CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
DOI: 10.12957/demetra.2025.82196

DEMETRA
Alimentação, Nutrição & Saúde

e-ISSN:2238-913X

Betsy Gois Santos[1]
Ingrid da Silva Pacheco de Oliveira[1]
Mariana ArandaRodrigues[1]
Eduarda Cavalcante Martinez[1]
Ana Luísa Carvalho Pinto[1]
Thais Matsue Uekane[1]

[1] Universidade Federal Fluminense[ROR], Faculdade de Farmácia, Departamento de Bromatologia. Niterói, RJ, Brasil.

Financiamento: Este trabalho foi realizado com o apoio das agências de fomento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo Edital ARC-2019 - Auxílio ao pesquisador recém-contratado, processo número E-26/010.002453/2019.

Correspondência
Thais Matsue Uekane
thaisuekane@id.uff.br

Editor Associado
Poliana Deyse Gurak

Estudo comparativo da composição centesimal, propriedades físico-químicas e tecnológicas do subproduto do café Arábica (casca e polpa)

Comparative study of the proximate composition, physical-chemical and technological properties of the Arabica coffee by-product bran (husk and pulp)

Resumo

O Brasil, maior produtor mundial de café Arábica, gera quantidades significativas de subprodutos sólidos durante o processamento. Esses subprodutos, geralmente descartados, representam potencial fonte de nutrientes valiosos para a indústria alimentícia. Existem dois métodos principais de processamento, seco e úmido, que geram subprodutos distintos: casca (seco) e polpa (úmido). Esses subprodutos possuem propriedades nutricionais e tecnológicas favoráveis para aplicações alimentícias. Este estudo teve como objetivo avaliar a composição centesimal (umidade, proteínas, lipídeos, fibras, cinzas), propriedades físico-químicas e tecnológicas de farelos derivados de subprodutos do café Arábica brasileiro (safras 2020-2022) obtidos a partir dos métodos de processamento seco e úmido. Os resultados mostraram farelos ricos em fibras alimentares (30-60%) e proteínas (8-11%), com baixo teor de gordura (0,66-5%). Além disso, os farelos apresentaram propriedades físico-químicas e tecnológicas promissoras para uso alimentar. Esses achados sugerem que os subprodutos do café possuem um potencial significativo como um novo ingrediente alimentar sustentável, promovendo o enriquecimento de produtos e contribuindo para a sustentabilidade da cadeia da indústria cafeeira.

Palavras-chave: Café. Fibra alimentar. Proteína. Novo ingrediente alimentar. Sustentável.

Abstract

Brazil, the world's leading producer of Arabica coffee, generates significant solid by-products during processing. These by-products, typically discarded, represent a potential source of valuable nutrients for the food industry. Two main processing methods, dry and wet, yield distinct by-products: cascara (dry) and pulp (wet). These by-products have favorable nutritional and technological properties for food applications. This study aimed to evaluate the proximate composition (moisture, protein, fat, fiber, ash), physicochemical and technological properties of brans derived from Brazilian Arabica coffee by-products (harvests 2020-2022) obtained from both dry and wet processing methods. The results showed bran rich in dietary fiber (30-60%) and protein

(cc) BY

(8–11%), with low-fat content (0.66–5%). Additionally, the bran had promising physicochemical and technological properties for food use. These findings suggest that coffee by-products hold significant potential as sustainable food ingredient, promoting product enrichment and contributing to the coffee industry's overall sustainability.

Keywords: Coffee. Dietary fiber. Protein. Novel food Ingredient. Sustainable.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café Arábica, e sua importância comercial tem aumentado constantemente. O processamento do café gera grandes quantidades de subprodutos agrícolas, que podem representar de 30 a 50% do peso total do fruto do café produzido.[1]

Existem dois métodos principais para o processamento dos frutos de café: seco e úmido. O processamento seco envolve a secagem natural ou artificial das cerejas de café imediatamente após a colheita. Uma vez que atinjam cerca de 12% de umidade, as cerejas são despolpadas mecanicamente, e o subproduto resultante desse método de processamento é chamado de casca.[2]

O processamento úmido envolve a remoção das partes externas do fruto em uma série de etapas, incluindo despolpamento, fermentação, lavagem e secagem. O despolpamento gera a maior quantidade de subprodutos sólidos e consiste na remoção da casca e da polpa externas, o que produz um subproduto denominado polpa.[3,4]

Para definir os processos apropriados para a valorização das cascas de café, é necessário caracterizar adequadamente este subproduto. Estudos realizados com essas matrizes mostram que esses subprodutos do café contêm nutrientes como proteínas, fibras alimentares, lipídios, carboidratos e minerais, que podem ser utilizados para agregar valor a produtos alimentícios.[4-6]

Eles também podem ser considerados uma fonte de compostos bioativos, como polifenóis, taninos, ácidos clorogênicos, cafeína e outros compostos com propriedades funcionais.[6]

A indústria agroalimentar está interessada em estratégias eficientes e de baixo custo para reduzir os resíduos gerados durante a produção de produtos alimentícios. Técnicas como desidratação e transformação de subprodutos em farinha e/ou farelo têm sido alternativas eficazes para reduzir seu volume e minimizar a ocorrência de reações de degradação, o que pode viabilizar seu uso pela indústria. Além disso, o uso desses subprodutos como ingredientes alimentares pode ajudar a preservar o meio ambiente, pois geralmente requerem tratamento adequado para sua disposição.[7]

Uma etapa importante no possível uso de subprodutos é considerar, além de sua composição química, suas propriedades tecnológicas. A avaliação do comportamento tecnológico de produtos farináceos e similares permite verificar a viabilidade de incorporação dessas matérias-primas em diferentes tipos de produtos alimentícios.[8]

Dada a alta produção de café Arábica no Brasil e a consequente grande geração de subprodutos sólidos, é relevante equilibrar essa produção com o uso e a aplicação adequada desses subprodutos do café. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a composição centesimal, físico-química e o potencial tecnológico de subprodutos sólidos de café Arábica processados por diferentes métodos de processamento e distintas safras, para um possível uso como ingrediente alimentar.

Até onde sabemos, este é o primeiro estudo a abordar essas características de subprodutos do café Arábica provenientes de diferentes métodos de processamento (úmido e seco), localização e épocas de colheita.

