

## CAPÍTULO 3

# DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO TOTAL E DA BIOACESSIBILIDADE DE Fe, Mn E Zn EM PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS POR ESPECTROMETRIA ATÔMICA EM CHAMA

*Data de submissão: 08/04/2024*

*Data de aceite: 03/06/2024*

### **Emanuéli do Nascimento da Silva**

Departamento de Química - DEQUI,  
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas -  
ICEB, Universidade Federal de Ouro Preto  
– UFOP.  
Ouro Preto – Minas Gerais.  
<http://lattes.cnpq.br/8251783028314240>

### **João Carlos Viana Malta**

Escola de Nutrição - ENUT, Universidade  
Federal de Ouro Preto – UFOP.  
Ouro Preto – Minas Gerais.  
<http://lattes.cnpq.br/4369630647732996>

### **Maria Stela Vilas Boas**

Departamento de Química - DEQUI,  
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas -  
ICEB, Universidade Federal de Ouro Preto  
– UFOP.  
Ouro Preto – Minas Gerais.  
<http://lattes.cnpq.br/7331459250505029>

### **Louise Aparecida Mendes**

Departamento de Química - DEQUI,  
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas -  
ICEB, Universidade Federal de Ouro Preto  
– UFOP.  
Ouro Preto – Minas Gerais.  
<http://lattes.cnpq.br/1015379949837398>

**RESUMO:** As plantas são utilizadas como alimento, seja de forma direta ou indireta como, por exemplo, na alimentação de animais criados para o consumo humano. Com a crescente do comércio, surgiu o modelo do agronegócio, onde o lucro é o objetivo do negócio. Tal dinâmica traz problemas ambientais, incluindo o risco a certas espécies de plantas nativas, fazendo que o potencial dessas plantas (tanto econômico, quanto alimentício) seja pouco conhecido. Muitas dessas espécies são denominadas PANCs (Plantas Alimentícias Não Convencionais), as quais possuem partes ou porções que podem ser consumidas. As PANCs não são amplamente estudadas, por isso, este trabalho teve como objetivo determinar os teores de umidade e de Fe, Mn e Zn em azedinha, capuchinha, peixinho da hora e vinagreira, bem como a bioacessibilidade de tais elementos. A determinação da umidade indicou percentuais de 94,5; 88,4; 81,2 e 85,8 nas plantas azedinha, capuchinha, peixinho da horta e vinagreira, respectivamente. Quanto a determinação da concentração total dos elementos, os resultados mostraram que o peixinho da horta apresentou a maior concentração de Fe (10,55 mg/100 g de planta fresca), a

azedinha se destacou em relação as demais plantas na concentração de Mn (2,114 mg/100 g), enquanto a capuchinha apresentou o maior teor de Zn (0,7186 mg/100g). Considerando a bioacessibilidade, o Mn apresentou os maiores valores (25-67%) e o Fe os menores (1,17-8,10%). De uma forma geral, a concentração dos elementos variou de PANC para PANC, pois a quantidade de minerais pode variar de acordo com o comportamento de absorção e acúmulo dos elementos pela planta, bem como com o solo em que a PANC foi cultivada. Por fim, foi possível observar que a bioacessibilidade variou de acordo com a concentração total do elemento e com base nos constituintes da planta, como teores de fibras e presença de antocianinas, por exemplo.

**PALAVRAS-CHAVE:** PANCs, elementos metálicos, digestão gastrointestinal *in vitro*, espectrometria atômica, preparo de amostra.

## DETERMINATION OF THE TOTAL CONCENTRATION AND BIOACCESSIBILITY OF Fe, Mn AND Zn IN NON-CONVENTIONAL FOOD PLANTS BY ATOMIC FLAME SPECTROMETRY

