

DO COCO À CHAMA: INVESTIGANDO MICRONUTRIENTES EM BEBIDAS NATURAIS E PROCESSADAS POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

Eduarda Valois Cunha¹; Marcella Purificação Di Girolamo¹; Gabriela P. Montalvão¹; Juliene A. C. Teixeira¹; Thiago de Souza Cruz¹; Sulene Alves de Araujo¹; Marcelo Eça Rocha¹; Daniel de Melo Silva¹, Jeferson Chagas do Nascimento¹

¹ Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB – Campus de Jequié/BA – Av. José Moreira Sobrinho S/N – saraajo@uesb.edu.br

Palavras-Chave: Metais Essenciais (Fe, Cu, Zn e Mn), Água de Coco Natural e Processada

Introdução

A água de coco é amplamente consumida no Brasil e em outros países tropicais, destacando-se não apenas pelo sabor agradável e efeito refrescante, mas também por sua composição nutricional, que inclui carboidratos, aminoácidos, vitaminas e minerais. Entre os minerais presentes, destacam-se ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), considerados essenciais ao metabolismo humano por participarem de reações enzimáticas, transporte de oxigênio, processos antioxidantes e no fortalecimento do sistema imunológico (SOUZA et al., 2019). A concentração desses elementos em alimentos e bebidas, no entanto, pode variar em função de fatores como características do solo, utilização de fertilizantes, condições de cultivo e até mesmo a adição de conservantes durante o processamento industrial (MARSCHNER, 2012).

Embora micronutrientes sejam necessários em pequenas quantidades, sua deficiência ou excesso pode gerar sérios problemas de saúde. O ferro, por exemplo, é essencial para a formação da hemoglobina, mas concentrações elevadas podem provocar efeitos tóxicos (ALLOWAY, 2013). O cobre, em níveis adequados, atua em processos enzimáticos, porém pode causar distúrbios hepáticos em excesso. O zinco e o manganês desempenham papéis importantes em reações antioxidantes e no metabolismo, mas também apresentam limites máximos de ingestão tolerável (FERREIRA et al., 2020). Assim, a determinação confiável desses metais em alimentos e bebidas é crucial para garantir a segurança alimentar e avaliar a qualidade nutricional.

Devido às baixas concentrações de metais presentes na água de coco, torna-se necessário o uso de técnicas analíticas sensíveis e seletivas. A espectrometria de absorção atômica (FAAS) com chama é amplamente utilizada para esse tipo de análise, sendo considerada uma metodologia robusta, precisa e eficiente para a determinação de elementos traço em alimentos e bebidas (SKOOG; HOLLER; CROUCH, 2017). Essa técnica permite identificar variações de concentração em diferentes amostras e monitorar possíveis contaminações durante processos de conservação e industrialização (SILVA et al., 2018).

Pesquisas recentes relatam diferenças significativas na composição mineral de amostras de água de coco provenientes de distintas regiões do Brasil, evidenciando a influência de fatores edafoclimáticos e de práticas agrícolas (OLIVEIRA et al., 2017). Além disso, o processamento industrial pode alterar o teor natural de minerais, seja pela adição de conservantes, seja por perdas durante o envase, o que reforça a importância de estudos comparativos entre amostras in natura e processadas (APOSTOLIDIS et al., 2012).

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar as concentrações de ferro, cobre, zinco e manganês em amostras de água de coco in natura e processadas, utilizando a espectrometria de absorção atômica com chama como técnica analítica. Como pré-tratamento, empregou-se a diluição em meio ácido, buscando reduzir interferências e assegurar maior confiabilidade dos resultados.

A justificativa para este estudo fundamenta-se na relevância nutricional e comercial da água de coco, cujo consumo vem crescendo nos últimos anos, tanto no mercado interno quanto internacional. Avaliar a composição mineral deste produto é essencial para verificar sua

qualidade, rastrear possíveis contaminações e compreender os impactos do processamento industrial em sua composição química. Além disso, os resultados podem contribuir para a discussão sobre a variabilidade nutricional decorrente de diferenças regionais no cultivo, fornecendo subsídios importantes para consumidores, produtores e órgãos reguladores. Assim, este trabalho busca aliar rigor científico e aplicabilidade prática, demonstrando como a análise instrumental pode ser utilizada como ferramenta para monitorar a qualidade de alimentos e bebidas amplamente consumidos, destacando a água de coco como um modelo de estudo relevante tanto para a área acadêmica quanto para a indústria de alimentos.