MATERIAL E METÓDOS

Amostras

Os subprodutos do café Arábica foram gentilmente fornecidos por produtores parceiros. As amostras do Rio de Janeiro foram coletadas na cidade de São José do Vale do Rio Preto, localizada na região serrana do estado (Latitude: 22º 09' 05" S Longitude: 42º 55' 28" W Altitude: 615 m), sendo 2 (duas) amostras de polpa de café obtidas pelo processamento úmido, denominadas RJ20 (safra 2020) e RJ22 (safra 2022). As amostras de Minas Gerais foram coletadas na cidade de Machado (Latitude: 21º 40' 29" S Longitude: 45º 55' 11" W Altitude: 820 m), sendo 2 (duas) amostras de casca de café obtidas pelo processamento seco, denominadas MG20 (safra 2020) e MG21 (safra 2021), e na cidade de Nepomuceno (Latitude: 21º 14' 09" S Longitude: 45º 14' 09" W Altitude: 840 m), sendo 1 (uma) amostra de casca de café, denominada MG22 (safra 2022).

As amostras do Rio de Janeiro (RJ20 e RJ22), provenientes do método de processamento úmido, foram coletadas e secas em estufa ventilada a uma temperatura de 55°C por 72 horas. As amostras de Minas Gerais (MG20, MG21 e MG22), por serem naturalmente secas, foram apenas coletadas e armazenadas sem a necessidade de tratamento térmico. As amostras foram armazenadas em sacos hermeticamente fechados adequados para grãos (Grainpro®) até a etapa de moagem. Para a obtenção do farelo, os subprodutos foram moídos utilizando um moinho doméstico (Mr.Coffee-IDS 57) e, em seguida, peneirados com um tammis de abertura de 850 µm (20 mesh), sendo armazenados em frascos de vidro fechados, protegidos da luz e mantidos em dessecadores (à temperatura ambiente de 21±2ºC) até o momento das análises.

As amostras de subprodutos foram consideradas como farelo, pois, de acordo com os requisitos específicos da IN MAPA nº 8, de 2 de junho de 2005, para ser considerado farinha, o produto deve ser peneirado e 95% devem passar por um tammis com abertura de 250 µm (60 mesh).[9] Esses farelos de subprodutos do café foram denominados FSC.

Composição Centesimal

A análise da composição centesimal foi realizada em triplicata, exceto o teor de fibras, que foi em duplicata. Umidade (método 012/IV); cinzas (método 018/IV); proteína (método 036/IV) utilizando 5,75 como fator de conversão devido à presença de cafeína nas amostras; lipídios (método 032/IV), e carboidratos por diferença da soma de cinzas, lipídios, proteínas e fibras de 100% (método Nifext), todos de acordo com o Instituto Adolfo Lutz.[10] A fibra alimentar total foi determinada pelo método enzimático-gravimétrico, conforme o *Codex Alimentarius* (AOAC 2009.01).[11] Os resultados de cinzas, lipídios, proteínas, fibras e carboidratos foram apresentados em base seca.

Análises Físico-Químicas

Acidez Total Titulável (ATT), Potencial Hidrogeniônico (pH) e Sólidos Solúveis Totais (SST) foram analisados a partir de extratos de FSC, adaptados do Instituto Adolfo Lutz.[10] O pH foi medido com um pHmetro digital Prolab (modelo PHB-500), previamente calibrado.[10] O teor de SST foi determinado em um refratômetro digital portátil Nova (modelo NOS DR500) e expresso em ºBrix.[10]

A análise colorimétrica foi realizada nas amostras de FSC utilizando um espectrofotômetro de refletância Gardner (modelo Color-View). Foi utilizada a escala CIELAB (refletância, d/8, D65 e ângulo de

observador de 10°). A partir dessa análise, foram obtidos os respectivos valores de L (luminosidade), índices a* e b* (coordenadas de cor).

Propriedades Tecnológicas

Para determinar as propriedades tecnológicas dos farelos, foram realizadas análises do Índice de Absorção de Água (AA), Índice de Absorção de Óleo (AO), Índice de Solubilidade em Água (SA) e Volume de Intumescimento (VI).[12,13]

A análise granulométrica do FSC foi adaptada da *American Association of Cereal Chemists* (método nº 66-20), em que cada peneira foi pesada após a ação vibratória do equipamento e os resultados foram expressos como porcentagem de material retido em cada peneira a partir da quantidade inicial de material (25 g).[14]

Análises Estatísticas

Os resultados foram expressos como média e desvio padrão. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e os tratamentos foram comparados entre si no nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$). Amostras que diferiram estatisticamente foram tratadas com o teste *t* para comparação de médias e correção de Bonferroni.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a composição centesimal das amostras de FSC estudadas neste estudo, em base seca.

Tabela 1. Composição centesimal de FSC de acordo com o método de processamento (polpa e casca) e ano de colheita. São José do Vale do Rio Preto-RJ e Machado-MG, 2022.

Parâmetros (%)	Processamento úmido		Processamento seco		
	RJ20	RJ22	MG20	MG21	MG22
Umidade	12,19^{a} ±0,01	7,05^{b} ±0,05	12,95^{c} ±0,06	14,86^{d} ±0,16	13,20^{c} ±0,15
Cinzas	8,13^{a} ±0,09	9,78^{b} ±0,01	7,41^{c} ±0,05	5,96^{d} ± 0,03	6,10^{cd} ±0,33
Lipídios	5,69^{a} ±0,11	3,25^{b} ±0,30	2,17^{c} ±0,25	1,56^{cd} ±0,35	0,66^{d} ±0,43
^{a}Proteínas	10,65^{a} ±0,22	11,62^{b} ±0,28	10,65^{a} ±0,25	8,61^{c} ±0,23	9,58^{d} ±0,25
Fibras	68,80^{a}± 0,12	55,87^{b}± 0,22	62,29^{c}± 0,02	41,29^{d}± 0,03	36,77^{e}± 0,02
^{b}Carboidratos	6,73^{a} ±0,35	19,48^{b} ±0,07	17,49^{c} ±0,32	42,58^{d} ±0,41	46,90^{e} ±0,47

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão.
Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si pela correção de Bonferroni ($p \leq 0,05$).
Os dados de cinzas, lipídios, proteínas, fibras e carboidratos são expressos em base seca.
[a]As proteínas foram calculadas usando 5,75 como fator de conversão.
[b]Os carboidratos foram calculados por diferença.
RJ20: amostra do RJ, processamento úmido, safra 2020; RJ22: amostra do RJ, processamento úmido, safra 2022; MG20: amostra de Machado – MG, processamento seco, safra 2020; MG21: amostra de Machado – MG, processamento seco, safra 2021; MG22: amostra de Nepomuceno – MG, processamento seco, safra 2022.

