



USO DA MOAGEM E AEROCLASSIFICAÇÃO NA OBTENÇÃO DE CONCENTRADOS AMILÁCEO E PROTEICO DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* L.)

Leonardo Souza Diniz^{1*}; André Francisco da Costa Souza²; Carlos Wanderlei Piler de Carvalho³ Silmara Rossana Bianchi⁴

¹Mestrando pela CAPES, PPGCTA/UFRRJ

²Bolsista PIBIC/CNPq, DTA/UFRRJ

³Pesquisador, Embrapa Agroindústria de Alimentos

⁴Analista, Embrapa Agroindústria de Alimentos

*E-mail para correspondência: leeoldm1@gmail.com

RESUMO: O feijão-caupi destaca-se como boa fonte de amido e proteína vegetal, sendo uma leguminosa promissora para obtenção de ingredientes alimentícios. Neste estudo, a moagem seguida do fracionamento com aeroclassificação foram empregados como alternativa sustentável na produção de uma fração grosseira (D95=39 µm), rica em amido e outra fina, rica em proteína. Após o processo, a análise de microscopia eletrônica indicou maior quantidade de grânulos de amido na fração grosseira que nas demais. Além disso, a fração grosseira também apresentou maior valor de cristalinidade relativa (25,1%), em comparação com as farinha e fração fina, 17,0 e 15,8 %, respectivamente. Os resultados indicam que o fracionamento a seco é eficiente na obtenção de concentrado amiláceo de amido de feijão-caupi, e que este apresenta potencial uso como matéria-prima em aplicações tecnológicas e em produtos alimentícios.

Palavras-chave: feijão; amido; moagem ultrafina; aeroclassificação; propriedades tecno funcionais

INTRODUÇÃO

Dentre as pulses, o feijão se destaca pelo seu alto valor nutricional, apresentando considerável teor de proteína (~20%), amido de baixa digestão e baixo teor de lipídeos Alfaro-Díaz et al. (2023). Dentre eles, o feijão-caupi destaca-se como uma importante fonte de proteína vegetal (24–27%), sendo amplamente consumido devido ao seu valor nutricional e baixo custo, além de seu potencial para produção de ingredientes alimentícios Sahasakul et al. (2022). Nesse contexto, o fracionamento a seco, caracterizado por moagem ultrafina seguida de aeroclassificação, se destaca como um processo sustentável para a obtenção de concentrado proteicos e amiláceos de leguminosas, por dispensar o uso de água e reagentes químicos, além de baixo consumo energético e preservar as funcionalidades naturais dos componentes Schutyser; Van Der Goot (2011).

O processo de fracionamento permite separar os componentes da farinha do feijão-caupi em uma ultra fração fina (< 40 µm, com alto teor de proteínas) que é relevante em diferentes aplicações alimentícias, como elaboração de massas alimentícias e análogos cárneos vegetais De Angelis et al. (2024) e uma fração de maior granulometria (grosseira, rica em amido), que apresenta propriedades tecnológicas similares ao amido quando aquecido em água e cisalhamento (gelatinização e retrogradação). Podem ainda apresentar alta retrogradação e amido resistente, interessante em produtos sem glúten e de baixo índice glicêmico, modificando a textura e a estabilidade dos produtos Bangar et al. (2022).



MATERIAL E MÉTODOS

Materiais

Grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), variedade comercial fradinho, foram gentilmente doados pela empresa Granfino Alimentos (Nova Iguaçu, RJ).

Procedimento experimental

Os grãos de feijão-caupi, com umidade inicial de 15 %, foram secos em estufa com circulação e renovação de ar (SL 102, SOLAB, São Paulo, Brasil) a 50 °C por 48 h resultando em umidade final dos grãos de $5 \pm 2\%$. A moagem dos grãos secos foi realizada em um sistema modular LabControlPlus (Netzsch do Brasil, Pomerode, Brasil), equipado com o módulo de moagem CSM 50 (Netzsch do Brasil, Pomerode, Brasil) obtendo-se uma farinha (FR) a velocidades fixas do moinho em 12000 rpm e da peneira rotativa (também chamado de classificador) em 6000 rpm, em fluxo de ar constante a 100 m³/h, que posteriormente foi submetida à aeroclassificação conduzida neste mesmo sistema substituindo-se o módulo de moagem pelo de classificação CFS 5- HD/S (Netzsch do Brasil, Pomerode, Brasil), nas seguintes condições de processo: velocidade do sistema de alimentação em 5 rpm, velocidade da peneira (classificador) rotativa em 4000 rpm e fluxo de ar constante a 70 m³/h. Dessa forma, foram obtidas duas frações: Fração Grosseira (FG) e Fração Fina (FF).

