

Produção de aquafaba de grão-de-bico em pó: investigação das propriedades físicas e tecno-funcionais

Palavras-Chave: aquafaba, spray-drying, higroscopicidade.

Autores(as):

Júlia Mantovani Semedo, FEA – UNICAMP

Marluci Palazzolli da Silva Padilha (coorientadora), FEA – UNICAMP

Vanessa Martins da Silva, FEA – UNICAMP

Prof^a. Dr^a. Miriam Dupas Hubinger (orientadora), FEA – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A aquafaba é o líquido viscoso resultante do cozimento de grãos de leguminosas, sendo uma alternativa à substituição do ovo em formulações alimentícias veganas. Entretanto, alguns dos desafios industriais deste produto no formato em pó é a redução da vida de prateleira devido à alta higroscopicidade. Diante da necessidade de aplicação de adjuvantes tecnológicos, o objetivo deste estudo foi produzir aquafaba em pó aplicando goma arábica e maltodextrina zero açúcar como agentes carreadores na secagem por spray-drying, avaliando as propriedades físicas dos produtos obtidos visando a extensão da vida de prateleira.

METODOLOGIA:

Materiais

O grão-de-bico (cultivar Cícero) foi doado gentilmente pela Embrapa Hortaliças (Brasília, Brasil). Em relação aos materiais adjuvantes, a goma arábica e a maltodextrina zero açúcar foram doadas pela Nexira (São Paulo, Brasil) e Lorenz (Maringá, Brasil), respectivamente.

Preparo da aquafaba de grão-de-bico

Para a obtenção da aquafaba fresca, o grão-de-bico foi limpo e adicionado em água destilada na proporção grão-de-bico:água de 1:3 (m/m) por 16 h à 25°C para hidratação e remoção de compostos antinutricionais. Em seguida, as amostras foram lavadas em água corrente e misturadas com água destilada na proporção grão-de-bico:água destilada de 1:2 e cozidas em panela de pressão (Instant Pot® 7 em 1 panela de pressão programável multiuso, IPDUO60 V2) a 115–118 °C (uma faixa de pressão autogênica de 70–80 kPa) por 20 min. Após o cozimento, o grão-de-bico cozido foi separado através de uma peneira e a aquafaba recuperada.

Secagem da aquafaba de grão-de-bico usando spray-dryer

A aquafaba fresca de grão-de-bico foi adicionada de adjuvantes combinados (1 maltodextrina : 1 goma arábica) e separadamente, em ambos os casos nas proporções 5%, 10% e 15% m/v. A secagem da aquafaba foi realizada em spray dryer (Buchi, Modelo B-290, Suíça) com bico atomizador de fluido duplo de 0,7 mm, usando como condições de secagem a vazão de ar de 35 m³/h, vazão de alimentação 6 mL/min e temperatura de entrada de 170 °C (Begliyev, Yavuz e Ok, 2023).

Caracterização dos pós de aquafaba de grão de bico: atividade de água, umidade, higroscopicidade e tamanho de partícula

A atividade de água (a_w) das formulações foi avaliada utilizando um dispositivo Aqualab (Decagon Devices, EUA), sendo os valores expressos entre 0 a 1. A umidade dos pós foi avaliada usando uma balança determinadora de umidade Moc63u (Shimadzu, Brasil). Além disso, as formulações foram caracterizadas em termos de diâmetro médio ponderado pelo volume e distribuição de tamanho de partícula por difração a laser (Mastersizer 2000, Malvern, Reino Unido), utilizando etanol para dispersão das partículas, conforme descrito por Silva et al. (2019). E o estudo da higroscopicidade dos pós foi

conduzido de acordo com Tonon *et al.* (2008), em que aproximadamente 1 g de cada amostra, em duplicata, foi acondicionada em dessecador contendo solução saturada de NaCl (Umidade relativa ~ 75,3%) à 45 °C . As amostras foram estocadas até atingir uma massa de equilíbrio, sendo verificada a massa das amostras semanalmente, e a higroscopicidade foi expressa como g de umidade adsorvida/100 g de material seco. O cálculo foi realizado de acordo com a Equação 1.

