Universidade Federal de Pelotas
Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos
Curso de Bacharelado em Química

Trabalho de Conclusão de Curso

Determinação da Fração Bioacessível de Elementos Essenciais em Amostras do Gênero *Capsicum annuum*

Vitória Magalhães Paiva

Pelotas, maio de 2023

Vitória Magalhães Paiva

Determinação da Fração Bioacessível de Elementos Essenciais em Amostras do Gênero *Capsicum annuum*

Monografia apresentadareferente ao curso de Bacharelado em Química da Universidade Federal de Pelotas,como requisito para à obtenção do título de Bacharel em Química.

Orientadora: Profª. Drª. Mariana Antunes Vieira

Pelotas, maio de 2023

Vitória Magalhães Paiva

Determinação da Fração Bioacessível de Elementos Essenciais em Amostras do Gênero *Capsicum annuum*

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para a obtenção do grau de Bacharel em Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e deAlimentos, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 11/05/2023

Banca examinadora:

.....

Profª. Drª. Mariana Antunes Vieira
(Orientadora)Universidade Federal de
Pelotas (UFPel)

.....

Profª. Drª. Adriane Medeiros
Nunes Universidade Federal de
Pelotas (UFPel)

.....

Prof. Dr. Anderson Schwingel Ribeiro
(Convidado)Universidade Federal de
Pelotas (UFPel)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer minha família, em especial a minha mãe Vilene que foi essencial durante toda minha graduação, me incentivando a continuar sendo minha base em todos os momentos e aos meus avós Anita e Rony porme ajudarem de todas as maneiras possíveis.

Aos meus colegas e amigos, em especial a Ludimilla e a Romina que conheci durante a graduação e se tornaram minhas melhores amigas me acompanhando nessa jornada. Agradeço a ajuda, suporte e amizade que foram essenciais para não desistir do meu objetivo. A minha amiga Keylla, que apesar da distância, sempre me apoiou e me deu suporte no que foi preciso me aconselhando nos momentos em quemais precisei.

Aos meus colegas de laboratório Daisa, Charlie, Jéssica, Yasmin, Mariana e Nicolle, que de alguma forma me ajudaram nessa etapa final da minha formação, agradeço o suporte nesses dois últimos semestres de graduação e iniciação científica.Em especial quero agradecer a Mariana e a Nicolle por todo o suporte e por se tornarem minhas amigas nesse momento delicado.

A minha orientadora Profa. Dra. Mariana Antunes Vieira, pela confiança e oportunidade de realizar este trabalho.

E um último agradecimento especial ao meu pai, Eloi que não está mais presente entre nós, mas que de alguma forma sei que está orgulhoso e me apoiandode onde estiver. Obrigado pelo incentivo de nunca desistir dos meus sonhos durante todos os anos em que convivemos juntos, apesar de não ter me visto entrar na faculdade, é por causa dele e de minha mãe que estou aqui hoje.

PAIVA, Vitória Magalhães. **Determinação da Fração Bioacessível de Elementos Essenciais em Amostras do Gênero *Capsicum Annuum*.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Bacharelado em Química) – Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

RESUMO

O consumo de hortaliças vem crescendo nos últimos anos por essesalimentos serem grandes fontes de nutrientes e auxiliar na redução do riscode diversas doenças. Dentre essas hortaliças, destacam-se os pimentões, as pápricas e a pimenta. Assim, estudos que evidenciam composições elementares nesse tipo de alimento são importantes para um melhorentendimento no conhecimento sobre o impacto nutricional que eles podem causar e o ensaio de bioacessibilidade é uma importante ferramenta para esse tipo de pesquisa. Logo, este trabalho tem como objetivo, apresentar os resultados obtidos da concentração total de B, Cu, Fe, K, Mg, Mn e Zn bem como os estudos para a determinação das frações bioacessíveis desses elementos em amostras de pimentão, paprica e pimenta pela técnica de espectrometria de emissão óptica complasma induzido por micro-ondas (MIP OES). A exatidão dos resultados desse estudo foicomprovada pelo balanço de massa, através do somatório das frações bioacessíveis e não bioacessiveís. As recuperações dos elementos essenciais para as amostras ficaram na faixa de 80 a 117 %, o que demonstra uma boa exatidão do método.

Palavras-chave: Pimentão, páprica, pimenta, *Capsicum annum*, fração bioacessível, MIP OES.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estrutura de um pimentão..... 13

Figura 2 Tipos de pimentões..... 14

Figura 3 Etapas de digestão in vitro fase oral, gástrica e intestinal..... 20

Figura 4 Imagem do MIP OES com seus principais componentes..... 22

Figura 5 Sistema de introdução de amostra para o modo convencional. 23

Figura 6 Amostra de pimentão após a etapa de centrifugação..... 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Abreviações das amostras. 25

Tabela 2 Parâmetros de mérito para as determinações das concentrações bioacessiveis. 27

Tabela 3 Resultados das concentrações totais (CT), concentração bioacessível (CB) e concentração não bioacessível (CNB), porcentagem fração bioacessével (%FB) e porcentagem fração não bioacessível (%FNB) para as amostras de pimentão amarelo, verde, vermelho e laranja 31

Tabela 4 Resultados das concentrações totais (CT), concentração bioacessível (CB) e concentração não bioacessível (CNB), porcentagem fração bioacessével (%FB) e porcentagem fração não bioacessível (%FNB) para as amostras de pimentão branco, roxo, sweet palermo laranja e sweet palermo verde 32

Tabela 5 Resultados das concentrações totais (CT), concentração bioacessível (CB) e concentração não bioacessível (CNB), porcentagem fração bioacessével (%FB) e porcentagem fração não bioacessível (%FNB) para as amostras de sweet palermo vermelho, sweet palermo amarelo, páprica doce, páprica picante, páprica defumada e pimenta caiena 33

SIGLAS E ABREVIAÇÕES

a	Sensibilidade
CB	Concentração Bioacessível
CCD	Dispositivo de Carga Acoplada
CNB	Concentração Não-Bioacessível
CT	Concentração Total
F AAS	Espectrometria de Absorção Atômica em Chama
F EAS	Espectrometria de Emissão Atômica em Chama
GF AAS	Espectrometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite
ICP OES	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado
ICP-MS	Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado
LD	Limite de Detecção
LQ	Limite de Quantificação
MIP OES	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Induzido por Micro-ondas
PP	Polipropileno
R^2	Coeficiente de correlação linear ao quadrado
% CB	Porcentagem de Concentração Bioacessível
% FNB	Porcentagem de Concentração Não-Bioacessível

Sumário

1. Introdução 11
2. Revisão Bibliográfica 12
2.1. Pimentão 12
2.2. Variedade de Pimentões 13
2.3. Pápricas e pimentas 14
2.4. Elementos essenciais 16
2.5. Preparo de amostras. 17
2.6. Extração assistida por Ultrassom 18
2.7. Biodisponibilidade e Bioacessibilidade 19
2.8. Técnicas analíticas para a quantificação de metais 21
3. Objetivos 24
3.1. Objetivo Geral 24
3.2. Objetivos específicos 24
4. Materiais e métodos 24
4.1. Instrumentação 24
4.2. Reagentes 25
4.3. Amostras 26
4.4. Fração bioacessível 26
5. Resultados e discussão 28
5.1. Parâmetros de mérito 28
5.2. Resultados das concentrações bioacessíveis nas amostras. 29
6. Conclusão 34
7. Referências 35

1. Introdução

Uma dieta rica em frutas e vegetais desempenham um papel importante na prevenção de doenças crônicas como a diabete, o Alzheimer, doenças cardiovasculares, câncer e a obesidade. As pimentas hortícolas e os pimentões, pertencem à família *Solanaceae* e ao gênero *Capsicum*. São denominadas hortícolas para diferenciá-las de outras pimentas, como a pimenta-do-reino ou pimenta-preta (*Piper nigrum L., da família Piperaceae*), a pimenta-rosa (S*chinus molle L., da família Anacardiaceae*) e a pimenta-da-Jamaica (*Pimenta officinalis Lindl., da família Myrtaceae*). Todas elas, embora chamadas indiscriminadamente de pimentas, e, utilizadas como condimento, não possuem parentesco entre si, e cada qual apresenta propriedades químicas distintas, dentre as 20 espécies do gênero, *Capsicum annuum* é a mais cultivada. Os frutos derivados do gênero *Capsicum* estão entre os mais antigos e mais importantes aditivos alimentares amplamente utilizados no mundo devido à sua combinação de cores, sabores e valores nutricionais. A diversidade desses alimentos na dieta é fundamental, visto que nenhum alimento específico é suficiente para fornecer todos os nutrientes necessários para manter uma boa saúde.As hortaliças podem ser preparadas de diversas formas, podendo estar presentes emtodo o tipo de refeição.