A determinação do tamanho de partículas foi realizada em um analisador de difração de raios laser S3500 (Microtract, Montgomery Ville, EUA) utilizando uma unidade de líquidos, sendo álcool isopropílico usado como agente dispersor. Os resultados foram apresentados na forma de D95, ou seja, 95% das partículas maior ou igual ao valor medido. Os espectros de difração de raios-X foram obtidos em analisador de difração de raios X D2 Phaser (Bruker, Karlsruhe, Alemanha), operando a 10 mA e 30 kV, na faixa de leitura entre 2 e 32° (2 θ) a 0,15 ° min⁻¹. A cristalinidade relativa (CR) foi calculada por meio do software DIFFRAC.EVA (Bruker, Karlsruhe, Alemanha). As micrografias foram obtidas com microscópio eletrônico de varredura (MEV) de bancada TM3000 (Hitachi, Toquio, Japão) de baixo vácuo coletadas na magnitude de 1000x. O tratamento estatístico dos dados e elaboração dos gráficos foram obtidos com o RStudio (Posit Software, Boston, EUA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de moagem resultou em uma farinha fina (D95 < 40 μ m), com rendimento de 83% (Tabela 1) e, após a aeroclassificação, obteve-se duas frações FG e FF, sendo a FG foi a que apresentou o maior rendimento (53,0%), como esperado neste processamento. Quanto aos tamanhos de partícula, houve diferença significativa entre a farinha e suas respectivas frações, com a FG apresentando os maiores valores de D95, a FF os menores e a farinha valores intermediários. Esses resultados indicam que a moagem foi eficiente na redução do tamanho das partículas e separação dos componentes celulares, enquanto a aeroclassificação conseguiu separar os constituintes, concentrando maior parte dos grânulos de amido na fração grosseira (Figura 1).

Tabela 1 –Rendimento e tamanho de partícula para os processos de moagem ultrafina e aeroclassificação

Moagem Ultrafina		Aeroclassificação			
Rendimento FR (%)	D95 FR (µm)	Rendimento FG (%)	D95 FG (µm)	Rendimento FF (%)	D95 FF (µm)
83,2	35,9 ± 0,5 ^b	53,0	39,0 ± 0,9 ^a	28,3	24,7 ± 1,5 ^c

Valores expressos como média ± desvio-padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05). FR: Farinha; FG: Fração Grosseira; FF:Fração Fina. D95: significa que 95% do volume de partículas analisadas são menores que o valor informado.

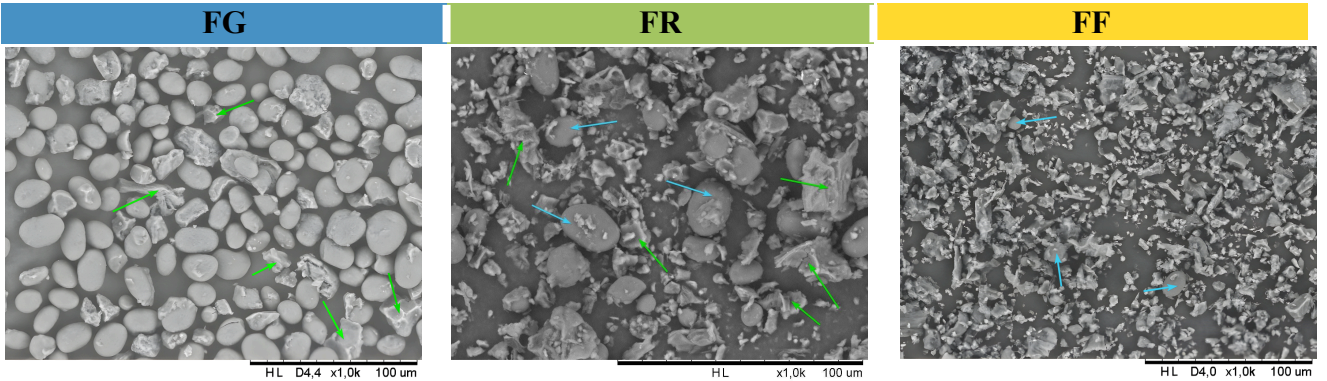


Figura 1. Microestrutura das farinhas de feijão caupi obtidas por moagem e aeroclassificação. As setas verdes indicam a presença de fragmento de parede célula, enquanto as azuis de grânulos de amido.