**ABSTRACT:** Plants are used as food, either directly or indirectly, for example to feed animals raised for human consumption. With the rise of commerce, the agribusiness model has emerged, where profit is the business objective. This dynamic brings environmental problems, including the risk to certain species of native plants, making the potential of these plants (both economic and food) not so much known. Many of these species are called PANCs (Non-Conventional Food Plants), which have parts or portions that can be eaten. PANCs have not been widely studied, which is why this study aimed to determine the moisture content and Fe, Mn and Zn in azedinha, capuchinha, peixinho da horta and vinagreira, as well as the bioaccessibility of these elements. The determination of moisture indicated percentages of 94.5; 88.4; 81.2 and 85.8 in the azedinha, capuchinha, peixinho da horta and vinagreira plants, respectively. As for determining the total concentration of the elements, the results showed that the peixinho da horta had the highest concentration of Fe (10.55 mg/100 g of fresh plant), the azedinha stood out from the other plants in terms of Mn concentration (2.114 mg/100 g), while the capuchinha had the highest Zn content (0.7186 mg/100 g). In terms of bioaccessibility, Mn had the highest values (25-67%) and Fe the lowest (1.17-8.10%). In general, the concentration of elements varied from PANC to PANC, as the amount of minerals can vary according to the plant's absorption behavior and accumulation of the elements, as well as the soil in which the PANC was grown. Finally, it was possible to observe that bioaccessibility varied according to the total concentration of the element and based on the constituents of the plant, such as fiber content and the presence of anthocyanins, for example.

**KEYWORDS:** PANCs, metallic elements, *in vitro* gastrointestinal digestion, atomic spectrometry, sample preparation.

## INTRODUÇÃO

Em toda a história da humanidade, variedades de plantas têm sido utilizadas como alimentos, seja de forma direta ou indireta (por exemplo, na alimentação de animais criados para o consumo humano). A utilização de plantas com finalidade alimentícia é uma alternativa de subsistência para comunidades rurais, contribuindo com a economia regional e local (Barbosa et al., 2021).

A modernização da agricultura trouxe a complexidade na relação entre o agronegócio e os agricultores familiares. Com as barreiras impostas pelo mercado e a baixa viabilidade da produção, é difícil para a agricultura familiar concorrer com o agronegócio, ficando evidente a insustentabilidade do ponto de vista socioambiental, já que, nesse modelo, a maximização do lucro e da produção é o objetivo principal desse modelo de negócio (Barbosa et al., 2021).

Com a modernização da agricultura, algumas espécies correm risco de extinção, resultado do domínio do agronegócio como modelo comercial. Para o agronegócio, espécies de plantas espontâneas ou silvestres são, muitas vezes, consideradas “daninhas”, “inços” ou “matos”, fazendo com que suas utilidades e potencialidades econômicas sejam pouco conhecidas. Muitas dessas espécies são conhecidas como plantas alimentícias não convencionais (PANCs), as quais carecem de mais estudos (Botrel et al., 2020).

As PANCs são plantas que possuem parte(s) ou porções que podem ser consumidas pelo ser humano, porém não são ou são pouco usadas para essa finalidade. Em outras palavras, são plantas que podemos consumir, mas não o fazemos. Também são consideradas PANCs partes de plantas convencionais que não são consumidas normalmente, como as folhas de beterraba e as folhas da cenoura, por exemplo (Pereira dos Santos et al., 2021).

Essas plantas são facilmente encontradas em diversos locais, como jardins e quintais e, até mesmo, em calçadas de rua, como, por exemplo, a planta major-gomes. As PANCs podem ser nativas, silvestres, exóticas, cultivadas e ainda, essas plantas podem colonizar áreas degradadas. Dependendo da região e tradição culinária, as PANCs são consideradas plantas convencionais (Pereira dos Santos et al., 2021).

Nesse trabalho quatro PANCs foram estudadas, sendo elas: azedinha (*Rumex acetosa* L.); capuchinha (*Tropaeolum majus* L.); peixinho da horta (*Stachys byzantina* K. Koch); e vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L.).

A azedinha possui sabor ácido avinagrado, o qual tem agradado o gosto do consumidor. Pertencente à família *Polygonaceae*, atinge de 25 a 55 cm de altura e forma touceiras com dezenas de propágulos. Normalmente é encontrada em estado silvestre em regiões de clima ameno da Europa e Ásia sendo, no Brasil, cultivada do Rio Grande do Sul a Minas Gerais; contudo, raramente floresce nas condições climáticas brasileiras. Suas folhas podem ser consumidas *in natura* ou cozidas. Embora apresente alto teor de oxalato

de cálcio (um fator antinutricional), o que limita o consumo para pessoas que sofrem de problemas renais, a azedinha contém quantidades significativas de vitaminas A, B e C (Lima, 2015; Ranieri et al, 2017).