Dentre as hortaliças, o pimentão é umas das mais ricas em vitamina C e quandomaduro é uma excelente fonte de vitamina A, cálcio, fósforo e ferro. Com isso, os pimentões podem ser consumidos verdes ou maduros, crus em salada, como condimento no preparo de molhos e na preparação de diversos pratos. Temos também as pápricas (pimentão em pó) que são originadas dos frutos maduros.

As cores dos pimentões variam de acordo com seu estágio de maturação: os verdes são os menos maduros, enquanto os amarelos, vermelhos, roxos e laranjas estão em uma fase mais avançada de maturação. Todos os tipos de pimentões fornecem benefícios nutritivos, mas o pimentão vermelho se destaca por apresentar maiores quantidades de compostos antioxidantes devido a alta concentração de vitamina A.

Devido a importância do consumo dos pimentões em geral como benefício à saúde, bem como a falta de informações sobre a bioacessibilidade

dessas hortaliças, visto que só existem trabalhos para específicos tipos de pimentões como o pimentãoverde, amarelo, páprica picante, o presente estudo tem como objetivo avaliar a fração bioacessível dos elementos B, Cu, Fe, K, Mg, Mn e Zn em amostras de pimentão, paprica e pimenta.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Pimentão

O pimentão é uma hortaliça pertencente à família Solanaceae, assim como a batata, o tomate, o jiló, a berinjela, e as pimentas, sendo de clima tropical e originadodo sul do México e América central. O cultivo de pimentões ocorre em todas as regiões do país (Brasil) e é conduzido predominantemente por pequenos produtores, estimando-se que a área cultivada no Brasil é de aproximadamente 13 mil hectares, oque corresponde a uma produção anual de cerca de 280 mil toneladas.

No Brasil, os principais produtores de pimentão encontram-se nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Ceará, Espírito Santo e Pernambuco. A produção pode ocorrer durante o ano todo, mas preferencialmente em clima seco e ameno com irrigação. Eles podem ser cultivados tanto em campo aberto quanto estufas, exigindo de cada local tratos culturais específicos. A colheita dos pimentões pode ser feita entre 90 a 110 dias após a semeadura, podendo ser prolongada por três a cincomeses, após a colheita a vida útil do pimentão varia de dois a três dias semdeterioração da qualidade. Como observado na Figura 1, sua estrutura é composta pelo cálice, pedicelo, lóculos, ombro, sementes, placenta, endocarpo, pericarpo, mesocarpo e ápice.

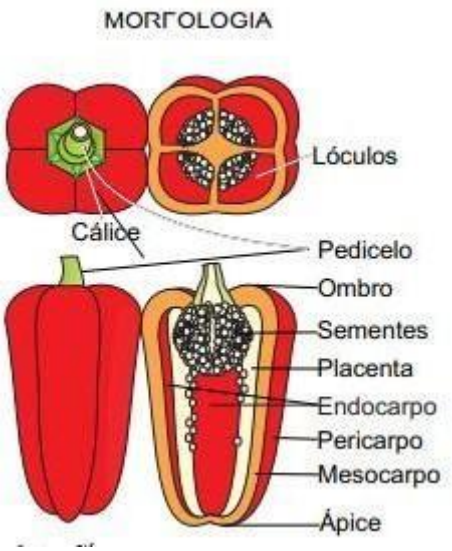

Figura 1. Estrutura de um pimentão.Fonte: Ceagesp, 2021.

Entre as hortaliças, o pimentão é um dos mais consumidos como alimento e tempero, sendo que muitos estudos mostram que os pimentões contêm uma ampla gama de fitoquímicos, vitaminas C, A e E, bem como compostos fenólicos e compostos carotenoides. Além de que estudos apontam que o pimentão ajuda na prevenção de doenças crônicas, diabetes, câncer, Alzheimer, doenças cardiovasculares, problemas de visão, entre outros, como já mencionado.

2.2. Variedade de Pimentões

Existem diversos tipos de pimentões, todos com diferentes sabores e aromas intensos (Figura 2). Os tipos mais conhecidos e consumidos pela população são, o vermelho, o amarelo e o verde, existindo também variedades mais exóticas como os pimentões roxos, laranjas e brancos. Seu gosto e aroma são influenciados pela sua cor que proporciona variações com características distintas, a coloração de qualquer pimentão depende exclusivamente do tempo de maturação de cada. Os pimentões vermelhos e amarelos são conhecidos pelo seu sabor suave e levemente adocicado, para apresentar a coloração vermelha ou amarela o seu estado de maturação deve ser mais avançado. Para se obter certos tipos de pimentões é necessário esperar o tempo específico de maturação de cada. Já o pimentão verde a sua coloração se deve ao seu estágio de maturação, ou seja, não totalmente maduro e isso explica que devido ao pouco tempo que leva para chegar nesse estado de maturação ele acaba sendo omais comercializado em todo o país.

Como já mencionado antes, o pimentão apresenta benefícios para a saúde, e o que difere de um pimentão para o outro é apenas seu tempo de maturação e todos eles apresentam as mesmas vitaminas. Os benefícios de cada pimentão variam de acordo com seu tempo de maturação. Quando verde,

é rico em vitamina E, carotenoides e betacaroteno que ajudam o organismo na prevenção de doenças como câncer de próstata, pulmão, intestino e garganta, além de ser uma importante fonte de vitaminas do complexo B e minerais como Ca, P e Mg. Já quando na cor amarela, é rico em vitamina C, mais do que os demais pimentões, possuindo ação expectorante, descongestionante, antibacteriana, age como uma aspirina natural e trabalha na dissolução de coágulos sanguíneos. O pimentão vermelho é rico em antioxidantes que contribuem para prevenção de problemas cardiovasculares, seu consumo é recomendado para pessoas que possuem diabetes por suas propriedades hipoglicêmicas, e também para aliviar os sintomas de quem sofre de psoríase. Por ser rico em antioxidantes, o pimentão é um grande reforço do sistema imunológico, contra o combate ao envelhecimento, bom para o fortalecimento dos ossos por ter a presença de cálcio, fortalece a saúde ocular por serrico em vitaminas como A e C, entre outros benefícios.

Para se escolher o pimentão corretamente, o caule deve estar verde e o pimentão saudável, a casca não deve conter rugas, ser firme e macia e principalmente evitar os que apresentam manchas ou fissuras.

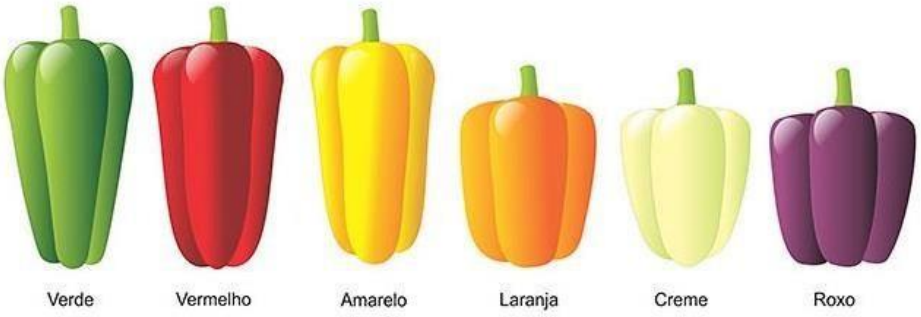

Figura 2: Tipos de pimentões.Fonte: CEAGESP, 2021.

2.3. Pápricas e pimentas

As pimentas assim como os pimentões pertencem ao gênero *Capsicum*, podemser consumidas tanto na forma in natura como especiarias desidratadas. São uma ricafonte de vitaminas A, C, E, B1, B2 e minerais como P, K e Ca. Além disso é considerada uma planta medicinal, recomendada para dores

musculares e artrite, com diversas utilidades e aplicabilidades para a indústria farmacêutica. Os estados onde são mais cultivadas são Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Ceará e Rio Grande do Sul. A pimenta analisada neste estudo é conhecida como pimenta caiena, também chamada de pimenta vermelha. Sua coloração vermelha se deve a seu amadurecimento, geralmente apresentado em formato alongado ou de meia lua e sua superfície enrugada. É considerada altamente pungente e pode ser consumida na forma fresca,mas geralmente é consumida de forma desidratada ou em pó.

As pápricas são derivações do fruto desidratado do pimentão completamente maduro, as quais apresentam coloração vermelha intensa ou alaranjada, sendo elas um dos temperos mais consumidos no mundo. Existem três tipos específicos de pápricas: doce, picante e defumada. Elas são consideradas excelentes componentes para remédios naturais, pois ajudam a dissolver coágulos, cicatrização de feridas, aliviar dores de estômago e garganta, além de ajudar em cãibras e gases. São ricas em vitaminas C, B6 e K1 e minerais como K e Cu, funcionando também como antioxidante.