Material e Métodos

O presente estudo foi conduzido com o objetivo de determinar as concentrações de ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) em amostras de água de coco in natura e processadas. As amostras in natura foram coletadas diretamente de frutos recém-abertos provenientes de diferentes localidades do Estado da Bahia, enquanto as amostras processadas foram adquiridas no comércio local. Todas foram armazenadas em frascos de polietileno previamente descontaminados por lavagem com solução de ácido nítrico (HNO_3 10% v/v) e enxágue com água ultrapura, a fim de evitar contaminações externas. Para estabilização dos analitos e redução de possíveis interferências, realizou-se a diluição das amostras em meio ácido, utilizando solução de HNO_3 1% (v/v) como etapa de pré-tratamento.

As análises foram realizadas em espectrômetro de absorção atômica com chama (FAAS) modelo Analyst 200 (Perkin Elmer, Norwalk), equipado com sistema de correção de fundo por lâmpada de deutério e lâmpadas de cátodo oco (HCL) específicas para cada elemento. Os comprimentos de onda utilizados foram: Cu ($\lambda = 324,7$ nm), Mn ($\lambda = 279,6$ nm), Fe ($\lambda = 248,3$ nm) e Zn ($\lambda = 213,9$ nm). A chama empregada foi de ar/acetileno, com fluxo ajustado de acordo com as recomendações do fabricante para cada determinação. As curvas de calibração foram preparadas individualmente para cada elemento, utilizando soluções padrão multielementares certificadas, com concentrações ajustadas para abranger a faixa esperada de concentração dos analitos. Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram estabelecidos a partir de três e dez vezes o desvio-padrão da leitura do branco, respectivamente, resultando em LD de $0,004 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Fe, $0,019 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Cu, $0,067 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Zn e $0,041 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Mn, e LQ de $0,015 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Fe, $0,064 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Cu, $0,223 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Zn e $0,135 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Mn.

As amostras foram analisadas em triplicata, de modo a assegurar reprodutibilidade e confiabilidade nos resultados obtidos. Após cada sequência de determinações, leituras de amostras brancas foram realizadas para monitorar possíveis contaminações ao longo do procedimento. O tratamento estatístico dos dados envolveu o cálculo da média aritmética e do desvio-padrão, sendo aplicados testes de comparação entre as amostras de água de coco in natura e processadas por meio de análise de variância (ANOVA) de uma via. Quando identificadas diferenças significativas, utilizou-se o teste de Tukey para comparação múltipla, considerando nível de significância de 95% ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software Statistica 10.0 (StatSoft).

Resultados e Discussão

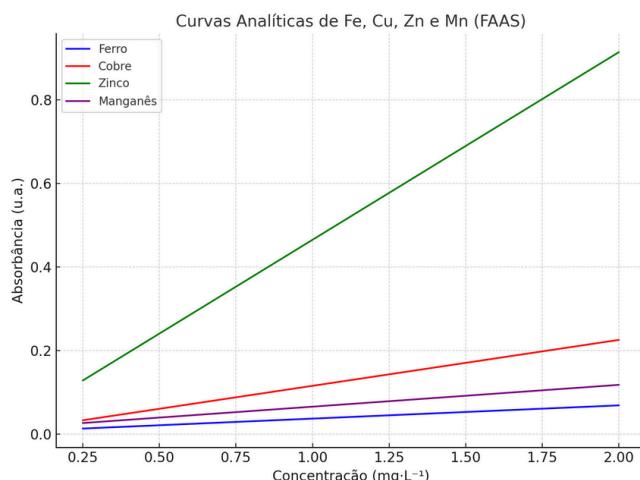
A avaliação da linearidade dos métodos analíticos empregados neste estudo constitui um aspecto essencial para a confiabilidade dos resultados. A linearidade é caracterizada pela capacidade do método em gerar respostas diretamente proporcionais à concentração dos analitos em determinada faixa de trabalho. Essa relação é descrita matematicamente pela equação da reta ($Y = bX + a$), em que Y corresponde ao sinal analítico e X à concentração do analito. As curvas de calibração obtidas para os elementos ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) apresentaram equações lineares com elevados coeficientes de correlação (R), indicando bom ajuste entre os valores medidos e as concentrações teóricas. A Tabela 1 resume os parâmetros obtidos, evidenciando coeficientes de correlação superiores a 0,96, valor

considerado aceitável segundo recomendações internacionais de validação de métodos analíticos (RIBANI et al., 2004). Na Figura 1 mostra as curvas de calibração obtidas, onde se observa a boa linearidade entre a absorbância e a concentração dos padrões.

