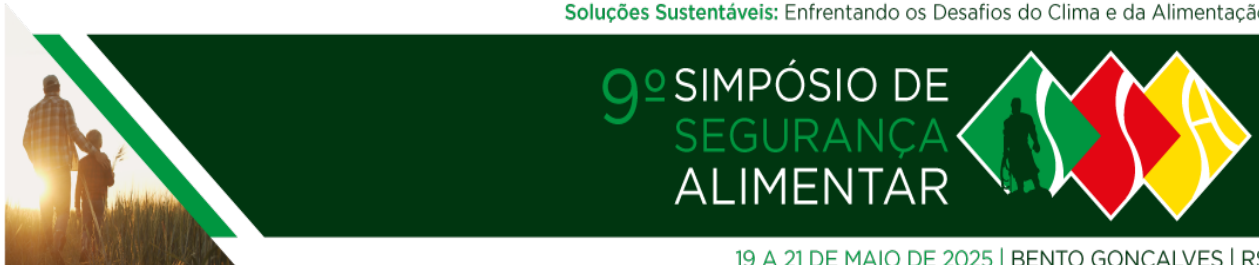
Na safra de 2023/2024, o Brasil registrou a maior produção histórica, alcançando 713,2 milhões de toneladas. A região Sudeste lidera como principal produtora, sendo responsável por 91% da população total do país (CONAB, 2023). O cultivo da cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul tem apresentado um crescimento significativo ao longo dos anos, impulsionado por investimentos no desenvolvimento de novas variedades adaptadas ao clima regional e pela ampliação das áreas de plantio (CONAB, 2024).

Nesse contexto, a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) desempenha um papel fundamental na criação de variedades da série RB, que apresentam maior resistência às condições climáticas da região. Dentre essas variedades, destaca-se a RB867515, recomendada para o cultivo no estado devido à sua adaptabilidade e produtividade.

No RS, a produção dos derivados de cana-de-açúcar artesanal se destaca representado por 40% agroindústrias familiares gerando renda para diversas famílias, assumindo um importante papel social e econômico (CONAB, 2024).

No mercado consumidor, um aumento no consumo de açúcar mascavo pelo mercado dos produtos *clean label* (alimentos com uma composição mais próxima ao natural e sustentáveis) devido a seu processo de fabricação e a grande variedade de minerais, como Fe, Ca, P, K, Mg, Cu, Mn, Na e Zn, vitaminas (A, C, D), carboidratos (sacarose, glicose e frutose), e compostos bioativos oriundos da cana-de-açúcar (Alarcón *et al.*, 2021), justificando o aumento do consumo destes derivados.

Estudos recentes destacam a importância de avaliar a digestibilidade, a capacidade do sistema digestório de quebrar e digerir nutrientes presentes nos alimentos por meio das enzimas digestivas, e ainda a bioaccessibilidade dos nutrientes, ou seja, a fração dos nutrientes digeridos que estão disponíveis para absorção no intestino (Grundhy, 2024).



Diante deste contexto, este estudo tem como objetivo a determinação do conteúdo, digestibilidade e bioacessibilidade de minerais em farinhas de cana-de-açúcar cultivada na região sul do RS, utilizando um sistema de digestão gastrointestinal *in vitro*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coletas dos colmos e produção das farinhas de cana-de-açúcar

Os colmos das canas-de-açúcar da variedade RB867515, cultivados na Estação Experimental da Embrapa Clima Temperado, em Pelotas, Brasil, foram coletados durante os meses de julho a outubro referentes à safra de 2023/2024. Após a coleta, os colmos foram transportados para o laboratório experimental da EMBRAPA Clima Temperado. Os colmos foram divididos em dois grupos: um grupo com colmos inteiros, destinados à produção da farinha de cana integral (FCI), e outro com colmos descascados, destinados à produção da farinha do colmo de cana-de-açúcar (FCC). A inovação foi protegida por meio de pedido de patente. Todas as farinhas obtidas foram peneiradas, padronizando-se a granulometria em aproximadamente 0,3 mm (peneira 48 mesh). Por fim, o material foi acondicionado em embalagens plásticas e armazenadas em temperatura ambiente entre 22°C com controle de umidade, até a realização das análises.