$$\text{Higroscopicidade (\%)} = \frac{\text{Massa de água}}{\text{Massa seca}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Isotermas de sorção

As isotermas de sorção foram determinadas pelo método gravimétrico. Seis soluções saturadas de sal foram preparadas (LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, NaCl e KCl) para fornecer valores de umidade relativa de 11,3%, 22,6%, 32,8%, 43,2%, 75,3% e 84,3%, respectivamente, a 25°C. Amostras em triplicatas de 0,5 g de pó da aquafaba de grão-de-bico formuladas com maltodextrina (MD - 5%, 10% e 15%) e goma arábica (GA - 5%, 10% e 15%) e a mistura (MD:GA - 5%, 10% e 15%) foram pesadas em cápsulas plásticas e equilibradas sobre tais soluções saturadas em dessecadores a 25°C. O tempo necessário para o equilíbrio foi de 3 a 4 semanas, com base na mudança de peso da amostra, que não excedeu 0,1%. O teor de umidade de equilíbrio foi determinado em estufa a vácuo a 70°C até peso constante.

Propriedades tecno-funcionais dos pós de aquafaba de grão de bico: capacidade gelificante e formação de espuma

O valor de concentração mínima de gelificação do pó de aquafaba foi determinado usando um método desenvolvido por Aydemir e Yemenicioglu (2013). O pó de aquafaba foi dissolvido em água destilada nas concentrações de 10, 15 e 20% (m/v). Tubos de ensaio (com diâmetro de 11 mm) foram preenchidos com cada solução e aquecidos a 85°C por 60 min. Os tubos foram resfriados em água gelada por 5 min e armazenados a 4°C por mais 24 h. Após isso, ao inverter os tubos, as amostras que não escorregaram nem caíram foram consideradas como tendo formado gel. Portanto, a concentração mínima de gelificação é o menor valor de concentração encontrado na amostra que apresentou o comportamento mencionado acima.

A capacidade de formação de espuma do produto foi avaliada usando alíquotas de 25 mL de aquafaba, sendo homogeneizadas em Ultraturrax® (IKA®-Werke GmbH & Co. KG, Germany) a 13.000 rpm por 3 min. Para as análises de pós de aquafaba realizou-se, considerando o grau brix inicial do produto, a reidratação por meio da diluição de 2,5 g de pó em 100 mL de água Milli-Q®. As espumas produzidas a partir da aeração das dispersões foram avaliadas em termos de capacidade de formação (% overrun) de espuma e estabilidade das espumas (%) após 1h de produção de acordo com as equações 2 e 3 a seguir.

$$\text{Overrun (\%)} = \frac{\text{Volume final após aeração}}{\text{Volume inicial}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Estabilidade (\%)} = \frac{\text{Volume final após 1 h}}{\text{Volume final após aeração}} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Análise estatística dos dados

A caracterização física dos pós foi realizada em duplicatas independentes, enquanto as propriedades tecno-funcionais foram avaliadas em triplicatas independentes. Os resultados foram apresentados em termos de média e desvio padrão. Os dados foram avaliados por análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%, utilizando o pacote estatístico SAS (versão 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A caracterização dos pós de aquafaba de grão-de-bico pode ser visualizada na Tabela 1, sendo eles adicionados de maltodextrina zero açúcar (MD), goma arábica (GA) ou a mistura dos adjuvantes (MD:GA). A aplicação dos adjuvantes reduziu a atividade de água, higroscopicidade e o tamanho de partícula dos pós de aquafaba de grão-de-bico.