O teor de umidade entre as amostras de FSC apresentou diferença estatística significativa entre os diferentes métodos de processamento e dentro do mesmo método de processamento, exceto para as amostras MG20 e MG22. O teor de umidade pode ser afetado pelo tipo de processamento, pelas condições climáticas durante a secagem natural (processamento seco), pelo tratamento dos subprodutos antes do

armazenamento e pelas condições de armazenamento. Neste estudo, as amostras obtidas pelo método úmido foram submetidas a secagem artificial em laboratório. Mesmo sob condições fixas, o volume da amostra em secagem interfere diretamente no teor final de umidade, o que explica a diferença entre as porcentagens de umidade entre as amostras (RJ20 e RJ22).

De acordo com a resolução brasileira, o teor máximo de umidade aceito para produtos farináceos e similares é de 15%. Portanto, mesmo com variações entre as amostras de FSC, estas estão dentro dos parâmetros exigidos.[15] Teores de umidade inferiores a 15% (farináceos e similares) ou abaixo de 12% (grãos de café) podem impactar positivamente esses produtos, pois permitem maior vida útil e armazenamento, desfavorecendo as reações químicas e físicas que poderiam degradá-los.[16]

De acordo com o estudo realizado por Gemechu,[17] os subprodutos do café apresentam em sua composição um percentual de cinzas totais em base seca variando entre 3-7% para a casca e 6-9% para a polpa, sendo o potássio o mineral predominante em todos os subprodutos, seguido por magnésio, cálcio e fósforo. Todas as amostras de subprodutos de café analisadas neste estudo apresentaram percentuais dentro da faixa relatada na literatura para esse parâmetro.[2,3,17] Diferenças estatísticas significativas ($p \leq 0,05$) foram encontradas no teor de cinzas para amostras do mesmo método de processamento e entre safras, exceto para a amostra MG22, que não diferiu estatisticamente nesse parâmetro em relação às amostras MG20 e MG21. A amostra RJ22 (processamento úmido) apresentou o maior percentual de teor de cinzas totais. A variação encontrada no teor de cinzas pode ser explicada principalmente por fatores relacionados ao cultivo, como tipo de solo, condições climáticas durante a colheita e adubação. Esses fatores podem influenciar diretamente os níveis de minerais disponíveis no alimento.[18]

Em relação ao teor de lipídios, as amostras de FSC apresentaram diferença estatisticamente significativa, exceto para a amostra MG21, que não diferiu estatisticamente das amostras MG20 e MG22. Esses resultados indicam que a casca possui um teor de lipídios inferior ao da polpa. Gemechu[17] relata que a casca possui, em sua composição lipídica, predominantemente ácidos graxos saturados (61-69%), seguidos por ácidos graxos insaturados (18-39%). Essa composição de ácidos graxos pode ter efeito positivo na estabilidade desse FSC, pois pode desfavorecer a oxidação lipídica durante o período de armazenamento. De acordo com a literatura, a casca apresenta percentuais de lipídios que variam de 0,5-3%, enquanto a polpa pode apresentar percentuais que variam de 2-7%, dados que corroboram os resultados encontrados neste estudo.[3,19,20]

Diferenças significativas foram encontradas nos teores de proteínas tanto em relação às safras quanto aos métodos de processamento, exceto para a amostra MG20, que não diferiu significativamente da RJ20. Janissen & Huynhy[6] relataram que a casca possui teor de proteína de aproximadamente 9% e que, na polpa, pode variar entre 10-12%, valores semelhantes aos encontrados neste estudo. Braham & Bressani[21] sugeriram que a proteína da polpa de café possui concentrações de aminoácidos similares à farinha de soja, e superiores às do milho. Ácido aspártico, ácido glutâmico, glicina, alanina, prolina e lisina são mais elevados na polpa de café do que no milho e na soja. Apesar das diferenças no teor de proteína, os FSC avaliados no presente estudo apresentaram teores de proteína superiores aos de outras farinhas de subprodutos de frutas, como a manga (6,6%).[22]

As fibras alimentares totais das amostras de FSC variaram de 36,77% a 68,80%, com diferenças estatisticamente significativas entre todas as amostras analisadas. Isso era esperado, pois a parte externa do fruto é composta por material fibroso, que geralmente contém polissacarídeos não digeríveis, como celulose, hemicelulose e lignina polifenólica.[19,20] Turck et al.[2] relataram níveis variando de 33,2% a 37,1% para amostras de casca, o que corrobora os achados para as amostras MG21 e MG22. Santos et al.[19] encontraram um percentual de fibras alimentares de 60,5% para a polpa, que é semelhante aos valores encontrados para

subprodutos do mesmo método de processamento, RJ20 e RJ22. De acordo com o Regulamento sobre alegações nutricionais e de saúde em alimentos do Conselho da União Europeia (EC) nº 1924/2006, um alimento só pode ser considerado rico em fibras quando contém pelo menos 6g de fibra por 100g de produto.[23] Diante dos resultados, a polpa e a casca de café podem então ser consideradas subprodutos altamente ricos em fibras alimentares totais.

Em relação ao teor de carboidratos, foram encontradas diferenças significativas entre todas as amostras analisadas. Isso pode sugerir que este macronutriente pode ser influenciado tanto pela safra quanto pelo método de processamento. Além disso, esse teor é diretamente impactado por variações analíticas e erros que podem ter ocorrido durante as análises de composição centesimal.[24]

Turck et al.[2] relatam que a casca pode apresentar teores de 30-40% de carboidratos totais em sua composição. Isso é consistente com os valores encontrados para as amostras MG21 e MG22. No entanto, o mesmo não foi verificado para a amostra MG20.