A capuchinha é nativa das regiões montanhosas do México e Peru e Aparece pelos terrenos entre o inverno e a primavera, alastrando-se com facilidade. É rica em vitamina C, Ca, K, Zn, antocianina e flavonoides, sendo uma planta bastante versátil e toda parte aérea possui ampla utilização, como planta medicinal, melífera, hortaliça não-convencional e ornamental. Na medicina popular o seu uso se dá pelas propriedades antiescorbútica e antisséptica, a infusão de suas folhas, secas ou frescas, são utilizadas como diuréticos e desinfetante das vias urinárias, o suco das folhas juntamente com o leite é utilizado com expectorante e afecções pulmonares (Reis, 2006; Kelen et al., 2015).

O peixinho da horta, orelha de coelho, lambari de folha, lambari da horta, pulmonária, entre outros nomes, tem origem na Turquia, Ásia e Cáucaso; porém, pode ser encontrada em regiões de clima ameno, com temperaturas entre 5 e 30 °C. No Brasil, é cultivada nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. É uma herbácea perene, atinge cerca de 30 cm de altura e forma touceiras com dezenas de propágulos. É uma planta rústica, com baixas exigências e bastante tolerante ao ataque de pragas e doenças. Entretanto, é uma planta pouco encontrada em grandes mercados, sendo geralmente comercializada em feiras de produtos agroecológicos. Suas folhas se destacam quanto ao teor de proteínas. O peixinho da horta é usualmente consumido empanado e frito e tem ganhado adeptos do vegetarianismo estrito devido ao seu teor elevado de proteínas, quando comparado com outras plantas. Contudo, pouco se sabe do potencial alimentício e nutricional dele (Azevedo, 2018; Kelen et al., 2015; Ranieri et al., 2017).

A vinagreira destaca-se como uma das hortaliças de uso expressivo, tanto do ponto de vista alimentar como fonte de renda para numerosas famílias que dela tiram seu sustento. A origem da planta é muito discutida; há referências que indicam origem da África tropical e a Índia. Concretamente, sabe-se que sua distribuição abrange os continentes africano, asiático, europeu e americano. No Brasil, a vinagreira foi introduzida provavelmente por meio do tráfico de escravizados. É conhecida popularmente como hibisco, hibiscus, rosélia, groselha, azedinha, quiabo azedo, caruru-azedo, caruru-da-guiné e quiabo-de-angola, entre outros. Os cálices podem ser utilizados na decoração de pratos, como saladas, no preparo de geleias, doces, sucos, xaropes, gelatinas, vinho, vinagre, molhos ou ser consumidos *in natura*. Os cálices do hibisco são muito utilizados na medicina popular, para tratar hipertensão arterial, usado como antisséptico, afrodisíaco, adstringente, digestivo, diurético e estomacal, para abscessos, e doenças cardíacas (Freitas; Santos; Moreira, 2013).

A maioria das pessoas não tem conhecimento que muitas PANCs possuem maiores quantidades de nutrientes que as hortaliças chamadas de convencionais. Contudo, observa-se que há poucos estudos sobre a composição dessas plantas, o que pode levar o seu potencial de consumo e mercado ser estrito em culturas locais, prejudicando o consumo delas como complementos na dieta alimentar (Peres, 2021).

Algo importante a ser destacado aqui é que, embora a concentração de alguns nutrientes nas PANCs seja elevada, o conhecimento da concentração total de um nutriente não indica se o consumo de uma determinada planta vai ser totalmente benéfico e/ou suficiente para prover a nutrição desejada, pois a concentração total não nos dá informações da quantidade do nutriente que é passível de ser absorvida pelo organismo. Deve-se então ressaltar que a concentração de um nutriente e/ou espécie tóxica que pode ser retida pelo organismo depende, principalmente, dos seguintes parâmetros: conteúdo total da espécie química nos alimentos; fração do conteúdo total extraído durante a digestão gastrointestinal (bioacessibilidade); e quantidade da espécie química que é realmente absorvida e aproveitada pelo organismo (biodisponibilidade) (do Nascimento da Silva, 2016)

O termo bioacessibilidade é definido como a fração do nutriente que é liberado de sua matriz no trato gastrointestinal, tornando-se disponível para a efetiva absorção intestinal. Já o termo biodisponibilidade, do ponto de vista nutricional, considera a quantidade do nutriente ingerido que está disponível para uso das funções fisiológicas do organismo, ou que será estocado para usos futuros. Geralmente, somente pequenas quantidades de todos os nutrientes presentes em um alimento são efetivamente usadas pelo organismo (Fernández-Garcia et al., 2009; do Nascimento da Silva, 2016).