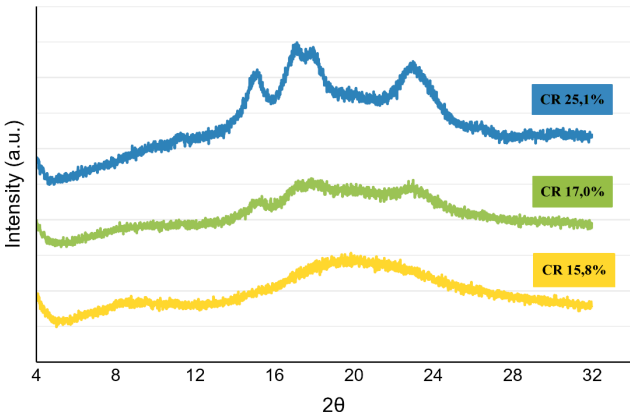


Figura 2. Difração de raios-X de farinhas de feijão caupi obtidas por moagem e aeroclassificação: FG (■), FR (■), FF (■).

As micrografias obtidas por MEV evidenciaram que a fração grosseira (FG) é composta predominantemente por grânulos de amido íntegros, com poucos fragmentos celulares, ao passo que a fração fina (FF) apresentou o perfil oposto, ou seja, poucos grânulos de amido e excesso de partículas pequenas, constituídas provavelmente por uma mistura de fragmentos celulares e corpos proteicos (aglomerados normalmente globulares de tamanho inferior a 10 µm). A micrografia da



farinha (FR), por sua vez, revelou um perfil intermediário, combinando características morfológicas das duas frações.

O perfil de difração de raios-X revelou que a FG apresentou curva com picos mais intensos e definidos, aproximando-se do padrão característico do amido tipo C, com evidentes picos a 15, 17, 18 e 23° Pena et al. (2025), enquanto a FR exibiu picos de baixa intensidade e pouco definidos e a FF apresentou uma curva suave e sem picos evidentes, indicando baixa presença de amidos. Quanto à cristalinidade relativa, a FG obteve o maior valor, com 25,1%, enquanto a FR e a FF apresentaram valores relativamente menores próximos entre si. Logo, o fracionamento a seco mostrou-se eficiente na concentração dos grânulos de amido na FG, fato evidenciado pelo aumento expressivo da cristalinidade relativa nessa fração.

CONCLUSÃO

Os resultados indicaram que a moagem seguida do fracionamento com o uso de ar é uma tecnologia que pode ser usada para obter frações com maior concentração de amido e, consequentemente obtenção de concentrado amiláceo de feijão-caupi. Ademais, o concentrado obtido apresentou características similares ao amido (fração grosseira), com potencial de uso para aplicações em que a presença de alta concentração e amido é relevante, a exemplo da panificação.

REFERÊNCIAS

- ALFARO-DIAZ, Arturo *et al.* Common beans as a source of food ingredients: Techno-functional and biological potential. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 22, n. 4, p. 2910–2944, jul. 2023. DOI: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.13166>
- BANGAR, Sneh Punia *et al.* Recent advancements in properties, modifications, and applications of legume starches. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 46, n. 11, nov. 2022. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.16997>
- DE ANGELIS, Davide *et al.* Techno-functional properties of dry-fractionated plant-based proteins and application in food product development: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 104, n. 4, p. 1884–1896, 15 mar. 2024. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.13168>
- PENA, Francielle Barbosa *et al.* Physicochemical, nutritional, and sensory properties of ready-to-eat whole grain bean snacks. *Food Research International*, v. 217, p. 116754, out. 2025. DOI: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996925010920>
- SAHASAKUL, Yuraporn *et al.* Nutritional Compositions, Phenolic Contents, and Antioxidant Potentials of Ten Original Lineage Beans in Thailand. *Foods*, v. 11, n. 14, p. 2062, 12 jul. 2022. DOI: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/14/2062>
- SCHUTYSER, M. A. I.; VAN DER GOOT, A. J. The potential of dry fractionation processes for sustainable plant protein production. *Trends in Food Science & Technology*, v. 22, n. 4, p. 154–164, abr. 2011. DOI: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224410002645>