As amostras do processamento úmido apresentaram percentuais mais baixos de carboidratos em comparação com as amostras do processamento seco, especialmente a amostra RJ20, que teve um percentual menor nesse parâmetro em relação à amostra do mesmo método de processamento (RJ22). As diferenças observadas no teor de carboidratos podem estar relacionadas às diferentes condições climáticas das safras e locais de cultivo. Eventos meteorológicos afetam diretamente os processos metabólicos das plantas, definem a produtividade potencial, a qualidade do produto e possíveis danos a sua composição.[25,26] O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)[27] observou que os últimos anos foram os mais quentes registrados desde a década de 80, destacando o ano de 2020 com um aumento de cerca de 1,2°C acima das temperaturas pré-industriais. Além disso, a Organização Meteorológica Mundial prevê uma probabilidade de 20% de que o aumento da temperatura exceda 1,5°C já em 2024: "A velocidade com que as temperaturas estão subindo é alarmante", declara. O café Arábica requer temperaturas médias anuais amenas entre 18-21 °C. Acima de 23°C, o desenvolvimento e a maturação dos frutos são acelerados, resultando em perdas de qualidade e variações em sua composição.[28]

Os resultados das análises físico-químicas das amostras de FSC são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Composição físico-química dos FSC (polpa e casca). São José do Vale do Rio Preto-RJ e Machado-MG. 2022.

Parâmetros	Processamento úmido		Processamento seco		
	RJ20	RJ22	MG20	MG21	MG22
[a]pH	6,31±0,01[a]	5,41±0,01[b]	5,09±0,02[c]	5,09±0,01[c]	5,1±0,06[c]
[b]ATT (mg/100g)	57,8±6,68[a]	160,37±0,0[b]	203,31±13,04[c]	202,47±12,99[c]	206,81±13,27[c]
[c]SST (°Brix)	1,4±0,10[a]	1,9±0,20[b]	2,4±0,12[c]	1,8± 0,06[b]	1,6± 0,06[ab]
[d]L*	79,11	79,29	79,13	79,13	79,13
[e]a*	0,00	0,57	1,49	1,49	1,49
[f]b*	7,97	6,04	6,75	6,75	6,75

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão.
Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si pela correção de Bonferroni (p≤0,05).
[a]pH: potencial hidrogeniônico; [b]ATT: acidez total titulável; [c]SST: sólidos solúveis totais.
[d]L: denota o grau de luminosidade; [e]a: +a indica vermelho; –a indica verde; [f]b*: +b indica amarelo; –b indica azul.
RJ20: amostra do RJ, processamento úmido, safra 2020; RJ22: amostra do RJ, processamento úmido, safra 2022; MG20: amostra de Machado – MG, processamento seco, safra 2020; MG21: amostra de Machado – MG, processamento seco, safra 2021; MG22: amostra de Nepomuceno – MG, processamento seco, safra 2022.

Os valores de pH das amostras de FSC variaram de 5,09 a 6,31. Hoseini et al.[29] relataram variação de pH de 5,35 a 6,63 para a casca, o que está dentro da faixa de valores observada para as amostras RJ20 e RJ22, obtidas pelo processamento úmido.

Esses valores de pH estão relacionados ao parâmetro de Acidez Total Titulável (ATT) do produto. Isso pode ser observado para a amostra RJ20, que apresentou um pH mais próximo da neutralidade e, consequentemente, valor de acidez menor. Outras amostras apresentaram valores de pH mais baixos e valores de ATT mais altos.

As amostras do método de processamento seco não apresentaram nenhuma diferença estatisticamente significativa em relação à ATT. No entanto, as amostras RJ20 e RJ22, mesmo sendo provenientes do mesmo método de processamento e da mesma fazenda, apresentaram diferença significativa. Isso pode ser devido aos processos fermentativos e oxidativos que podem ocorrer nos subprodutos desse método de processamento.

De acordo com Velásquez & Banchón,[30] existem fatores que podem explicar as diferenças encontradas em relação aos parâmetros de acidez e pH, tais como: estágio de maturação dos frutos, local de origem, solo, condições de colheita, bem como o tipo de processamento utilizado, associado ao processo fermentativo e oxidativo que ocorre devido à microbiota natural presente nas amostras submetidas às etapas de processamento úmido (colheita, água e maquinário). Todos esses fatores podem influenciar os níveis de acidez dos subprodutos do café, como observado no presente estudo.

Neste estudo, os valores de ºBrix encontrados variaram de 1,4 a 2,4. Sancho et al.[31] compararam, em sua pesquisa, os valores de ºBrix de resíduos de frutas tropicais brasileiras (faixa de 1,0-6,8) em relação a suas polpas (faixa de 8,4-20,6). Considerando que as polpas de frutas possuem alto teor de açúcar, isso pode indicar baixos níveis de açúcar nos resíduos, como observado nas amostras de FSC avaliadas neste estudo.

As amostras de FSC obtidas e estudadas são apresentadas na Figura 1.

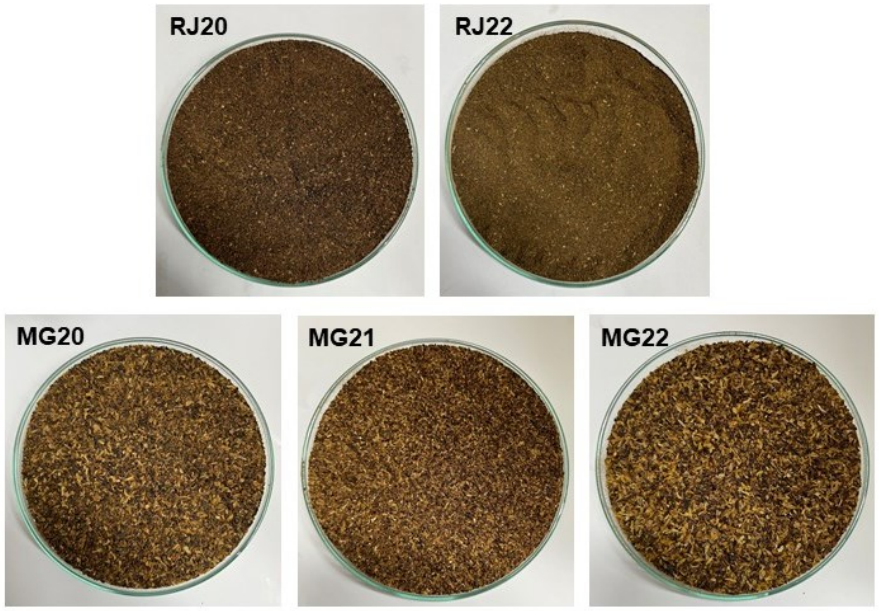
A análise colorimétrica foi realizada para determinar a curva de reflexão da luz visível de acordo com a escala CIELab.