Considerando o supracitado e que o consumo de PANCs vem crescendo, sendo a tendência uma maior popularização dessas plantas com o passar dos anos, o presente trabalho teve o objetivo de dar uma contribuição para o conhecimento dos teores total e bioacessível de Fe, Mn e Zn em algumas PANCs.

## MATERIAS E MÉTODOS

### Amostras

As plantas estudadas: azedinha (*Rumex acetosa* L.); capuchinha (*Tropaeolum majus* L.); peixinho da horta (*Stachys byzantina* K. Koch); e vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L.); foram adquiridas com agricultores familiares da região de Ouro Preto - MG.

### Teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade, foi adotado o método de secagem a 105 °C, o qual consistiu em pesar ~10g das amostras em cadinho de porcelana e levar para uma estufa por, pelo menos três horas. Após esse tempo, a cápsula foi resfriada em dessecador até a temperatura ambiente e pesada (IAL, 2008).

## Determinação da concentração total de Fe, Mn e Zn

Para a determinação da concentração total dos elementos nas plantas, utilizou-se a mineralização em forno de micro-ondas (Mars 6, CEM). Para isso, ~0,3 g das plantas secas foram pesadas em frascos de teflon, onde foram adicionados 5 mL de ácido nítrico concentrado (65% m/m) e 3 mL de peróxido de hidrogênio a 30% m/m. A mistura foi levada ao forno de micro-ondas com um programa de aquecimento já estabelecido para amostras vegetais (do Nascimento da Silva et al., 2018 & 2019). Após a mineralização, as amostras foram convenientemente diluídas e analisadas por espectrometria de absorção atômica em chama (F AAS, SpectrAA 50B, Varian).

## Determinação da concentração bioacessível

Para determinação da concentração bioacessível (bioacessibilidade), utilizou-se um método de digestão gastrointestinal *in vitro* padronizado para diferentes amostras alimentícias (Minekus et al., 2014; do Nascimento da Silva et al., 2018 & 2019). Assim, ~5 g das plantas frescas foram pesados em erlenmeyers, onde as amostras foram misturadas com uma solução salina contendo amilase, sendo essa etapa chamada de digestão salivar. A mistura permaneceu em incubadora com agitação orbital por 10 minutos a 37 °C, visando simular as condições fisiológicas.

Para uma segunda etapa, ou seja, etapa de digestão gástrica, uma solução salina ácida contendo pepsina foi adicionada à mistura, e para a terceira etapa, a etapa de digestão intestinal, uma solução salina contendo extrato de sais de bile e pancreatina foi também adicionada. Em ambas as etapas 2 e 3 o tempo de incubação foi de duas horas.

Ao final das 4 horas de digestão gastrointestinal, a mistura resultante foi levada a banho de gelo, visando cessar a atividade das enzimas, e então foi submetida à centrifugação. O sobrenadante, onde se encontra a fração bioacessível dos elementos, foi coletado e analisado por F AAS.

## Figuras de mérito

Os métodos analíticos foram validados a partir da avaliação da precisão e da exatidão. Não foi possível calcular os limites de detecção e quantificação, pois as medidas para os brancos sempre retornaram um valor igual a zero. A exatidão foi determinada utilizando-se um material de referência certificado (NIST 1570a, Trace Elements in Spinach Leaves). A precisão foi avaliada a partir da observação do desvio relativo (RSD) das medidas. Todas as análises foram feitas em triplicata utilizando o espectrômetro de absorção atômica em chama. As recuperações obtidas a partir para o material de referência foram comparadas com os valores de recuperação recomendados, bem como os desvios padrão relativos para diferentes níveis de concentração do analito na amostra (AOAC 2016; INMETRO, 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes de se determinar as concentrações dos elementos, bem como a bioacessibilidade, o teor percentual de umidade foi determinado e é apresentado na Tabela 1.

PANC	Umidade (%)
Azedinha	94,5 ± 0,0
Capuchinha	88,4 ± 0,7
Peixinho da horta	81,2 ± 0,6
Vinagreira	85,8 ± 0,6

Tabela 1. Teor percentual de umidade nas plantas estudadas (n = 3).