A páprica doce é considerada sem pungência, é utilizada para temperar, dar cor ou incrementar algumas receitas, ela é produzida a partir de pimentões perfeitamente maduros. Como apresenta sabor suave é utilizada em diversos tipos depratos, não é usada para dar ardência e sim balancear o sabor de outros temperos. Para dar cor às receitas, é usada como corante alimentício, e além da cor traz um sabor diferenciado aos pratos, diferente do colorau que é utilizado apenas como corante. A páprica picante difere das outras pela presença da capsaicina, substânciaque promove sensação de calor na boca que deixa a páprica mais ou menos picante,o que vem diretamente do modo em que foi produzida, vem diretamente da desidratação do pimentão, ou seja, do fruto que é tostado. A páprica defumada vem de pimentões completamente maduros, os quais são secos, defumados e moídos várias vezes, sua desidratação é feita na fumaça podendo ser feita tanto na páprica picante quanto na doce. Como podem ser consumidos in natura ou após algum processamento, pode acarretar mudanças nutricionais dos diferentes tipos de pimentões, pimentas e pápricas, principalmente em relação aos elementos essenciais já citados, pode ter a presença de conservantes e corantes sintéticos que podem influenciar na análise.

2.4. Elementos essenciais

Elementos essenciais são nutrientes indispensáveis ao organismo, pois estão envolvidos em diversas reações enzimáticas, além de serem de grande importância para vários sistemas do corpo humano. No entanto, os organismos não os sintetizam,pois devem ser consumidos em alimentos que fornecem a quantidade necessária. Assim, devem ingerir alimentos como leite, carnes, legumes, hortaliças, entre outros que são importantes fontes de minerais para o organismo.

Dados os benefícios que os elementos químicos fornecem para o corpohumano, é de extrema importância a determinação de sua concentração em amostras de pimentões, pápricas e pimentas, pois estas hortaliças podem conter elementos essenciais que contribuem para a manutenção e funcionalidade do organismo. Concentrações desseselementos acima do limite diário recomendado representam risco à saúde dos consumidores. O elemento B é extremamente tóxico no organismo humano, sendo aceitas doses diárias de apenas 1 mg. Sintomas que podem ocorrer em decorrência de intoxicação por boro são, náuseas, vômitos, dores de cabeça, irritabilidade, tremores, convulsões, ansiedade, depressão e taquicardia. Excesso de Fe no organismo pode acarretar graves problemas de saúde como hemocromatose, doença que se caracteriza pelo acúmulo de ferro de ferritina, nos músculos, fígado, pâncreas, articulações e corações provocando danos aos órgãos e tecidos.

Já o Cu em excesso pode causar oxidação da vitamina A, diminuição de vitamina C, provocando dores musculares e juntas, distúrbios no aprendizado, depressão e fadiga. A presença de níveis elevados de K pode provocar distúrbios renais. Excesso de Mn no organismo pode desestabilizar o sistema nervoso central causando confusão mental, espasmos musculares, até mesmo facilitar o desenvolvimento de Parkinson. Já o excesso de Zn no organismo pode causar sintomas como nauseas e vômitos, dores abdominais, cãibras, pode reduzir níveis de HDL (colesterol “bom”).

Tabela 1: Deficiência e excesso dos analitos.

Analitos	Deficiência	Excesso
B	Osteoporose, artrite reumatoide, sintomas de menopausa.	Diarreia, vômitos, febre, descamação da pele, sonolência.
Cu	Anemia, crescimento, lesões pancreáticas, doenças no fígado, miocardiopatia.	Insônia, perda de cabelo, ciclo menstrual irregular, depressão.
Fe	Anemia, cansaço excessivo, coração acelerado, quedas de cabelo.	Insuficiência cardíaca, cirrose, diabetes, problemas na produção hormonal.
K	Fraqueza muscular, desorientação, fadiga.	Altera o ritmo cardíaco, insuficiência renal.
Mg	Náuseas, vômitos, sonolência, fraqueza, perda de apetite	Pressão baixa, males respiratórios, ritmo cardíaco acelerado.
Mn	Dor nas articulações, ossos frágeis, diabetes.	Comprometer o sistema nervoso central e isso ocasiona doenças como Parkinson e Alzheimer.
K	Perda de peso, atraso no crescimento em crianças, paladar e olfato prejudicados.	Problemas gastrointestinais, fadiga, vômitos.

2.5. Preparo de amostras

Dentro de uma sequência analítica, a etapa de preparo é responsável por converter a amostra em uma suspensão, ou solução apropriada ao equipamento para análise garantindo a preservação da espécie química de interesse, a integridade do equipamento e exatidão da determinação. O sucesso da análise depende totalmente desta etapa, pois além de ocupar 60 % da sequência analítica, 30 % dos erros que ocorrem dentro da análise são provenientes desta etapa.

O método de preparo de amostras pode ser dividido em dois tipos: por via úmida e por via seca. O preparo de amostras por via seca é considerado mais simples visto que, amostra é submetida a um processo de calcinação em elevadas temperaturas para torna-lá facilmente solúvel. Este processo rompe as ligações químicas entre a matriz da amostra e as espécies de interesse (Krug, 2019; Gomes, 2021). Porém, este processo pode acarretar alguns inconvenientes, como a perda de analitos por volatilização, riscos de contaminação, alto gasto de energia e tempo elevado para a queima de determinadas amostras (Krug, 2019).

Já o preparo de amostras por via úmida, são métodos que consistem na destruição ou separação da espécie química de interesse através do rompimento de ligações da matriz orgânica com uso de reagentes, normalmente na presença de ácidos e aplicação de energia externa. Normalmente utilizam-se ácidos como o HNO_3,HCl, H_2SO_4, entre outros, ou a mistura deles, além de possibilitar a adição de agentesoxidantes como o H_2O_2 que auxiliam na decomposição da matriz (Oliveira, 2003; Krug,2019).

Além disso, as amostras podem ser preparadas em sistemas abertos ou fechados. Para grandes quantidades de amostras são utilizados sistemas abertos como mufla, chapa de aquecimento e bloco digestores. Estes são preferíveis por serem de simples manuseio e baixo custo, se, comparados ao sistema fechado. Contudo esse processo ser mais simples, pode haver perda de analitos voláteis, e a um risco maior de contaminação pelo ambiente, ou até mesmo, de outras amostras, devido a projeção, e, a necessidade de reposição dos reagentes. Sendo assim, os sistemas fechados destacam-se na determinação de elementos voláteis, visto que, não ocorre a perda de analitos, além não haver necessidade de reposição dereagentes. No entanto, uma desvantagem dos sistemas fechados é o risco de explosão devido à alta

pressão interna. Com isso, surge então métodos alternativos para tentar contornar as desvantagens, tanto dos métodos abertos quanto fechados. Como por exemplo, a decomposição assistida por micro-ondas, que se destaca por ser uma alternativa mais rápida, possuir baixo risco de perda de analitos e baixa probabilidade de contaminação. Porém, o seu custo é bastante elevado (Oliveira, 2003; Souza, 2018; Krug, 2019).

2.6. . Extração assistida por Ultrassom

Uma alternativa para os métodos de preparo de amostra, é a utilização da extração através da energia ultrassônica, que não utiliza medidas drásticas de decomposição da matriz da amostra, pois a extração ocorre sob leves condições, como em baixas temperaturas, menores tempos de extração, essas condições já se fazem adequadas para a extração dos componentes da matriz da amostra (Machadoet al., 2016; Pereira-Filho et al., 2020). Essa técnica utiliza ondas sonoras para conduzir processos de extração, dissolução e decomposição quando aplicada em amostras sólidas, onde elas se encontram em meio líquido apropriado para o processo. Conforme descrito por Krug e colaboradores, “os principais efeitos do uso das ondas ultrassônicas em processos de decomposição são a desagregação e ruptura do material pela ação de microjatos aumentando a superfície de reação, o aumento da atividade química a partir de espécies presentes no solvente, a renovação do solvente na interface solvente-soluto sólido e, até mesmo, a fusão do sólido devido às temperaturas extremas atingidas no momento do colapso das bolhas de cavitação. O fenômeno de cavitação tem início na fase de rarefação das ondas acústicas, quando moléculas de gases e vapores presentes no líquido são direcionadas para o interior dos núcleos produzidos pela interrupção do meio devido às abruptas mudanças de pressão ocorridas quando uma onda acústica passa da fase de rarefação para a de compressão. Quando estas microbolhas presentes na etapa de compressão da onda acústica leva a formação de cavidades, assim fazendo com quepoucas moléculas dos gases que estão contidas nas bolhas sejam expulsas do seu interior e direcionada para o líquido. Com o passar dos ciclos essas microbolhas aumentaram suas dimensões e ocorre um colapso, essa perturbação do sistema resulta em um

brusco aumento de temperatura e pressão produzindo microjatos (Krug,2016; Gouda et al., 2016).