A coordenada a* indica a medida da cromaticidade no eixo vermelho-verde (+a indica vermelho; –a indica verde). Foram encontrados valores positivos de a* para todas as amostras analisadas, indicando proximidade com a cor avermelhada. No entanto, as amostras RJ20 e RJ22, provenientes do processamento úmido, obtiveram valores menores de índice a*, sugerindo que essas amostras possuem menor coloração avermelhada do que as demais do processamento seco.

O índice b* indica a medida da cromaticidade no eixo amarelo-azul (+b indica amarelo; –b indica azul). Assim como no índice anterior, foram observados valores positivos de b* para as amostras, resultando em proximidade com a coloração amarelada.

O parâmetro de luminosidade obtido nas amostras analisadas (79,11-79,29) pode ser considerado alto em relação a outras matrizes de casca de café avaliadas. Por exemplo, no estudo de Cangussu et al.,[32] o índice de luminosidade obtido foi de 44,93. Os autores explicam que a baixa luminosidade pode ser parcialmente atribuída à degradação de antocianinas por ação enzimática (peroxidases e polifenol oxidases), que são liberadas por células danificadas na casca e na polpa durante o manuseio e secagem, ou por outros agentes oxidantes, como o oxigênio.[32]

Figura 1. Amostras dos FSC analisados de acordo com sua origem.



RJ20: amostra do RJ, processamento úmido, safra 2020; RJ22: amostra do RJ, processamento úmido, safra 2022; MG20: amostra de Machado – MG, processamento seco, safra 2020; MG21: amostra de Machado – MG, processamento seco, safra 2021; MG22: amostra de Nepomuceno – MG, processamento seco, safra 2022.

Os resultados da avaliação das propriedades tecnológicas das amostras de FSC são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades tecnológicas das amostras dos FSC. São José do Vale do Rio Preto-RJ e Machado-MG. 2022.

Propriedades	Processamento úmido		Processamento seco		
	RJ20	RJ22	MG20	MG21	MG22
[a]AA (g de água/g)	7,62[a]±0,04	7,56[a]±0,09	4,75[b]±0,13	4,86[b]±0,24	4,38[b]±0,27
[b]AO (g de óleo/g)	2,46[a]±0,03	2,32[b]±0,04	2,36[b]±0,02	2,51[a]±0,02	2,55[ab]±0,16
[c]SA (%)	10,63[a]±0,04	20,29[b]±0,05	28,45[c]±0,01	30,88[cd]±0,09	33,27[d]±0,03
[d]VI (mL/g)	8,67[a]±0,15	12,78[b]±0,08	11,75[b]±0,09	12,47[b]±0,03	12,75[b]±0,06

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão.
Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si pela correção de Bonferroni ($p \leq 0,05$).
[a]AA: índice de absorção de água; [b]AO: índice de absorção de óleo; [c]SA: índice de solubilidade em água; [d]VI: volume de inchaço.
RJ20: amostra do RJ, processamento úmido, safra 2020; RJ22: amostra do RJ, processamento úmido, safra 2022; MG20: amostra de Machado – MG, processamento seco, safra 2020; MG21: amostra de Machado – MG, processamento seco, safra 2021; MG22: amostra de Nepomuceno – MG, processamento seco, safra 2022.

Não foram encontradas diferenças significativas entre as amostras para AA do mesmo método de processamento, sugerindo que a safra não impactou nessa propriedade. No entanto, o tipo de processamento ao qual a amostra foi submetida pode impactar a AA. Amostras do processamento úmido apresentaram valores de AA mais altos do que as do processamento seco, com uma diferença estatisticamente significativa. Cangussu et al.[32] avaliaram apenas a AA da casca e encontraram valores semelhantes de 4,08 g de água/g. Comparando com outros tipos de produtos farináceos, Almeida et al.[33]

obtiveram valores mais baixos ao avaliar a AA da farinha de casca de feijoa (2,65 g de água/g), e Resende, Franca & Oliveira[34] obtiveram AA menor, 1,18 g água/g para farelo de resíduo de buriti.

A AA dos produtos está diretamente relacionada à sua composição química, uma vez que essa propriedade é principalmente impactada pelo teor de carboidratos, fibras alimentares e substâncias pécticas presentes.[33] As fibras desempenham papel importante nas propriedades tecnológicas, como retenção de água, inchaço, agente redutor de gordura durante a fritura, intensificador de volume, agente de ligação, substituto de gordura e estabilizador nas indústrias alimentícias.[17]

As amostras RJ20 e RJ22 (processamento úmido) apresentaram maior AA e maior teor de fibras totais. Exceto pela amostra MG20, as amostras MG21 e MG22 (processamento seco) mostraram valores mais baixos para esses dois parâmetros, respectivamente. Valores mais altos de AA são geralmente associados a fibras solúveis, pois elas possuem maiores propriedades de hidratação em comparação com fibras insolúveis.[32] Esse fato pode indicar a natureza das fibras presentes nessas amostras. Fisiologicamente, a hidratação das fibras, promovida pela absorção de água a partir da matriz, pode aumentar o volume fecal e diminuir o tempo de trânsito intestinal, o que pode ajudar na prevenção do câncer de cólon.[32]

A capacidade de hidratação do material da parede celular das plantas tem sido estudada em relação à hipótese de uma possível relação com a fibra alimentar. Elas podem determinar parcialmente o destino da fibra no trato digestivo (indução da fermentação) e são responsáveis por alguns de seus efeitos fisiológicos (aumento do volume fecal por fibra alimentar minimamente fermentada).[35]

A absorção de óleo (AO) é uma propriedade tecnológica principalmente relacionada à presença de grupos hidrofóbicos na matriz alimentar.[9] De acordo com os dados obtidos para a AO das amostras, encontrou-se diferença significativa entre as amostras do mesmo método de processamento. Isso sugere que, ao contrário da absorção de água, a safra pode ter impacto na capacidade de absorção de óleo. Cangussu et al.[32] avaliaram a casca e encontraram valores superiores aos deste estudo (5,21 g de óleo/g). Borges et al.[36] observaram resultados semelhantes ao analisarem a farinha de resíduo de açaí (2,47 g de óleo/g); no entanto, Leão et al.[37] obtiveram valores menores ao avaliarem o farelo de resíduo de pequi (1,35 g de óleo/g).