2.2 Determinação do perfil de minerais por MIP-OES

A determinação das concentrações de minerais (Zn, Fe, K, Mg, Mn, Ca e Na) foi realizada utilizando um espectrômetro de emissão óptica com plasma induzido por micro-ondas (MIP-OES) da Agilent Technologies, modelo MP AES 4200 (Melbourne, Austrália). Para a digestão das farinhas, uma alíquota de 0,1g da farinha e 5 mL de ácido nítrico 65% foram adicionados a um tubo de digestão. O processo de digestão foi realizado em um bloco digestor convencional (Marconi, modelo MA 4025, Brasil) a 150 °C por 4h. Na sequência, 1 mL de peróxido de hidrogênio foi adicionado à solução, posteriormente transferida para um tubo de polietileno e diluída com água deionizada até atingir volume final de 25 mL (Souza *et al.*, 2019). Todos ensaios foram realizados em triplicata.

2.3 Digestão gastrointestinal *in vitro*

O modelo de digestão estática *in vitro* foi realizado de acordo com o método INFOGEST 2.0. (Brodkord *et al.*, 2019). Em cada etapa da digestão, as amostras foram centrifugadas por 10 min a 4.000 rpm, com as frações solúveis armazenadas a -18 °C.



2.4 Análise estatística

Todos os experimentos foram realizados em triplicatas. Os resultados são expressos em média \pm desvio padrão (DP) e foram submetidos ao Teste de T ($p < 0,05$) para avaliar as diferenças estatísticas entre as médias, com o auxílio do software Statistica versão 7.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conteúdo total de minerais, digestibilidade e bioacessibilidade das farinhas FCI e FCC são apresentados na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1 – Conteúdo total e bioacessibilidade de minerais nas farinhas de cana-de-açúcar integral (FCI) e do colmo (FCC)

Minerais (mg/100g)	RB867515 (FCI)				RB867515 (FCC)			
	Conteúdo total (mg /100g)	FB	Resíduo	% Bio	Conteúdo total (mg/100g)	FB	Resíduo	% Bio
Zn	1,60 ^a \pm 0,12	1,49	3,06 \pm 0,08	93,4	1,83 ^a \pm 0,11	1,56	0,55 \pm 0,17	85,3
Fe	2,32 ^a \pm 0,09	0,41	2,01 \pm 0,15	17,7	2,43 ^a \pm 0,23	0,40	2,27 \pm 0,09	16,8
K	1084 ^a \pm 1,25	775,43	88,71 \pm 0,11	71,5	1036,92 ^a \pm 1,55	741,95	93,53 \pm 4,93	71,5
Mg	37,31 ^a \pm 0,59	23,82	7,13 \pm 0,16	63,8	39,94 ^a \pm 2,33	25,73	8,46 \pm 0,52	64,4
Mn	1,24 ^a \pm 0,08	0,82	0,30 \pm 0,01	66,3	1,50 ^a \pm 0,17	0,89	0,32 \pm 0,06	59,2
Ca	60,53 ^a \pm 1,96	<LD	<LD	-	71,38 ^a \pm 0,02	<LD	<LD	-
Na	7,10 ^a \pm 1,13	<LD	78,10 \pm 2,10	-	7,45 ^a \pm 0,05	<LD	60,93 \pm 2,82	-

Valores expressos em mg/100g peso seco. Médias do conteúdo total de minerais seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem significativamente pelo teste - T ($p < 0,05$). < LD: menor que o limite de detecção do método; FB: fração bioacessível; Resíduo: conteúdo de mineral na fração não digerida; % Bio: porcentagem do conteúdo do mineral na fração bioacessível.

As farinhas de cana-de-açúcar apresentam-se como uma nova fonte relevante de minerais essenciais para a saúde humana. Conforme apresentado na Tabela 1, as farinhas são fontes de Zn, Fe, K, Mg, Mn, Ca e Na, não evidenciando diferença estatística entre as diferentes farinhas ($p > 0,05$). Entre os minerais presentes, destaca-se o Mn na farinha FCI fornece aproximadamente 60,5% da ingestão diária recomendada (IDR) para adultos, uma vez que a FCC fornece aproximadamente 73,2% da IDR, evidenciando o potencial da farinha como uma excelente fonte desse mineral. Outro mineral com conteúdo relevante, é o K que contém 36,1% da IDR na farinha FCI, e 34,5% da IDR na farinha FCC.

As farinhas de cana-de-açúcar apresentam-se como uma nova fonte relevante de minerais essenciais para a saúde humana. Conforme apresentado na Tabela 1, as farinhas são fontes de Zn, Fe, K, Mg, Mn, Ca e Na, não evidenciando diferença estatística entre as diferentes farinhas ($p > 0,05$).