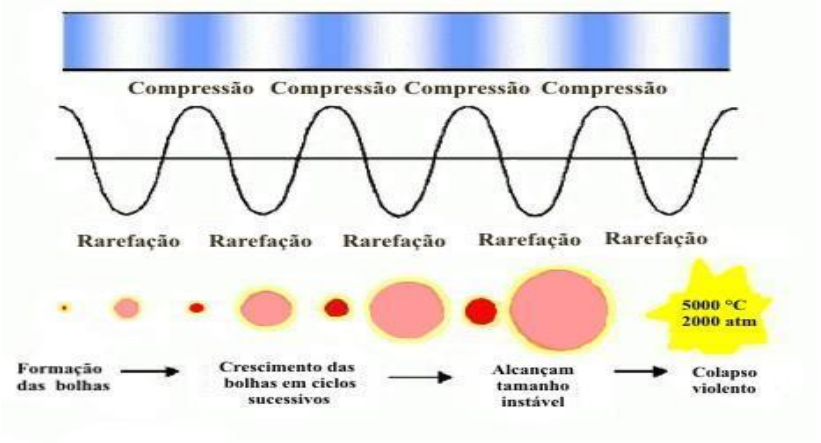

Figura 3: Fenômeno de cavitação
Fonte: Krug, 2016.

O uso do ultrassom tornou-se uma alternativa, visto que o mesmo não usa de medidas drásticas de decomposição da matriz da amostra, pois o processo ocorre sob condições mais leves, usando de temperaturas mais baixas, menores tempos de processo, fazendo que com apenas essas condições já sejam suficientes para a extração da amostra. Sua aplicação na indústria de alimentos tem sido amplamente pesquisada. Essa tecnologia, faz uso de fenômenos físicos e químicos que são fundamentalmente diferentes, se comparados com as técnicas convencionais.

2.7. Biodisponibilidade e Bioacessibilidade

A ingestão de alimentos promove a absorção de nutrientes pelo organismo, para que ele se mantenha ativo e desempenhe suas funções fisiológicas. No entanto, a composição nutricional de um alimento não é totalmente absorvida pelo nosso organismo. Com isso, é necessário verificar o comportamento do alimento no sistema digestivo, fazendo o estudo das três principais etapas desse sistema: boca, estômagoe intestino. O estudo da fração bioacessível refere-se à quantidade do elemento que é liberado de sua matriz no trato gastrointestinal, tornando-se disponível para posterior absorção pelo intestino. Já a fração biodisponível refere-se ao teor do composto que será absorvido pelo organismo humano a partir do trato gastrointestinal.

As determinações, bioacessível e biodisponível, podem ser realizadas através de experimentos *in vitro* ou *in vivo*. Os testes *in vivo* normalmente são

realizados em cobaias humanas ou animais, os quais apresentam sistema digestivo parecido com o do ser humano. Em contrapartida, apresentam várias limitações, como tempo longo de análise, alto custo, são invasivos, dependem de fatores fisiológicos, e devem assegurar o bem estar das cobaias segundo a ética para uso de seres vivos em estudos científicos.

Os testes *in vitro* são uma alternativa, uma vez que tem baixo custo e menor tempo. Esse método simula as condições fisiológicas e de digestão no

trato gastrointestinal, onde se utilizam reagentes bioativos nas preparações das soluções digestivas, como a saliva, suco gástrico, suco duodenal e bile. Para que se tenha boareprodutibilidade do método é necessário reproduzir de forma idêntica e controlar a temperatura, pH, movimentos peristálticos, composição química da saliva, do suco gástrico, do suco duodenal e do suco biliar.

A primeira etapa é a fase oral, onde se simula o processo de mastigação eenvolve o contato do alimento com a saliva artificial, saliva essa que apresenta pHentre 6 e 7, onde a amilase atua na quebra das ligações glicosídicas das moléculasde amido. Na segunda etapa, a fase gástrica, ocorre pela adição da pepsina antes daacidificação das amostras para o pH 3, em condições ácidas a maioria das proteínase carboidratos sofrem degradação. A terceira etapa, fase intestinal, se dá pela adiçãode pancreatina e sais biliares, que agem na digestão intestinal dos lipídeos, com pH 7. O estudo da bioacessibilidade em pimentões se torna de extrema importância, pois na literatura é relatado somente alguns tipos específicos do gênero C*apsicum annuum*. Então esse estudo irá trazer um conteúdo sobre a bioacessibilidade de elementos essenciais em algumas amostras de pimentão, sendo fundamental realizar este estudo para poder descobrir a quantidade do elememto que é liberada para o sistema gastrointestinal.

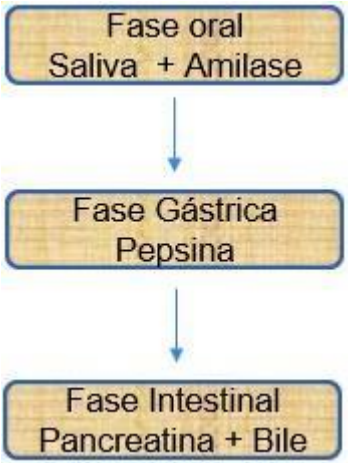

Figura 4. Etapas de digestão in vitro fase oral, gástrica e intestinal.

2.8. Técnicas analíticas para a quantificação de metais

É de extrema importância a escolha da técnica na determinação dos analitos, devendo ser considerado alguns fatores importantes como, detectabilidade, sensibilidade, precisão, já que a concentração do elemento presente da amostra é um limitante. Dentre as técnicas utilizadas, destacam-se na literatura a Espectrometria de absorção atômica em chama (F AAS) ou em forno de grafite (GF AAS) ou de emissãoatômica em chama (F AES); Espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por micro-ondas (MIP OES); Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) e a Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP- MS). Dentre as citadas, as que apresentam plasma como fonte de atomização são as mais indicadas, por serem multielementar, destaca-se o ICP-MS, que apresenta maior detectabilidade e menores limites de detecção, já a técnica do ICP OES apresenta parâmetros de méritos próximos as técnicas de F AAS e MIPOES.

Uma das alternativas de técnicas, visto que as outras apresentam alto custo pelo uso plasma de argônio, é a técnica por MIP OES, já que o plasma é mantido através do nitrogênio retirado do ar. Nesta técnica o plasma é operado em uma frequência na região de GHz, sendo induzido a partir de micro-ondas que são responsáveis em transmitir energia para os elétrons das moléculas dos gases. Esta energia promove colisões ionizantes, tornando o gás do sistema parcialmente ionizado, e isso dá origem ao plasma induzido por micro-ondas. Após o sistema entrar em operação o gás de ignição, o argônio, é substituído automaticamente por N_2, retirado do ar atmosférico, com o qual é mantido durante todo seu funcionamento. A alimentação do plasma ocorre por um compressor de ar e um gerador de N_2.

A instrumentação básica do aparelho de MIP OES (Figura 3), é constituída por um sistema de introdução de amostra, uma fonte de excitação por um gerador de micro- ondas, um sistema de alimentação de gás de plasma, sistema óptico e computador para controle do equipamento e análise dos resultados.

A introdução da amostra se dá através de uma bomba peristáltica, na qual levaa solução até o nebulizador pneumático, onde é convertida em aerossol, conforme mostra a Figura 4. Ao atingir o plasma, o aerossol se transforma em átomos, moléculas e íons pelas etapas de dessolvatação, vaporização,

atomização e ionização. A luz emitida pelo plasma é dirigida para um detector de dispositivo de carga acoplada (CCD), quemede simultaneamente os espectros e os sinais de fundo, garantindo assim precisão e bons limites de detecção. A técnica por MIP OES, nos últimos tempos, vem sendo bastante utilizada como alternativa em análises de amostras sólidas e líquidas de diversas matrizes, incluindo amostras de alimentos, ambientais, agrícolas, minerais, farmacêuticas, bebidas, dentre outras.

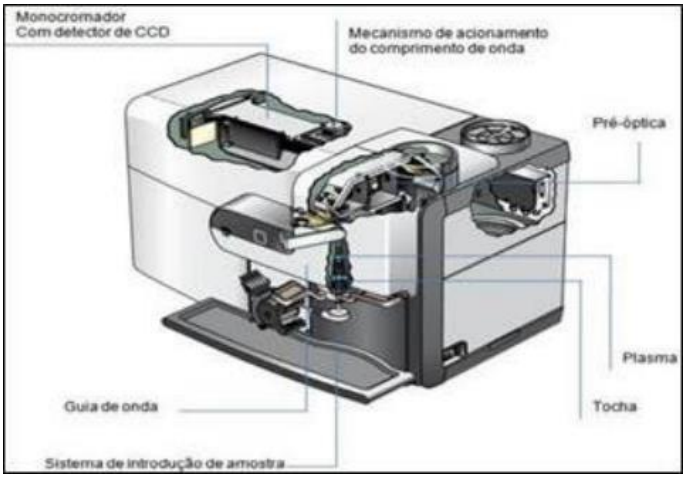

Figura 5. Imagem do MIP OES com seus principais componentes.
Fonte: Agilent Technologies, 2016

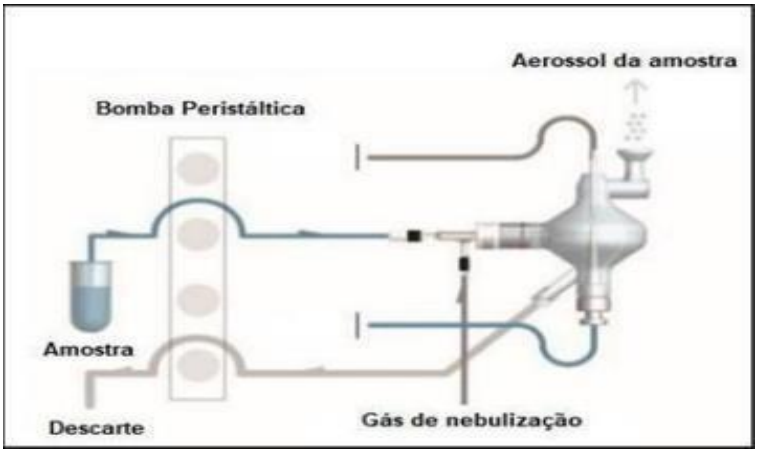

Figura 6. Sistema de introdução de amostra para o modo convencional.
Fonte: Agilent Technologies, 2016.