É possível observar que os percentuais obtidos no presente trabalho apresentaram-se maiores que aqueles obtidos no estudo realizado por Botrel et al. (2020), o qual indica valores de 92,1; 82,2; 75,3 e 81,5% para azedinha, capuchinha, peixinho da horta e vinagreira, respectivamente. Ademais, Azevedo (2018) indica um valor percentual de 78,2 para o peixinho da horta. Esta diferença pode estar relacionada a estação do ano em que as amostras foram colhidas, local de colheita das amostras, tempo entre colheita e a análise ou o método de análise escolhido. O método adotado por Botrel et al (2020) foi o método gravimétrico 931.0 da AOAC (2010). Azevedo (2018) utilizou o método de secagem em estufa a 105 °C indicado no IAL (2008). Ademais, não foi aplicado um teste estatístico para avaliar a real diferença entre os teores obtidos no presente trabalho e os resultados encontrados na literatura, pois esses últimos foram fornecidos sem desvio padrão. Pode ser que os valores sejam estatisticamente iguais.

Os resultados obtidos para a concentração total de Fe, Mn e Zn (Tabela 2) indicaram uma maior concentração de Fe no peixinho da horta, o que já era esperado, pois tal planta é conhecida por ser rica em Fe. Já a azedinha mostrou a menor concentração para o elemento. Estudos anteriores indicaram concentrações de Fe de 0,12 mg/100 g (Azevedo, 2018) e 6,83 mg/100 g (Botrel et al., 2020) para peixinho da horta fresco e de 5,87 mg/100 g para azedinha, 0,46 mg/100 g para capuchinha e 1,47 mg/100 g para vinagreira, sendo todos os valores para plantas frescas (Botrel et al., 2020). É possível observar uma grande variação na concentração nos diferentes estudos considerando a mesma planta. Essa diferença pode ser devido à composição do solo em que cada planta foi cultivada, que pode ter sido a grande responsável pela composição mineral das plantas, por se tratar de um processo endógeno entre a planta e o ambiente (Azevedo, 2018).

PANC	Concentração		
	Fe	Mn	Zn
Azedinha	1,428 ± 0,063	2,114 ± 0,084	0,2662 ± 0,0548
Capuchinha	2,076 ± 0,065	0,4879 ± 0,0084	0,7186 ± 0,0033
Peixinho da horta	10,55 ± 0,18	0,8587 ± 0,0527	0,3831 ± 0,0211
Vinagreira	4,038 ± 0,336	0,8113 ± 0,0267	0,5721 ± 0,0267

Tabela 2. Valores de concentração total ± SD, em mg /100g da planta fresca, para cada elemento estudado nas plantas (n = 3).

Considerando o Mn, a azedinha foi a planta que mostrou o maior nível do elemento, sendo pelo menos 2,5 vezes maior que para as outras plantas. Um estudo anterior indicou valores de 0,93 mg/100 g para azedinha, 0,27 mg/100 g para capuchinha, 0,61 mg/100 g para peixinho da horta e 0,86 mg/100 g para vinagreira, sendo todos os valores para plantas frescas (Botrel et al., 2020).

Para Zn, o elemento presente em menores concentrações, todas as plantas apresentaram valores menores que 1 mg/100 g da planta fresca. Na literatura encontra-se valores de 0,45 mg/100 g para azedinha, 0,76 mg/100 g para capuchinha, 0,09 mg/100 g para peixinho da horta e 2,89 mg/100 g para vinagreira, sendo todos os valores para plantas frescas (Botrel et al., 2020). É importante destacar aqui que a concentração destes elementos nas plantas pode variar de acordo com o comportamento de absorção e acúmulo dos elementos por cada planta, mas também com o solo em que a planta foi cultivada, entre outros fatores de cultivo.

Para validar os resultados em termos de exatidão, o material de referência NIST 1570a foi preparado da mesma forma que as PANCs e analisado por F AAS. O material apresenta valores certificados para Mn e Zn, sendo os valores obtidos para a recuperação de 84,2 e 82,2, respectivamente.