Tabela 1 - Parâmetros obtidos, evidenciando coeficientes de correlação

Elemento	Característica da curva	Equação da regressão linear	Coeficiente de correlação	Faixa de concentração ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
Ferro	Medida direta	$A = 0,0317C + 0,005$	0,9931	0,250 – 2,000
Cobre	Medida direta	$A = 0,1099C + 0,0053$	0,9970	0,250 – 2,000
Zinco	Medida direta	$A = 0,4489C + 0,0159$	0,9982	0,250 – 2,000
Manganês	Medida direta	$A = 0,0522C + 0,0131$	0,9610	0,250 – 2,000

Figura 1. Curvas analíticas na medida direta de Fe, Cu, Zn e Mn.



No que se refere aos limites de detecção (LD) e quantificação (LQ), os valores obtidos foram adequados para a determinação dos metais em concentrações típicas encontradas em matrizes alimentares. Os LD encontrados foram de $0,067 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Zn), $0,019 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Cu), $0,004 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Fe) e $0,041 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Mn), enquanto os LQ foram de $0,223 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Zn), $0,064 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Cu), $0,015 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Fe) e $0,135 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Mn). Esses valores encontram-se em conformidade com limites relatados por Santos (2011) e reforçam a adequação do método para a análise da água de coco. A baixa concentração do cobre nas amostras, frequentemente abaixo do limite de quantificação, pode ser atribuída tanto ao fato de este elemento estar presente em níveis traço quanto à eficiência limitada da técnica para concentrações muito reduzidas, corroborando achados de Nunes et al. (2017).

As concentrações dos elementos Fe, Zn e Mn nas amostras de água de coco in natura estão apresentadas na Tabela 2. Verificou-se que o ferro esteve presente em níveis detectáveis apenas em três amostras, variando entre $0,232$ e $0,337 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, enquanto nas demais amostras os valores ficaram abaixo do LQ. O cobre esteve ausente em todas as amostras, confirmando sua baixa concentração característica desta matriz. O zinco apresentou concentrações variando entre $0,147$ e $0,337 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, enquanto o manganês se destacou com valores mais elevados, de $1,250$ a $2,457 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. A Tabela 2 mostra os teores de metais encontrados.

Tabela 2- Teores de ferro, cobre, zinco e manganês em amostras de água de coco in natura ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Amostra	Fe	Cu	Zn	Mn
1	0,242	---	0,337	1,307
2	0,232	---	0,294	2,457
3	0,337	---	0,251	2,208
4	< LQ	---	0,228	2,073
5	< LQ	---	0,157	2,250
6	< LQ	---	0,230	1,250
7	< LQ	---	0,214	1,575
8	< LQ	---	0,147	1,818
9	< LQ	---	0,211	2,022

Em relação às amostras de água de coco industrializadas (Tabela 3), observou-se ausência de ferro, cobre e zinco em todas as marcas analisadas, enquanto o manganês apresentou concentrações significativas, variando de 1,110 a 3,632 mg·L⁻¹.

Tabela 3. Teores de ferro, cobre, zinco e manganês em amostras de água de coco industrializada (mg·L⁻¹).

Marca	Fe	Cu	Zn	Mn
A	< LQ	---	---	3,632
B	< LQ	---	---	3,140
C	< LQ	---	---	1,110

A presença de manganês em concentrações elevadas é consistente com estudos prévios, que apontam esse elemento como predominante na água de coco, com papel essencial na fisiologia vegetal e relevância nutricional para humanos (SILVA et al., 2015). No entanto, a ausência de ferro e zinco em diversas amostras processadas pode estar relacionada a perdas durante o processamento industrial ou à variação natural da composição, dependente do tipo de solo e práticas agrícolas (PRADO et al., 2010).

Os resultados indicam que a água de coco é uma fonte importante de manganês, com concentrações que variaram entre 1,110 e 3,632 mg·L⁻¹, valores compatíveis com os encontrados por Barboza et al. (2016), que relataram concentrações médias próximas de 2,0 mg·L⁻¹ em amostras do Nordeste brasileiro. No entanto, a variabilidade entre marcas comerciais sugere influência de fatores como origem geográfica, tipo de processamento e adição de conservantes. A ausência de cobre em todas as amostras reforça sua característica de ocorrência em níveis traço, o que está de acordo com os achados de Lima et al. (2013).

De modo geral, as diferenças observadas entre as amostras in natura e industrializadas evidenciam que o processamento pode impactar a composição mineral da água de coco, principalmente no que se refere ao ferro e ao zinco. Esses resultados reforçam a importância da aplicação de técnicas analíticas sensíveis, como a espectrometria de absorção atômica com chama, para monitorar a qualidade nutricional de bebidas de origem natural e verificar possíveis alterações relacionadas ao processamento.