As proteínas são caracterizadas por possuírem grupos funcionais hidrofílicos e hidrofóbicos. Esses grupos hidrofóbicos podem se associar física e quimicamente com cadeias não polares do óleo e promover sua retenção. Portanto, a quantidade e a qualidade de proteínas presentes podem estar relacionadas a esse fator.[32]

A propriedade de AO melhora a capacidade de emulsificar e reter compostos químicos que podem conferir sabor aos produtos.[32] Determinar esse índice em subprodutos é relevante para o desenvolvimento de novas formulações envolvendo processos de cozimento, como a fritura. É importante entender essa capacidade dos subprodutos quando são adicionados como ingrediente alimentar, para determinar se, e em que medida, eles podem reter gordura e possivelmente preservar o sabor durante esse tipo de preparação.[32,33]

SA é usada para definir a quantidade de matéria solúvel em água presente em determinado produto.[34] Foram encontradas diferenças significativas entre amostras do mesmo método de processamento, bem como entre diferentes métodos de processamento, sugerindo que fatores relacionados ao cultivo, condições de colheita e manuseio das amostras podem interferir nessa propriedade.

A amostra RJ20 apresentou o menor percentual de SA em comparação com as demais e foi semelhante aos resultados encontrados por Leão et al.[37] para a farinha de resíduo de pequi (epicarpo + mesocarpo)

(16,7%). As amostras RJ22 e MG20 obtiveram valores de SA próximos aos encontrados por Resende, Franca & Oliveira[34] ao estudarem o farelo de resíduo de buriti (endocarpo) (23,61%). No entanto, no estudo desenvolvido por Silva et al.,[38] ao avaliarem farinhas de resíduos de frutas (cascas), os autores encontraram um percentual de SA mais elevado (72,24%) em comparação com os valores observados para o farelo de casca de café. Portanto, sugere-se que os valores de SA sejam impactados por diversos fatores citados, conforme evidenciado em outros parâmetros, mas principalmente em relação à matriz que está sendo avaliada.

AA e SA têm relação estreita com o teor de umidade da matéria-prima. Um produto desidratado ou com baixo teor de umidade pode ter baixa capacidade de absorção de água e, assim, alta capacidade de se solubilizar em água, uma vez que AA e SA são parâmetros inversamente proporcionais.[36] Essa afirmação corrobora os achados deste estudo, no qual, embora todas as amostras avaliadas apresentem teor de umidade dentro do estabelecido pela legislação brasileira para produtos farináceos e similares, é possível verificar que as amostras de processamento úmido (RJ) apresentaram níveis mais altos de AA e, consequentemente, obtiveram níveis mais baixos de SA, ocorrendo o oposto nas amostras do processamento seco (MG). A amostra RJ20 apresentou o menor percentual de SA, sendo a amostra que possui a menor quantidade de carboidratos e o maior teor de lipídios em sua composição, o que pode impactar a interação com a água.

A alta solubilidade de um ingrediente em água é uma propriedade importante para preparações como misturas dextrinadas, molhos, sopas, entre outros. Assim, produtos com valores mais altos de SA podem ser utilizados em alimentos que requerem baixas temperaturas de preparo ou que necessitam de ingredientes com maior solubilidade em água, como produtos de panificação, biscoitos e massas.[36]

O volume de intumescimento (VI) é definido como a fixação espontânea de água pela matriz proteica e depende da densidade, porosidade e solubilidade do material. Essa propriedade é o primeiro passo que influencia a solubilização dos polissacarídeos presentes no material e está relacionada às propriedades de hidratação do produto.[35]

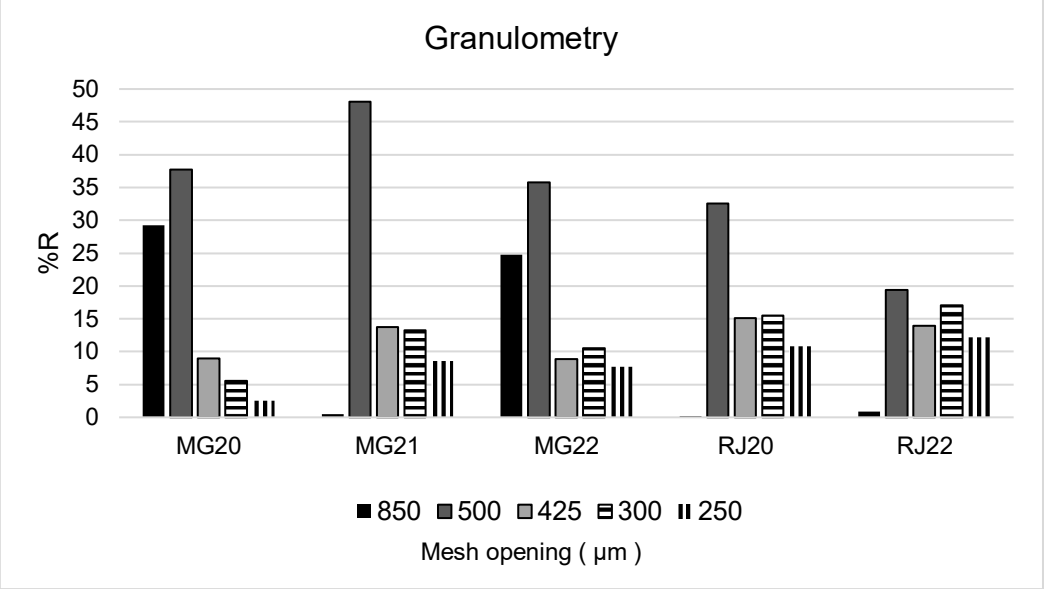
Em relação ao VI, apenas a amostra RJ20 diferiu significativamente das demais, sugerindo que as condições da safra podem ter impactado essa propriedade tecnológica da amostra. Cangusso et al.[32] obtiveram um valor de VI de 8,75 mL/g ao estudarem a casca do café, que é inferior ao observado para a casca (MG) analisada neste estudo. Resende, Franca & Oliveira[34] encontraram um valor de VI de 11,36 mL/g para resíduo de buriti, que é próximo às amostras deste estudo.