Os resultados de bioacessibilidade são mostrados na Tabela 3. É possível observar que o elemento Fe mostrou-se ser menos bioacessível que os outros elementos, pois os valores de bioacessibilidade foram todos menores que 10%. O Fe é um micronutriente essencial e desempenha papéis essenciais nos sistemas biológicos, como transporte de oxigênio, metabolismo energético e síntese de DNA, a sua deficiência acarreta várias desordens fisiológicas, como a anemia ferropriva, relacionada a níveis de hemoglobina no sangue. A baixa bioacessibilidade do Fe pode estar relacionada a interação desse mineral com diversos outros compostos, como o fitatos e oxalatos, muito presentes em cereais e hortaliças, e a interação do Fe com outros minerais como o Zn, por exemplo. Tais componentes apresentam grande tendência de precipitar com o Fe, principalmente em pH intestinal, ou seja, em meio neutro a alcalino (Borges, 2014; Cozzolino, 2005; Lobo & Tramonte, 2004).



PANC	Bioacessibilidade		
	Fe	Mn	Zn
Azedinha	8,10 ± 2,11	25,13 ± 2,44	30,92 ± 8,78
Capuchinha	5,93 ± 0,86	43,74 ± 6,88	< LOD
Peixinho da horta	< LOD	40,83 ± 10,88	< LOD
Vinagreira	1,17 ± 0,79	66,97 ± 11,87	29,81 ± 10,28

Tabela 3. Valores de bioacessibilidade ± SD, % em relação a concentração total, para cada elemento nas plantas estudadas.

Para Mn, valores muito maiores de bioacessibilidade foram encontrados. Isso é devido ao fato de que os complexos manganês-fitato são mais solúveis (do Nascimento da Silva, 2016). Em adição, parece que há uma correlação inversa entre concentração total e bioacessibilidade para este elemento, pois a azedinha é a planta que apresentou a maior concentração total de Mn, contudo, o menor teor bioacessível. Para Fe essa aparente correlação também foi observada.

Considerando Zn, os valores de bioacessibilidade foram próximos a 30% para duas plantas, azedinha e vinagreira. Para capuchinha e peixinho da horta não foi possível determinar o valor de bioacessibilidade, pois a concentração bioacessível ficou abaixo do limite de detecção instrumental. É importante ressaltar que não significa que o elemento não apresenta uma fração bioacessível, mas que, se apresenta, está próxima ou menor que 10% e, para Zn, este nível de bioacessibilidade já está abaixo do limite de detecção do instrumento.

Considerando as plantas, é possível observar que a vinagreira apresentou os maiores valores de bioacessibilidade para Mn e Zn. A planta contém substâncias responsáveis pela sua coloração arroxeadada, como as antocianinas. Estas substâncias podem estar relacionadas com a liberação dos elementos durante a digestão (do Nascimento da Silva, 2016). As outras plantas apresentam coloração verde e, se tiverem a presença dessas substâncias, é em nível menor que a vinagreira.

Por fim, o peixinho da horta, apesar apresentar os maiores valores de concentração total, foi a planta que menos liberou os elementos durante a digestão gastrointestinal. Isso pode ser devido ao fato de que o peixinho da horta apresenta o maior teor de fibras entre as PANCs estudadas (Botrel et al., 2020). As fibras dietéticas, incluindo a celulose, lignina e pectina podem formar complexos insolúveis com os elementos (Azevedo, 2018).

## CONCLUSÃO

Como conclusão tem-se que a aplicação de um método de digestão gastrointestinal *in vitro* juntamente com a técnica de espectrometria de absorção atômica em chama permitiu a quantificação da concentração total e a avaliação da bioacessibilidade de Fe, Mn e Zn em azedinha, capuchinha, peixinho da horta e vinagreira.

Os resultados mostraram que, de uma maneira geral, a concentração total variou para as diferentes amostras, pois a quantidade de minerais nas plantas pode variar de acordo com o comportamento de absorção e acúmulo dos elementos pela planta, bem como com o solo em que a planta foi cultivada. Já a bioacessibilidade parece variar de acordo com a concentração total do elemento e com base na composição do vegetal, como teores de fibras e de antocianinas, por exemplo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP pelas bolsas de iniciação científica concedidas, ao Instituto de Ciências Exatas e Biológicas - ICEB e ao Laboratório de Espectrometria Atômica – UFOP (LEAT) pela infraestrutura disponibilizada, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG pelo financiamento (PROCESSO N.: APQ-00406-21).