3. Objetivos

3.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é de apresentar os estudos que foram realizados para a determinação da fração bioacessível dos elementos B, Cu, Fe, K, Mg, Mn e Zn em amostras de pimentão, pápricas e pimenta empregando a técnica de MIP OES.

3.2. Objetivos específicos

- Aplicar o método de digestão in vitro para determinação da fração bioacessível de B, Cu, Fe, K, Mg, Mn e Zn em amostras de pimentão, pápricas e pimenta pela técnica de MIP OES;
- Validar os resultados de concentração através do balanço de massas entre os valores encontrados para a concentração total, bioacessívele não bioacessível.
- Correlacionar os resultados obtidos com os limites diários recomendados de ingestão para os elementos que apresentaram fração bioacessível.

4. Materiais e métodos

4.1. Instrumentação

As determinações multielementares foram realizadas a partir de um espectrômetro de emissão óptica com plasma induzido por micro-ondas (MIP OES) modelo Agilent 4200 (Agilent Technologies, Austrália), equipado com um nebulizador OneNeb séries 2 e uma câmara de nebulização ciclónica. O nitrogênio utilizado para a manutenção do plasma é capturado do ar atmosférico, a partir de um gerador de nitrogênio modelo 4107 (Agilent Technologies, Austrália). Para que a ignição do plasma ocorra foi utilizado um pequeno fluxo de gás argônio com pureza de 99,996% (Agilent Technologies). As medidas das concentrações dos analitos nas amostras foram realizadas em triplicata, com velocidade da bomba de 15 rpm, tempo de aspirar as amostras de 15 s, tempo de estabilização de 15 s, tempo de leitura de 3 s e correção

automática dos sinais de fundo por meio de subtração entre espectros do branco e das amostras.

Todas as amostras foram pesadas utilizando uma balança analítica modelo AR2140 (Ohaus Adventurer, EUA) com resolução de 0,1 mg e tara máxima de 210 g. Para os estudos de bioacessibilidade as amostras de pimentão foram homogeneizadas em um liquidificador de 600W (Philips Walita) e armazenadas até o momento da análise. Já as amostras de páprica e pimenta foram deixadas nos recipientes que vieram, pois estão no formato de pó e foram armazenadas até a análise.

Para a determinação da fração bioacessível, utilizou-se no preparo das amostras um pHmêtro modelo pHS-3B (PHtec, Brasil), um banho *Dubnoff* com agitação e aquecimento a 37 °C modelo Q226M2, (Quimis, Brasil) e uma centrifuga de velocidade máxima de 10.000 rpm modelo 5804 (Eppendorf, Alemanha). Para a determinação da fração não bioacessível utilizou-se um banho ultrassônico para o preparo das amostras.

4.2. Reagentes

Os reagentes utilizados para este estudo foram de grau analítico e todas as soluções foram preparadas utilizando água desionizada, a qual foi obtida a partir de um sistema de destilação de vidro, modelo MA078/5 (Marconi, Brasil) e, posteriormente, desionizada passando através de uma coluna, modelo CS1800 Evolution (Permution, Brasil). A solução multielementar dos analitos foi preparada a partir da solução estoque nº 6 para ICP (Sigma-Aldrich, Alemanha) contendo 100 mg L^{-1} de cada um dos analitos. Para a etapa de filtração utilizou-se papel filtro quantitativoC42 (faixa azul), diâmetro 125 mm (Unifil, Alemanha), e o papel filtro (faixa preta) JP4112,5 cm.

Para os estudos de bioacessibilidade foram utilizados os seguintes reagentes: α- Amylase a partir de Aspergillus oryzae, Pepsina, Bile e 43 Pancreatina 3x (Sigma, EUA); $CaCl_2(H_2O)_2$ (Vetec, Brasil), NaOH (Vetec, Brasil), KCl (Merck, Alemanha), NaCl (Merck, EUA), $NaHCO_3$ (Synth, Brasil), $MgCl_2(H_2O)_6$ (Sigma, EUA), $(NH4)_2CO_3$ (Synth, Brasil), HCl (Qhemis, Brasil), KH2PO4 (Sigma-Aldrich, EUA).

4.3. Amostras

Um total de 14 amostras variadas de *Capsicum annuum* foram

analisadas. As amostras foram primeiramente lavadas e depois homogeneizadas e armazenadas em frascos de polipropileno. As amostras foram adquiridas nos diferentes comércios de Pelotas. Cada amostra foi denominada como descrito na Tabela 1.

Tabela 2: Abreviações das amostras.

Amostras	
PR	Pimentão vermelho
PG	Pimentão verde
PA	Pimentão amarelo
PP	Pimentão roxo
PL	Pimentão laranja
PB	Pimentão branco
SPR	Sweet palermo vermelho
SPG	Sweet palermo verde
SPA	Sweet palermo amarelo
SPL	Sweet palrmo laranja
PS	Páprica doce
PH	Páprica picante
PD	Páprica defumada
PC	Pimenta caiena

4.4. Fração bioacessível

Para se realizar os estudos de bioacessibilidade, utilizou-se o método de digestão *in vitro* proposto por Minekus et al. (2014) que consiste na simulação das três principais etapas do sistema digestivo humano.

Desta forma, foram pesados aproximadamente 5 g de cada amostra de pimentões ou aproximadamente 2 g de amostras em pó de pápricas e pimenta em frascos de PP. Na primeira etapa do processo, 4 mL saliva sintética e 1 mL de $CaCl_2$ 7,5 mmol L^{-1} foram adicionados diretamente nas amostras, para se ajustar o pH a 7 com adição de NaOH 1 mol L^{-1}, logo encaminhadas ao banho Dubnoff com aquecimento a 37 °C e agitação, por 10 min. Na seguinte etapa, foram adicionados 9,1 mL de suco gástrico sintético, 700 μL de $CaCl_2$ 2 mmol

L^{-1} e HCl 1 mol L^{-1} para ser feito o ajuste do pH da solução para 3, e novamente foram encaminhadas para o banho Dubnoff a 37 ºC em agitação por 2h. Na terceira etapa, adicionou-se 18,5 mL de suco intestinal, 1,35 mL de $CaCl_2$ 9 mmol L^{-1} e NaOH 1 mol L^{-1}, para ajustar o pH a 7, colocado no banho Dubnoff novamente a 37 ºC em agitação por mais 2h.

Após serem retiradas do banho, foram colocadas durante 20 min em banho de gelo para que ocorresse a inativação da atividade enzimática, e posteriormente centrifugar por 10 min a 10.000 rpm para que ocorra a separação da fração bioacessível (sobrenadante), a qual foi utilizada para determinação dos analitos por MIP OES e da fração não bioacessível. A Figura 5 mostra a amostra de pimentão após a centrifugação. Para a determinação dosanalitos no sobrenadante por MIP OES, este foi diluído 5x.

Figura 7. Amostra de pimentão após a etapa de centrifugação.

Já para a fração não bioacessível (parte sólida) foi utilizada extração ácida assistida por ultrassom,a fim de validar os valores de bioacessibilidade. Este método foi desenvolvido pela aluna Ludimilla no seu Trabalho de Conclusão de Curso, em 2022 para a determinação da concentração total.

A extração foi realizada com aproximadamente 1,4 g da parte sólida de pimentão ou aproximadamente 100 mg para o pó de pápricas e pimentas em tubos de PP e logo adiconados 14 mL de HNO_3 1 mol L^{-1}. Em seguida, os tubos foram colocados no banho ultrassônico por cerca de 10 min em uma temperatura fixa de 40 ºC.