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

Entre os minerais presentes, destaca-se o Mn na farinha FCI fornece aproximadamente 60,5% da ingestão diária recomendada (IDR) para adultos, já a FCC fornece aproximadamente 73,2% da IDR, evidenciando o potencial da farinha como uma excelente fonte desse mineral. Outro mineral com conteúdo relevante, o K que contém 36,1% da IDR na farinha FCI. Já na farinha FCC o conteúdo de 34,5% da IDR.

Em menores quantidades estão presentes o Fe e Zn contribuindo com 18,7% e 19,3% da IDR, respectivamente. Já a farinha FCI apresenta menor quantidade de 17,8% e 16,8% da IDR, de Fe e Zn, respectivamente.

O K apresentou maior conteúdo nas farinhas em comparação com os demais, e alta bioacessibilidade 71% em ambas farinhas. Esses valores evidenciam alto índices quando comparados aos observados na farinha de soja e farinha de arroz, cuja a fração bioacessível de potássio entre 18,9% a 21% (Souza *et al* 2018; Narita *et al.*, 2024).

A bioacessibilidade de Zn nas farinhas FCI e FCC foi de 93,4 e 85,3%, respectivamente. Em comparação com o estudo de Ferreira (2021), que analisou a farinha de aveia e encontrou uma fração bioacessível de 72%, observa-se que as farinhas de cana-de-açúcar apresentam como uma fonte deste mineral.

Já em relação ao Mg e Mn, as farinhas apresentam similaridade com 63,8% (FCI) e 64,4% (FCC), já para o Mg o índice de 63,2% (FCI) e 59,2% (FCC).

A variabilidade no índice de bioacessibilidade presença de diversos compostos nos alimentos, como fitatos, fosfatos, oxalatos, taninos, carbonatos e fibras, podem influenciar negativamente a bioacessibilidade desses minerais (Ferreira e Tarley, 2020; Houssni *et al.*, 2024). A precisão dos resultados obtidos empregando a metodologia do MIP-OES foi verificado pelo balanço de massa (concentração total = fração bioacessível + resíduo) demonstrando resultados entre 80 a 120%.

3 CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que a farinha de cana-de-açúcar possui potencial para ser explorada como fonte de minerais. Além disso, este foi o primeiro estudo a avaliar a bioacessibilidade de Zn, Fe, K, Mg, Mn, Ca e Na em farinhas de cana-de-açúcar, evidenciando o Zn e K os minerais com alta bioacessibilidade, seguidos por Mg e Mn.

AGRADECIMENTOS



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e à EMBRAPA pelo apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARCÓN, A. L.; PALACIOS, L. M.; OSORIO, C.; NARVÁRES, P. C.; HEREDIA, F. J.; ORJUELA, A.; HERMANZ, D. Chemical characteristics and colorimetric properties of non-centrifugal cane sugar (“panela”) obtained via different processing technologies. **Food Chemistry**, v. 340, 128183, 2021.

BRODKORB, A., EGGER, L., ALMINGER, M., et al. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. **Nature protocols**.v.14, p.991 – 1014, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar** – v.11– Safra 2023/24, n.4 – Quarto levantamento, p. 1-52, Abril 2024. Disponível em: <http://www.conab.gov.br> ISSN 2318-7921.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de cana-de-açúcar. Brasília, v. 11 – Safra 2023/24, n. 3 – Terceiro levantamento. P. 1- 56, novembro 2023.

FERREIRA, P. M., TARLEY, T. R. C. Assessment of *in vitro* bioaccessibility of macrominerals and trace elements in green banana flour. **Journal of Food Composition and Analysis**,v. 92. 2020.

GRUNDY, M. M. L., MOUGHAN, P. J., WILDE, P. J. Bioaccessibility and associated concepts: needs consensus. **Trends in Food Science and Technology**, v.124, 2024.

HOUSSNI, E. I., ZAHID, A., KHEDID, K., HASSIKOU, R. Nutrient and anti-nutrient composition of durum, soft and red wheat landraces: Implications for nutrition and mineral bioavailability. **Journal of Agriculture and Food Research**, v.15, 2024.

RIDESA - Rede Intraruniversitária para o desenvolvimento do setor sucroenergético. Catálogo Nacional de Variedades “RB” de Cana-de-açúcar. Curitiba, p.136, 2010. Disponível em: <https://www.ridesa.com.br/variedades>.

SOUZA, O. A., PEREIRA, C. C., HELING, I. A. ORESTE, E. Q., CADORE, S., RIBEIRO, A. S., VIEIRA, M. A. Determination of total concentration and bioaccessible fraction of metals in infant cereals by MIP OES. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.77, p. 60-65, 2019.