## REFERÊNCIAS

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis, in Guidelines for Standard Method Performance Requirements**. Gaithersburg: AOAC International, 2016.

Azevedo, T. D. **Propriedades nutricionais, antioxidantes, antimicrobianas e toxicidade preliminar do peixinho da horta (*Stachys byzantina* K. Koch)**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Alimentação e Nutrição, Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Barbosa, T. P.; Lins, J. A. S.; Silva, G. M. da; Valente, E. C. N.; Lima, A. S. T. de. Plantas alimentícias não convencionais: existem potenciais consumidores e locais para comprar? **Research, Society and Development**, v. 10, e27710414146, 2021.

Borges, M. **Avaliação e especiação do ferro bioacessível em alimentos**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência, Departamento de Química, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2014.

Botrel, N., Freitas, S., Fonseca, M. J. O., Melo, R. A. C., & Madeira, N. Valor nutricional de hortaliças folhosas não convencionais cultivadas no bioma cerrado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2018174, 2020.

Cozzolino, S.M.F., **Biodisponibilidade de Nutrientes**, Barueri: Manole, 2005.

Fernandez-Garcia, E.; Carvajal-Lerida, I.; Perez-Galvez, A. In vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. **Nutrition Research**, v. 29, p.751-760, 2009.

Freitas, N. M.; Santos, A. M. C. M.; Moreira, L. R. de M. O. Avaliação fitoquímica e determinação de minerais em amostras de *Hibiscus sabdariffa* L (vinagreira). **Periódicos Eletrônicos UFMA**, v. 3, p. 65-72, 2013.

IAL - Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Orientação sobre Validação de Métodos Analíticos**. DOQ-CGCRE-008 - REVISÃO 08. Rio de Janeiro: INMETRO, 2020.

Kelen, M. E. B. Nouhuys, I S. V.; Kehl, L. C.; Brack, P.; da Silva, D. B. **Plantas alimentícias não convencionais (PANCs): hortaliças espontâneas e nativas**. Porto Alegre: UFRGS, 2015.

Lima, M. A. S. S. **Azedinha (*Rumex acetosa* L.): caracterização morfológica, requerimento nutricional e qualidade sensorial**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroecologia e Desenvolvimento Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2015.

Lobo, A. S.; & Tramonte, V. L. C. Efeitos da suplementação e da fortificação de alimentos sobre a biodisponibilidade de minerais. **Revista de Nutrição**, v. 17, p. 107-113, 2004.

Minekus, M.; Alminger, M.; Alvito, P.; Ballance, S.; Bohn, T.; Bourlieu, C.; Carrière, F.; Boutrou, R.; Corredig, M.; Dupont, D.; Dufour, C.; Egger, L.; Golding, M.; Karakaya, S.; Kirkhus, B.; Le Feunteun, S.; Lesmes, U.; Macierzanka, A.; Mackie, A.; ...; Brodkorb, A. A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. **Food & Function**, v.5, p. 1113-1124, 2014.

do Nascimento da Silva, E. **Nutrientes e elementos tóxicos em alface (*Lactuca sativa*): estudos de bioacessibilidade, biodisponibilidade, biofortificação e especiação**. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

do Nascimento da Silva, E.; Cidade, M.; Heerdt, G.; Ribessi, R. L.; Morgon, N.; Cadore, S. Effect of Selenite and Selenate Application on Mineral Composition of Lettuce Plants Cultivated Under Hydroponic Conditions: Nutritional Balance Overview Using a Multifaceted Study. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, p. 371-379, 2018.

do Nascimento da Silva, E.; Cadore, S. Bioavailability Assessment of Copper, Iron, Manganese, Molybdenum, Selenium, and Zinc from Selenium-Enriched Lettuce. **Journal of Food Science**, v. 84, p. 2840-2846, 2019.

Peres, F. M. **Teor de nutrientes em plantas alimentícias não convencionais**. Anais do 10 Siepex. Santana do Livramento: Uergs, 2021.

Ranieri, G. R.; Borges, F.; Nascimento, V.; Gonçalves, J. R. V. **Guia prático de PANC, Plantas alimentícias não convencionais**. São Paulo: Instituto Kairós, 2017.

Reis, F. de C. **Componentes de produção de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.), influenciados pela aplicação de nitrogênio e fósforo em um latossolo vermelho distrófico**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2006.