5. Resultados e discussão

5.1. Parâmetros de mérito

Para as determinações das concentrações bioacessíveis dos analitos B, Cu, Fe, K, Mg, Mn e Zn nas amostras de pimentões, papricas e pimentas foram empregados os parâmetros de mérito obtidos por Ludimilla e colaboradores 2022, em um estudo anterior e os mesmos são apresentados na Tabela 1. A faixa linear de calibração foi de 0,1 a 5 mg L^{-1} para cada analito A curva de calibração foi realizada a partir de uma solução multielementar estoque n°6 para ICP (Sigma Aldrich) contendo todos os elementos com concentração de 100 mg $L^{-1.}$

Tabela 3 - Parâmetros de mérito para as determinações dos analitos B, Cu, Fe, K, Mg, Mn e Zn nas amostras de pimentões, papricas e pimentas por MIP OES.

Analitos	a (L mg^{-1})	R^2	$LD_{(m)}$ (mg kg^{-1})	$LQ_{(m)}$ (mg kg^{-1})
B	14339,78	0,9995	0,18	0,6
Cu	197988,5	0,9999	0,24	0,79
Fe	14158,14	0,99905	0,58	1,92
K	64983,48	0,9991	0,85	2,81
Mg	333344,7	0,9985	0,38	1,26
Mn	57842,41	0,9998	0,07	0,24
Zn	24050,67	0,998	0,04	0,14

a: coeficiente angular; R^2: coeficiente de correlação linear ao quadrado; $LD_{(m)}$: limite de detecção do método; $LQ_{(m)}$: limite de quantificação do método.

5.2. Resultados das concentrações bioacessíveis nas amostras

Após a simulação das três etapas principais do sistema digestivo, o

sobrenadante foi recolhido para posterior determinação da fração bioacessível dos analitos e os resíduos sólidos foram utilizados para avaliar a fração não bioacessível. Para a avaliação da exatidão empregou-se o balanço de massa. No balanço de massa, a soma das concentrações da fração bioacessível e da fração não bioacessível deve ser próxima aos resultados encontrados para concentração total das amostras. Os valores de concentração total dos analitos B, Cu, Fe, K, Mg, Mn e Zn foram obtidos por Ludimilla e colaboradores.

De acordo com valores obtidos ficando entre 80 a119%, a recuperação para todas as amostras apresentaram bons resultados, comprovando assim a exatidão do método para determinação da fração bioacessível.

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados de concentração total (CT), concentração bioacessível (CB) e concentração não bioacessível (CNB) , fração bioacessível (FB, em %) e fração não bioacessivel (FNB, em %) dos analitos B, Cu, Fe, K, Mg, Mn e Zn nas amostras analisadas. O cálculo para determinação da fração bioacessível está apresentado na Equação 1.

$$\% \text{ fração bioacessível} = (\text{Conc.}_{\text{bioac.}} / \text{Conc.}_{\text{total}}) \times 100 \qquad \text{Equação 1}$$

Onde: $\text{Conc.}_{\text{bioac.}}$ é a concentração obtida da fração bioacessível e $\text{Conc.}_{\text{total}}$ é a concentração obtida da extração assistida por ultrassom (Ludimilla e colaboradores 2022).

Os analitos K e Mg apresentaram frações bioacessiveis significativas em todas as amostras da Tabela 3, todavia a amostra de pimentão verde apresentou resultados maiores em relação aos analitos citados. Sendo assim, os valores de porcentagem obtidos para K e Mg foram de 81 e 65% respectivamente. Da mesma forma, nas Tabelas 4 e 5, foram encontrados valores expressivos em todas as amotras para os analitos K e Mg. Logo, na Tabela 4, a amostra que apresentou maior fração bioacessível do analito K foi o sweet palermo laranja, com o valor de 81%, e para o analito Mg foi a amostra sweet palermo verde apresentado uma porcentagem de 75%. Já na Tabela 5 as amostras que apresentaram uma maior fração bioacessivel dos analitos K e Mg foram a pimenta caiena e páprica defumada, com os valores 111 (K) e

81% (Mg) respectivamente.

De acordo com os resultados das concentrações bioacessiveis (Tabelas 3,4,5), para algumas amostras a concentração de alguns elementos ficaram abaixo do limite de detecção, o que pode ser observado para o B, em quase todas as amostras com execeção das amostras de pimentão verde e vermelho. Para o Cu, o pimentão roxo (PP) apresentou a maior porcentagem bioacessivel, já para o Fe o pimentão branco (PB) apresnetaram alta bioacessibilidade.

Em amostras em pó, Cu e Fe apresentaram baixas porcentagens bioacessiveis, o que pode estar relacionado ao modo de preparo do produto, como a adição de conservantes e corarantes sintéticos. O Mn e o Zn apresentaram, tanto altas quanto baixas porcentagens bioacessiveis, onde em amostras em pó apresentaram valores baixos e para pimentõe in natura apresentaram altos resultados.

Para avaliar os benefícios e os riscos dos elementos que apresentaram concentrações bioacessíveis, as concentrações encontradas foram correlacionadas com o limite diário médio de ingestão recomendado. De acordo com alguns órgãos como ANVISA e SBPC, a dose diária de alguns elementos ultrapassaram o recomendado, assim podendo trazer alguns riscos à saúde.

O B apresentou concentrações na fração não bioacessivel nos pimentões vermelhos e verde, ficando dentro do padrão diário de consumo, 1 a 5 mg, fazendo com que não seja nocivo. Assim como o K, que apresenta altas concentrações em algumas amostras, páprica picante e páprica defumada, o valor permitido para esse elemento é de 4.700 mg e essas duas amostras passaram do que é permitido ingerir, e isso pode acarretar alguns problemas como distúrbios renais.

O Mg também apresentou altas concentrações, principalmente nas amostras em pó que usamos como temperos em nossos alimentos, sendo recomendado ingerir 260 mg. O excesso pode trazer riscos como hipotensão, náuseas, vômitos, entre outras coisas. Para o Cu, a quantidade diária recomendada é de 900 µg, as concentrações encontradas estão dentro do padrão diário recomendado para ingestão. De acordo com a ANVISA os padrões diários recomendados de Zn é de 7 mg, nenhuma amostra passou do limite recomendado.

Os elementos essenciais são de grande importância, porém se

consumidos de maneiras exageradas podem trazer alguns riscos à saúde, por isso devemos observar e cuidar a quantidade de certos alimentos na dieta no dia a dia. As indústrias alimentícias devem tomar o devido cuidado na produçãode alguns alimentos para assegurar uma boa saúde ao consumidor.

Tabela 4. Resultados das concentrações totais (CT), concentração bioacessível (CB) e concentração não bioacessível (CNB), porcentagem fração bioacessível (%FB) e porcentagem fração não bioacessível (%FNB) para as amostras de pimentão amarelo, verde, vermelho e laranja.

Elemento	CT	CNB	%FNB	CB	%FB	CT	CNB	%FNB	CB	%FB
	Pimentão amarelo (PA)					**Pimentão verde (PG)**				
B	0,132 ± 0,06	< $LD_{(m)}$	-	< $LD_{(m)}$	-	1,04 ± 0,08	0,85 ± 0,007	82	< $LD_{(m)}$	-
Cu	0,87 ± 0,07	0,55 ± 0,007	63	0,27 ± 0,04	31	3,69 ± 0,01	2,28 ± 0,11	62	1,07 ± 0,0003	29
Fe	4,47 ± 0,07	1,75 ± 0,15	39	3,56 ± 0,02	80	10,3 ± 11	6,54 ± 0,42	63	4,5 ± 0,25	44
K	1160 ± 19,29	700 ± 65	60	382 ± 35	33	1711 ± 52	532 ± 48	31	1382 ± 154	81
Mg	1365 ± 627	866 ± 72	64	277 ± 3	21	267 ± 21	125 ± 8	47	174 ± 2	65
Mn	1,67 ± 0,01	0,99 ± 0,07	59	0,56 ± 0,04	34	1,78 ± 0,02	0,94 ± 0,06	53	0,65 ± 0,0001	37
Zn	2,60 ± 0,18	2,30 ± 0,01	89	0,593 ± 0,003	23	1,89 ± 0,04	0,30 ± 0,004	16	1,44 ± 0,0002	76
	Pimentão vermelho (PR)					**Pimentão laranja (PL)**				
B	1,046 ± 0,088	0,93 ± 0,083	89	< $LD_{(m)}$	-	3,7 ± 0,27	< $LD_{(m)}$	-	< $LD_{(m)}$	-
Cu	2,43 ± 0,028	2,19 ± 0,167	90	0,36 ±	15	0,78 ± 0,009	0,75 ± 0,003	96	< $LD_{(m)}$	-
Fe	2,48 ± 0,100	0,98 ± 0,12	40	1,44 ± 0,0005	58	2,85 ± 0,035	< $LD_{(m)}$	-	2,37 ± 0,01	83
K	1838 ± 216	445 ± 40	24	1197 ± 105	65	128 ± 68	368 ± 20	29	855 ± 69,65	67
Mg	239 ± 20	64,24 ± 5,09	27	14 ± 13	61	111,2 ± 0,32	62,04 ± 6,54	56	62,04 ± 0,74	57
Mn	1,01 ± 0,01	0,63 ± 0,06	62	0,29 ±	29	1,654 ± 0,078	1,24 ± 0,003	75	0,24 ± 0,0001	15
Zn	1,63 ± 0,027	0,44 ± 0,06	27	1,08 ± 0,0003	66	7,05 ± 0,25	2,96 ± 0,054	42	2,99 ± 0,015	43

Tabela 5. Resultados das concentrações totais (CT), concentração bioacessível (CB) e concentração não bioacessível (CNB), porcentagem fração bioacessível (%FB) e porcentagem fração não bioacessível (%FNB) para as amostras de pimentão branco, roxo, sweet palermo laranja e sweet palermo verde.