O intumescimento é a capacidade do material de se expandir e pode influenciar a capacidade de solubilização. O FSC da safra RJ20 apresentou o menor VI e a menor capacidade de solubilização (SA). As demais amostras mostraram níveis mais altos de inchamento e, consequentemente, de solubilidade em água.

O VI de farinhas obtidas a partir de subprodutos agrícolas é geralmente considerado mais alto quando comparado à farinha de trigo tradicional (4,75 mL/g).[39] Assim, sugere-se que farinhas obtidas de subprodutos possuem maior capacidade de hidratação, e que a substituição parcial da farinha de trigo por farinhas de subprodutos pode impactar positivamente na formulação de produtos alimentícios.

Os resultados da análise granulométrica são mostrados na Figura 2, que mostra a relação entre o percentual de peso retido em cada peneira e o tamanho da abertura da malha para cada amostra analisada.

Figura 2. Resultados da análise granulométrica dos FSC calculados como % de retenção com diferentes aberturas de malha (µm).



RJ20: amostra do RJ, processamento úmido, safra 2020; RJ22: amostra do RJ, processamento úmido, safra 2022; MG20: amostra de Machado – MG, processamento seco, safra 2020; MG21: amostra de Machado – MG, processamento seco, safra 2021; MG22: amostra de Nepomuceno – MG, processamento seco, safra 2022.
Conjunto de peneiras, previamente taradas, com aberturas de 20, 32, 40, 48 e 60 mesh (850; 500; 425; 300 e 250 µm), respectivamente.

Raghavendra et al.[40] destacaram a influência do tamanho das partículas na capacidade de retenção de água dos produtos. Os autores testaram diferentes tamanhos de partículas de fibra de coco e observaram aumento nas propriedades de hidratação com a diminuição do tamanho das partículas, explicado pelo aumento do volume total de poros e da área de superfície devido à ruptura da estrutura da matriz e ao cisalhamento da parede durante a moagem. No entanto, os autores também observaram uma diminuição nas propriedades de hidratação, com a redução do tamanho das partículas abaixo de 550 µm, sugerindo possíveis danos à matriz da fibra e colapso dos poros devido à moagem.

De acordo com os resultados obtidos na análise granulométrica dos FSC, é possível sugerir que o tamanho das partículas pode ter impactado as propriedades de hidratação das amostras.[40] As amostras de processamento úmido (RJ20 e RJ22) apresentaram maior percentual de peso retido em peneiras com aberturas menores, indicando que possuem partículas menores. Também mostraram menor capacidade de solubilização, ao contrário do que foi observado nas amostras de processamento seco (MG20, MG21 e MG22), que possuem partículas maiores e, consequentemente, apresentaram índices de solubilidade mais elevados.

É importante analisar o tamanho das partículas dos farelos, pois esse parâmetro está relacionado às propriedades tecnológicas e pode impactar diretamente as características sensoriais dos produtos, como cor e textura, e consequentemente, seu potencial uso em produtos alimentícios.[32]

CONCLUSÃO

Os resultados das análises realizadas nos subprodutos do café Arábica sugerem que esses farelos têm potencial para uso pela indústria alimentícia como substitutos parciais da farinha de trigo, com o objetivo de enriquecer produtos alimentares, pois são uma fonte valiosa de fibras alimentares. Isso contribui para o

aumento do consumo diário de fibras, conforme recomendado pelas autoridades de saúde. Além disso, esses subprodutos podem agregar valor em termos de propriedades tecnológicas, melhorando a textura dos produtos devido à sua capacidade de absorção e solubilidade em água, contribuindo para o desenvolvimento de produtos como pães, bolos, biscoitos e massas. Ademais, os farelos de subprodutos do café podem ser considerados ingrediente alimentar de baixo custo e sustentável, uma vez que sua utilização pode ajudar a reduzir os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado.

REFERÊNCIAS

1. Oliveira LS, Franca AS. An overview of the potential uses for coffee husks. In: Coffee in health and disease prevention. 2015. p. 283-91. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00031-0

2. Turck D, Bohn T, Castenmiller J, De Henauw S, Hirsch-Ernst KI, Knutsen HK, et al. EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA). Safety of dried coffee husk (cascara) from *Coffea arabica* L. as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. EFSA J. 2022;20(2). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7085

3. Durán CA, Tsukui A, Santos FKF, Martinez ST, Bizzo HR, Rezende CM. Coffee: general aspects and its use beyond beverage. Rev Virt Quím. 2017;9(1):107-34.

4. Mussatto SI, Machado EM, Martins S, Teixeira JA. Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. Food Bioprocess Technol. 2011;4:661-72. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z

5. Murthy PS, Naidu MM. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. Resour Conserv Recycl. 2012;66:45-58. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005

6. Janissen B, Huynh T. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. Resour Conserv Recycl. 2018;128:110-7. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001

7. Storck CR, Nunes GL, Oliveira BBD, Basso C. Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de preparações. Ciênc Rural. 2013;43:537-43. https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000300027

8. Iriondo-DeHond A, Garcia NA, Fernandez-Gomez B, Guisantes-Batan E, Escobar FV, Blanch GP, et al. Validation of coffee by-products as novel food ingredients. Innov Food Sci Emerg Technol. 2019;51:194-204. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.010

9. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 2 de junho de 2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2005 jun 3; Seção 1:91.

10. Institute Adolfo Lutz. Analytical norms of the Institute Adolfo Lutz (IAL) – Chemical and physical methods for food analysis. 4th ed. São Paulo; 2008.

11. Motarjemi Y. Codex Committee on nutrition and foods for special dietary uses. Food Control. 1991;2(3):185.

12. Robertson JA, de Monredon FD, Dysseler P, Guillon F, Amado R, Thibault JF. Hydration properties of dietary fiber and starch resistant: a European collaborative study. LWT-Food Sci Technol. 2000;33(2):72-9. https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0595

13. Sangnark A, Noomhorm A. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from sugarcane bagasse. Food Chem. 2003;80(2):221-9. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00257-1

14. American Association of Cereal Chemists (AACC). Approved methods of the AACC. 10th ed. St. Paul: AACC; 2000.

15. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RDC nº 273, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico de Misturas para Preparo de Alimentos e Alimentos Prontos para Consumo. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2005 set 22.