Conclusões

A determinação dos teores de ferro, cobre, zinco e manganês em amostras de água de coco in natura e processadas por espectrometria de absorção atômica com chama permitiu

avaliar a composição mineral dessa bebida natural e compreender as possíveis alterações decorrentes do processamento industrial. Os resultados mostraram que o manganês é o elemento predominante, estando presente em concentrações expressivas tanto nas amostras in natura quanto nas industrializadas, o que confirma a água de coco como uma fonte relevante desse micronutriente essencial. O zinco apresentou variações consideráveis entre as amostras analisadas, enquanto o ferro foi detectado apenas em algumas amostras in natura, encontrando-se abaixo do limite de quantificação nas processadas. O cobre, por sua vez, esteve ausente em todas as amostras, corroborando sua ocorrência em níveis traço nessa matriz.

A comparação entre as amostras in natura e industrializadas evidenciou que o processamento pode influenciar a composição mineral, principalmente em relação ao ferro e ao zinco, cujas concentrações foram reduzidas ou não detectadas após o envasamento. Essa constatação reforça a importância do monitoramento da qualidade nutricional da água de coco, considerando que fatores como solo, práticas agrícolas, adição de conservantes e processamento podem impactar diretamente o perfil mineral.

Os objetivos da pesquisa foram plenamente atendidos, uma vez que foi possível aplicar a espectrometria de absorção atômica com chama como técnica sensível, confiável e adequada para a determinação direta dos elementos estudados, com limites de detecção compatíveis às baixas concentrações presentes na matriz. Assim, o estudo contribui para a caracterização da água de coco comercializada no Estado da Bahia e evidencia a relevância da utilização de métodos analíticos robustos na avaliação da qualidade de alimentos e bebidas.

Agradecimentos

À UESB pelo apoio financeiro e infraestrutura disponibilizada e ao PROFQUI pela oportunidade de formação e pesquisa científica.

Referências

- ALLOWAY, B. J. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. 3. ed. Dordrecht: Springer, 2013.
- APOSTOLIDIS, E. et al. Determination of mineral content in tropical beverages using atomic absorption spectroscopy. Food Chemistry, v. 134, n. 1, p. 250-256, 2012.
- BARBOZA, H. T. G.; MELO, A. S.; SOUSA, L. F.; ALVES, J. J. S. Determinação de minerais em água de coco por espectrometria de absorção atômica. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 38, n. 3, p. 1-9, 2016.
- FERREIRA, R. A. et al. Determinação de metais traço em frutas e derivados por espectrometria de absorção atômica. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, v. 56, n. 2, p. 113-120, 2020.
- LIMA, D. C.; GOMES, M. P.; PEREIRA, J. L. Análise de macro e microminerais em água de coco: avaliação nutricional. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 33, n. 2, p. 347-354, 2013.
- MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3. ed. London: Academic Press, 2012.
- NUNES, R. V.; OLIVEIRA, F. A.; SANTOS, M. A. Determinação de metais traço em alimentos por espectrometria de absorção atômica: aspectos metodológicos. Química Nova, v. 40, n. 6, p. 684-692, 2017.

OLIVEIRA, J. M. et al. Avaliação de minerais em água de coco: comparação entre amostras in natura e industrializadas. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 37, n. 1, p. 125-132, 2017.

PRADO, G. M.; ROCHA, M. S.; CAVALCANTI, L. F. Influência do solo e do manejo agrícola na composição mineral de alimentos. Revista Ceres, v. 57, n. 3, p. 321-329, 2010.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C. B. G.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F.; MELO, L. F. C. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. Química Nova, v. 27, n. 5, p. 771-780, 2004.

SANTOS, V. S. Determinação de metais pesados em alimentos por espectrometria de absorção atômica: limites de detecção e quantificação. 2011. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SILVA, M. A.; CARVALHO, C. A.; SOUZA, F. R. Avaliação do teor de minerais em água de coco do Nordeste brasileiro. Revista Ciência Agronômica, v. 46, n. 2, p. 295-303, 2015.

SILVA, T. C. et al. Determinação de metais em bebidas e alimentos por espectrometria de absorção atômica. Química Nova, v. 41, n. 9, p. 1021-1028, 2018.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. Princípios de Análise Instrumental. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

SOUZA, D. C. et al. Composição mineral de frutas tropicais e implicações nutricionais. Revista de Nutrição, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2019.