Elemento	CT	CNB	%FNB	CB	%FB	CT	CNB	%FNB	CB	%FB
	Pimentão branco (PB)					**Pimentão roxo (PP)**				
B	1,19 ± 0,06	< $LD_{(m)}$	-	< $LD_{(m)}$	-	1,19 ± 0,095	< $LD_{(m)}$	-	< $LD_{(m)}$	-
Cu	0,58 ± 0,03	< $LD_{(m)}$	-	0,47 ± 0,0003	81	2,14 ± 0,083	0,56 ± 0,002	26	1,78 ± 0,008	83
Fe	1,94 ± 0,012	< $LD_{(m)}$	-	1,78 ± 0,008	92	2,12 ± 0,05	0,83 ± 0,15	39	1,48 ± 0,41	70
K	704 ± 8	416 ± 16	59	299 ± 3	43	1133 ± 81	443 ± 44	39	475 ± 26	42
Mg	104,8 ± 6,5	67,52 ± 0,43	64	44,55 ± 1,87	42	131,2± 10,7	105,9 ± 7,2	80	43,8 ± 0,87	33
Mn	1,36 ± 0,01	0,87 ± 0,009	73	0,59 ± 0,002	43	1,22 ± 0,05	1,36 ± 0,06	111	< $LD_{(m)}$	-
Zn	7,03 ± 0,42	4,33 ± 0,32	62	3,56 ± 0,014	51	3,73 ± 0,373	3,36 ± 0,25	90	0,59 ± 0,002	16
	***Sweet* Palermo Laranja (SPL)**					***Sweet* Palermo Verde (SPG)**				
B	< $LD_{(m)}$	< $LD_{(m)}$		< $LD_{(m)}$	-	0,78 ± 0,009	< $LD_{(m)}$	-	< $LD_{(m)}$	-
Cu	2,05 ± 0,153	0,55 ± 0,08	27	1,19 ± 0,06	58	0,49 ± 0,006	< $LD_{(m)}$	-	0,356 ± 0,001	73
Fe	1,75 ± 0,009	< $LD_{(m)}$	-	1,48 ± 0,42	85	1,76 ± 0,08	1,01 ± 0,11	57	0,59 ± 0,03	34
K	1876± 18	62± 69	33	1522± 86	81	1754 ± 81	925 ± 42	53	647 ± 11	37
Mg	111,2 ± 0,8	100,5 ± 7,7	90	< $LD_{(m)}$	-	101,9 ± 7,2	35,03 ± 1,86	34	76,44 ± 0,47	75
Mn	0,81 ± 0,06	0,33 ± 0,02	40	0,32 ± 0,04	40	0,78 ± 0,012	0,50 ± 0,06	64	0,41 ± 0,002	52
Zn	5,99 ± 0,45	3,45 ± 0,15	58	1,78 ± 0,009	30	4,07 ± 0,41	2,96 ± 0,054	73	2,8 ± 0,25	69

Tabela 6. Resultados das concentrações totais (CT), concentração bioacessível (CB) e concentração não bioacessível (CNB), porcentagem fração bioacessível (%FB) e porcentagem fração não bioacessível (%FNB) para as amostras de pimentão sweet palermo vermelho, sweet palermo amarelo, páprica doce, páprica picante, páprica defumada e pimenta caiena.

Elemento	CT	CNB	%FNB	CB	%FB	CT	CNB	%FNB	CB	%FB
	***Sweet* Palermo vermelho (SPR)**					***Sweet* Palermo Amarelo (SPA)**				
B	0,96 ± 0,06	< $LD_{(m)}$	-	< $LD_{(m)}$	-	0,74 ± 0,07	< $LD_{(m)}$	-	< $LD_{(m)}$	-
Cu	0,49 ± 0,002	0,186 ± 0,0007	38	0,35 ± 0,001	71	0,493 ± 0,04	0,186 ± 0,0007	38	0,32 ± 0,043	65
Fe	1,64 ± 0,08	1,20 ± 0,11	73	0,59 ± 0,003	36	1,15 ± 0,06	< $LD_{(m)}$	-	0,59 ± 0,003	51
K	2050 ± 174	1126 ± 24	55	1157 ± 124	56	1507 ± 132	532 ± 6	35	1049 ± 125	70
Mg	133 ± 13	97,53 ± 4,25	73	48,40 ± 3,19	36	120,3 ± 8,8	104,6 ± 3,5	87	37 ± 0,8	31
Mn	0,99 ± 0,06	0,66 ± 0,35	67	0,24 ± 0,0001	24	0,64 ± 0,066	0,322 ± 0,008	10	0,45 ± 0,033	70
Zn	5,78 ± 0,56	3,74 ± 0,28	65	1,18 ± 0,0009	20	4,43 ± 0,223	3,74 ± 0,015	85	0,59 ± 0,002	13
	Páprica doce (PS)					**Páprica picante (PH)**				
B	4,17 ± 0,04	< $LD_{(m)}$		< $LD_{(m)}$	-	4,20 ± 0,005	< $LD_{(m)}$	-	< $LD_{(m)}$	-
Cu	8,05 ± 0,48	6,8 ± 0,0004	84	0,9 ± 0,0004	11	6,47 ± 0,45	6,20 ± 0,41	96	0,90 ± 0,001	14
Fe	122,5 ± 0,009	59,45 ± 2,14	49	50,81 ± 0,66	41	135,58 ± 0,08	67,04 ± 3,64	49	51,58 ± 0,65	38
K	565 ± 17	480 ± 69	85	126± 35	22	6145 ± 469	1411± 67	23	5152 ± 3582	84
Mg	1907 ± 20	861 ± 57	45	84± 6	44	657 ± 9	223± 6	34	397 ± 147	60
Mn	8,40 ± 0,01	3,85 ± 0,177	46	3,05 ± 0,002	36	8,38 ± 0,009	4,96 ± 0,33	59	2,70 ± 0,004	32
Zn	25,70 ± 1,34	18,36 ± 0,845	71	3,59 ± 0,002	14	17,48 ± 1	11,74 ± 0,10	67	3,60 ± 0,007	20
	Páprica defumada (PD)					**Pimenta Caiena (PC)**				
B	2,79 ± 0,03	< $LD_{(m)}$	-	< $LD_{(m)}$	-	2,74 ± 0,04	< $LD_{(m)}$	-	< $LD_{(m)}$	-
Cu	7,94 ± 0,412	5,34 ± 0,32	67	1,80 ± 0,002	56	5,51 ± 0,039	3,87 ± 0,16	70	0,90 ± 0,001	16
Fe	80,33 ± 4,35	46,63 ± 2,90	58	30,52 ±1,27	38	74,5 ± 0,52	24,93 ± 0,126	33	24,74 ± 1,92	33
K	9870 ± 919	2003 ± 134	20	5899 ± 12	60	4069 ± 388	127 ± 7	3	4529 ± 417	111
Mg	644 ± 7	15 ± 34	24	522 ± 10	81	400 ± 13	77 ± 1	19	304 ± 36	76
Mn	15,32 ± 0,16	4,20 ± 0,17	27	8,08 ± 0,002	53	4,14 ± 0,03	1,34 ± 0,076	32	2,70 ± 0,003	65
Zn	11,51 ± 0,77	6,31 ± 0,25	55	6,58 ± 0,51	57	13,91 ± 0,81	10,23 ± 0,42	74	1,80 ± 0,003	13

6. Conclusão

Através dos estudos de bioacessibilidade para as amostras de pimentões, pimentas e paprica investigadas, observou-se que há liberação de elementos no trato gastrointestinal. Os analitos mais bioacessíveis foram Fe para as amostras de pimentão amarelo, laranja, branco e sweet palermo laranja. Para as amostras de pimentão verde, sweet palermo amarelo, páprica picante e pimenta caiena o analito mais bioacessivel foi o K. O Cu apresentou para pimentão branco, sweet palermo verde e vermelho maiores bioacessibilidaes. Além disso, a validação com balanço de massas apresentou bons resultados de recuperação comprovando a veracidade dos resultados.

Algumas concentrações passaram do limite permitido de ingestão recomendado, como o K nas amostras de páprica picante e páprica defumada. Assim o cuidado na dieta diária é necessária e regrar certas quantidades de alimentos que são ingeridos,além de que as indústrias têm um grande papel nesse sentido por produzirem alguns alimentos derivados de outros modificando assim a matriz do alimento. Foram encontrados altas porcentagens de frações bio acessiveis de K e Mg em todas as amostras, principalmente nas amostras em pó, o que pode acontecer pois esses condimentos são modificados na hora do seu preparo, podendo conter conservantes, corantes sintéticos.