16. Oluwajuyitan TD, Ijarotimi OS, Fagbemi TN, Oboh G. Blood glucose lowering, glycaemic index, carbohydrate-hydrolysing enzyme inhibitory activities of potential functional food from plantain, soy-cake, rice-bran and oat-bran flour blends. J Food Meas Charact. 2021;15(4):3761-9. https://doi.org/10.1007/s11694-021-00954-2

17. Gemechu FG. Embracing nutritional qualities, biological activities and technological properties of coffee byproducts in functional food formulation. Trends Food Sci Technol. 2020;104:235-61. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.005

18. Toledo NMVD, Mondoni J, Harada-Padermo SDS, Vela-Paredes RS, Berni PRDA, Selani MM, Canniatti-Brazaca SG. Characterization of apple, pineapple, and melon by-products and their application in cookie formulations as an alternative to enhance the antioxidant capacity. J Food Process Preserv. 2019;43(9). https://doi.org/10.1111/jfpp.14100

19. Santos EM, de Macedo LM, Tundisi LL, Ataide JA, Camargo GA, Alves RC, et al. Coffee by-products in topical formulations: A review. Trends Food Sci Technol. 2021;111:280-91. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.064

20. Gouvea BM, Torres C, Franca AS, Oliveira LS, Oliveira ES. Feasibility of ethanol production from coffee husks. Biotechnol Lett. 2009;31(9):1315-9. https://doi.org/10.1007/s10529-009-0023-4

21. Braham JE, Bressani R. Coffee pulp: composition, technology and use. Ottawa: IDRC; 1979. [cited 2024 Jul 9]. Available from: http://hdl.handle.net/10625/6006.

22. Marcal S, Pintado M. Mango peels as food ingredient/additive: nutritional value, processing, safety and applications. Trends Food Sci Technol. 2021;114:472-89. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.012

23. European Parliament. Regulation (EC) No. 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. Official Journal of the European Union. 2006 Dec 30; L404:9. [cited 2024 Jul 9]. Available from: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02006R1924-20121129.

24. Tavares JS, da Cunha Mendes M, Passos SR, de Assis Lourenço A, dos Anjos Pederzoli B, Soares CG, Botelho FT. Nutritional composition of bisnaguinha type breads and comparison with nutritional labeling legislation. Health Surveill Debate Soc Sci Technol. 2017;5(1):45-51. https://doi.org/10.3395/2317-269X.00797

25. Gornall J, Betts R, Burke E, Clark R, Camp J, Willett K, Wiltshire A. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2010;365(1554):2973-89. https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0158

26. Holzkämper A, Calanca P, Fuhrer J. Analyzing climate effects on agriculture in time and space. Procedia Environ Sci. 2011;3:58-62. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.02.011

27. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). O aumento alarmante da temperatura global [Internet]. 2024 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/o-aumento-alarmante-da-temperatura-global.

28. Da Matta FM, Ronchi CP, Maestri M, Barros RS. Ecophysiology of coffee growth and production. Braz J Plant Physiol. 2007;19:485-510. https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014

29. Hoseini M, Cocco S, Casucci C, Cardelli V, Corti G. Coffee by-products derived resources: The review. Biomass Bioenergy. 2021;148:106009. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106009

30. Velásquez S, Banchón C. Influence of pre- and post-harvest factors on the organoleptic and physicochemical quality of coffee: a short review. J Food Sci Technol. 2022;1-13. https://doi.org/10.1007/s13197-022-05569-z

31. Sancho SDO, da Silva ARA, Dantas ANDS, Magalhães TA, Lopes GS, Rodrigues S, et al. Characterization of the industrial residues of seven fruits and prospection of their potential application as food supplements. J Chem. 2015;2015:264284. https://doi.org/10.1155/2015/264284

32. Cangussu LB, Melo JC, Franca AS, Oliveira LS. Chemical characterization of coffee husks, a by-product of *Coffea arabica* production. Foods. 2021;10(12):3125. https://doi.org/10.3390/foods10123125

33. Almeida JDSO, Dias CO, Arriola ND, de Freitas BS, de Francisco A, Petkowicz CL, et al. Feijoa (*Accasellowiana*) peel flours: A source of dietary fibers and bioactive compounds. Food Biosci. 2020;38:100789. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100789

34. Resende LM, Franca AS, Oliveira LS. Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. Food Chem. 2019;270:53-60. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.079

35. Guillon F, Champ M. Structural and physical properties of dietary fiber and consequences of processing on human physiology. Food Res Int. 2000;33(3-4):233-45. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00038-7

36. Borges MV, Sousa EB, Silveira MFA, de Souza ARM, Alves VM, Nunes LBM, Barros SKA. Physical-chemical and technological properties of açaí residue flour and its use. Res Soc Dev. 2021. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14517

37. Leão DP, Franca AS, Oliveira LS, Bastos R, Coimbra MA. Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocarbrasilense Camb*.) fruit by-products. Food Chem. 2017;225:146-53. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.027

38. Silva RM, do Nascimento Silva S, Wanderley RDOS, de Paiva ACC, de Medeiros AP. Chemical and colorimetric characterization of orange, melon and pineapple peel flours. Res Soc Dev. 2020;9(7). http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3912

39. Bolanho BC, Egea MB, Guido ES, Danesi EDG. Produção de farinha com subproduto do processamento de palmito pupunha (*Bactrisgasipaes*Kunth.) para aplicação em biscoitos. Rev Bras Prod Agroind. 2015;17(2):149-58. http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v17n2p149-158

40. Raghavendra SN, Swamy SR, Rastogi NK, Raghavarao KSMS, Kumar S, Tharanathan RN. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. J Food Eng. 2006;72(3):281-6. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.008

Colaboradoras

Uekane, TM participou da concepção do estudo, análise dos resultados até a revisão da versão final do artigo. Santos, BG participou nas etapas desde a realização das análises e resultados, análise estatística até a redação e revisão da versão final do artigo. Oliveira, ISP; Rodrigues, MA; Martinez, EC e Pinto,ALC participaram das etapas de realização das análises e resultados.

Conflito de Interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Recebido: 20 de fevereiro de 2024
Aceito: 20 de setembro de 2024