O B apresentou menor bioacessibilidade, ficando abaixo do LD para quase todas as amostras, aparecendo somente na fração não bioacessivel em pimentões vermelhos e verdes. De modo geral pode-se concluir que o consumo de pimentão acarreta muitos beneficios a saúde por serem grandes fontes de vitaminas e minerais, sendo de grande ajuda na saúde da população, principalmente na prevenção de doenças crônicas.

7. Referências

ANDRADE, L. K. S. Determinação multielementar em amostras de pimentas e pimentões (Capsicum annuum) por MIP Oes. 2022. Trabalho de conclusão de curso. Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

AGILENT TECHNOLOGIES. Microwave plasma atomic emission spectroscopy (MP-AES) - Application eHandbook. 167 p., 2016.

BELL Peppers 101: Nutrition Facts and Health Benefits. Healthline. Disponivel em <https://www.healthline.com/nutrition/foods/bell-peppers> . Acesso em março de 2023.

Bonemann, D. H. Determinação da Concentração Total e Bioacessível de Metais em Tomates e Derivados por MIP OES. 2019. 86f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de PósGraduação em Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico sobre ingestão diária recomendada (idr) para proteína, vitaminas e minerais. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/inspecao/produtosvegetal/legislacao1/biblioteca -de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-269-de-22-de-setembro-de-2005.pdf/view

Carvalho, S. I. C.; Bianchetti, L. B.; Ribeiro, C. S. C.; Lopes, C. A. Pimentas do Gênero Capsicum no Brasil. Embrapa Hortaliças, Brasília, 2006.

Ceagesp. Disponivel em https://ceagesp.gov.br/comunicacao/noticias/conheca-os-beneficios-de-se-consumir-pimentao-vermelho-e-amarelo/#:~:text=Possui%20a%C3%A7%C3%A3o%20expectorante%2C%20desc

ongestionante%2C%20antibacteriana,na%20dissolu%C3%A7%C3%A3o%20de%20co%C3%A1gulos%20sangu%C3%ADneos. Acesso em abril de 2023.

CONHEÇA os beneficos de se consumir pimentão vermelho e amarelo, 2017.

EVERYTING to know about bell peppers. Medical News Today, 20521. Disponivel em https://www.medicalnewstoday.com/articles/bell-peppers#summary Acesso em março de 2023.

DEMIR, I., ELLIS, H., Development of pepper (capsicum annuum) seed quality., Annals of Aplied Biology, outubro de 1992.

FREUT, Luiza. Uninassau. Conheça os tipos e beneficios do pimentão para a saúde, 2022. Disponivel em <uninassau.edu.br/noticias/conheca-os-tipos-e-beneficios-do-pimentao-para-saude> Acesso em abril de 2023.

HERNÁNDEZ, D.H., AYERDI, S.G.S., GOÑI, I., Bioactive Compounds of four hot pepper Varieties (Capsicum annuum L.), Antioxidant Capacity, and Intestinal Bioaccessibility. Journal of Agricultural and food chemistry, vol 58, nº 6, 2010.

Institute of Medicine 2006. Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements. Washington, DC: The National Academies Press. Disponível em: https://doi.org/10.17226/11537. Acesso em abril de 2023.

Krug, F. J.; Rocha, F. R. P. Métodos de preparo de amostras para análise elementar. 2ª ed. São Paulo: EditSBQ, 2019.

LANA, M. M.; TAVARES, S. A. 50 Hortaliças: como comprar, conservar e consumir.Embrapa Hortaliças, 2010. Dsiponivel em < https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/854775/50-hortalicas-como-comprar-conservar-e-consumir> Acesso em abril de 2023.

LESMES, U.; MARCIERZANKA, A.; MACKIE, A.; MARZE, S.; MCCLEMENTS, D. J.;

MÉNARD, O.; RECIO, I.; SANTOS, C. N.; SINGH, R. P.; VEGARUD, G. E.; WICKHAM, M. S. J.; WEITSCHIES, W.; BRODKORB, A.; A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. Food Function, v. 5, p. 1113-1124, 2014.

LIU, X., BI, J., XIAO, H., MCCLEMENTS, D.J., Increasing carotenoid bioaccessibility from yellow peppers using excipient emulsions: Impact of lipid type and thermal processing., Journal of Agricuktural and food chemistry, 11 de setembro de 2015.

LOUZADA, A. R. R.; OLIZ, L. O.; GOMES, C. G.; BONEMANN, D.; SCHERDIEN, S. H.; RIBEIRO, A. S.; VIEIRA. M. A. Assessment of total
concentration and bioaccessible fraction of minerals in peaches from different cultivars by MIP OES. **Food Chemistry**, v. 391, p. 1-10, 2022.

MALDONADO, Válerio. O cultivo do pimentão, 2015 . Revista Cultivar. Disponivel em https://revistacultivar.com.br/artigos/o-cultivo-do-pimentao . Acesso em abril de 2023.

MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALLANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIE, C.; CARRRIÈRE, F.; BOUTROU, R.; CORREDIG, M.; DUPONT, D.; DUFOUR, C.; EGGER, L.; GOLDING, M.; KARAKAYA, S.; KIRKHUS, B.; LE FEUNTEUN, S.;

NOVAS pimentas e pimentões para a agricultura brasileira. Embrapa. Disponivel em https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/204034/novas-pimentas-e-pimentoes-para-a-agricultura-brasileira Acesso em abril de 2023.

ORDÓÑEZ, T.C., ESQUIVEL, P. JIMÉNEZ, V.M., CARLE, R., SCHWEIGGERT, R. M. Deposition Form and Bioaccessibility of Keto-Carotenoids from Mamey Sapote (Pouteria Sapota), Red Bell Pepper (Capsicum annuum), and Sockeye Salmos (Oncorhynchus nerka) Filet. Journal of Agricultural and food chemistry, 18 de fevereiro de 2016.

PAULUS, E., TOFFOLI, E., SANTIN, A., VALMORBIDA, R., PAULUS, D., Crescimento, produção e qualidade de frutos de pimenta (Capsicum annuum) em diferentes espaçamentos. Horticultura Brasileira, vol. 33, nº1, março 2015.

PIMENTÃO guia de identificação, 2021. Ceagesp. Disponivel em <https://ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2020/05/pimentao-1.pdf. > . Acesso em abril de 2023.

Pimentão, a hortaliça que conquistou a culinária mundial, 2019. Hortifruti, sabor e saúde. Disponivel em < https://saberhortifruti.com.br/pimentao-hortalica/> Acesso em abril de 2023.

PUGLIESE, A, O'Callaghan, Y., Tundis, R., GALVIN, k., MENICHINI, F., O'BRIEN, N., LOIZZO, M.R. In vitro investigation of the bioaccessibiliyy of carotenoids from raw, frozen anda boiled red chili peppers (Capsicum annuum). Europan Journal of Nutrition, 3 de julho de 2013.

PUGLIESE, A, O'Callaghan, Y., Tundis, R., GALVIN, k., MENICHINI, F., O'BRIEN, N., LOIZZO, M.R., The effect of domestic processing on the content and bioaccessibility of carotenoids from chili peppers (Capsicum species). Elsevier, 23 de maio de 2013.

ROCHA, P. A. Produção de pimentão sob diferentes estragéias de irrigação com e sem cobertura do solo, no semiárido baiano. 2017. Dissertação mestrado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano.

SANTA, F. B. Desenvolvimento de métodos análiticos para quantificação do teor total de minerais em palmas forrageiras cruas e cozidas do estado da Bahia. 2020. Dissertação (mestrado em química). Program de Pós – Graduação em Química, Universidade Federal da Bahia.

SBPC. Sociedade Brasileira de Patologia Clínica. Suspeita por intoxicação por boro

(bórax). Sbpc, 2019. Disponível em: https://www.sbpc.org.br/pt/noticias-e-eventos/noticias/519-suspeitadeintoxicacaoporboroborax#:~:text=Os%20sintomas%20relacionados%20%C3%A0%20exposi%20%C3%A7%C3%A3o,de%20qualquer%20rota%20de%20exposi%C3%A7%C3%A3o

SCHERDIEN, S. H. Desenvolvimento de Métodos Analíticos pata Determinação Elementar e Fração Bioacessível em Cogumelos Comestíveis por MIP OES. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

TOP 10 Health Benefits of Bell Peppers. Health Fitness Revolution, 2022. Disponivel em https://www.healthfitnessrevolution.com/top-10-health-benefits-of-bell-peppers/. Acesso em março de 2023.

VIEIRA, Lucas Caixeta. Agro 2.0. Tipos de pimentão são diversos e igualmente saborosos, 2020 Disponivel em em <a href="https://agro20.com.br/tipos-pimentao/"> . Acesso em abril de 2023.