| Amostra | Atividade de água | Umidade em base seca (%) | Higroscopicidade (%) | Tamanho de partícula (D _{4,3} - μm) |
|----------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|--|
| Controle | 0,21±0,01 ^a | 6,56±0,49 ^{ab} | 25,51±0,03 ^a | 15,98±0,46 ^a |
| MD5% | 0,11±0,01 ^c | 7,36±1,22 ^a | 11,43±0,37 ^g | 11,80±0,30 ^c |
| MD10% | 0,14±0,01 ^c | 7,16±1,10 ^{ab} | 13,59±1,43 ^{fg} | 12,15±0,10 ^c |
| MD15% | 0,14±0,02 ^c | 5,21±0,35 ^{ab} | 13,84±0,58 ^{efg} | 15,28±0,54 ^{ab} |
| GA5% | 0,12±0,01 ^c | 4,62±0,36 ^{ab} | 19,82±0,75 ^{bc} | 8,28±0,03 ^e |
| GA10% | 0,13±0,01 ^c | 5,80±0,53 ^{ab} | 20,47±0,45 ^b | 10,35±0,05 ^c |
| GA15% | 0,13±0,01 ^c | 6,20±0,19 ^{ab} | 19,09±1,10 ^{bcd} | 9,24±0,38 ^{de} |
| MD:GA5% | 0,19±0,01 ^{ab} | 4,90±0,15 ^{ab} | 16,92±1,13 ^{ced} | 14,60±0,26 ^{ab} |

| | | | | |
|----------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| MD:GA15% | 0,15±0,01 ^{bc} | 4,39±0,81 ^b | 16,73±1,10 ^{cdef} | 14,19±0,25 ^b |
| MD:GA15% | 0,14±0,01 ^c | 5,28±0,87 ^{ab} | 15,94±0,13 ^{def} | 9,12±0,59 ^{de} |

Tabela 1 – Propriedades físicas dos pós de aquafaba de grão-de-bico, como atividade de água, umidade expressa em base seca, higroscopicidade e tamanho de partícula (n= 2). Valores com a mesma letra minúscula em uma coluna não são estatisticamente diferentes ($p > 0,05$).

A distribuição de tamanho de partícula dos pós de aquafaba de grão-de-bico estão ilustrados na Figura 1. A amostra controle (sem carreador), assim como as amostras contendo goma arábica, apresentaram uma maior faixa de distribuição de tamanho, variando o tamanho de partícula entre 0,4 a 180 μm . É importante mencionar que as partículas menores apresentam maior superfície de contato para interação com a umidade presente no ar, facilitando a absorção de água. Por outro lado, os pós formulados com maltodextrina modificada e mistura de maltodextrina modificada e goma arábica apresentaram uma faixa de distribuição de tamanho mais estreita, entre 2 a 140 μm , contribuindo com melhor homogeneidade e propriedades físicas mais consistentes.

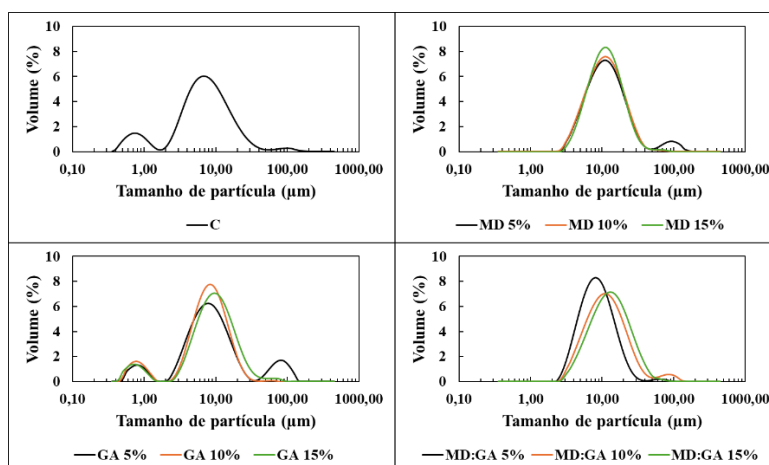


Figura 1 – Distribuição de tamanho de partícula dos pós de aquafaba de grão-de-bico.

A Figura 2 apresenta o aspecto dos pós de aquafaba de grão-de-bico usando diferentes materiais adjuvantes, após o ensaio de isotermas de sorção. Algumas mudanças nas características físicas dos pós de aquafaba de grão-de-bico armazenados a 25 °C e seis umidades relativas diferentes puderam ser observadas visualmente. Quando armazenadas em umidades relativas de 43,2% ou inferiores, todas as amostras permaneceram como um pó fluído. Em uma atividade de água (a_w) de 0,752, os pós mostraram a formação de blocos duros e escuros, característicos de compactação, um estágio avançado de aglomeração (Aguilera, Del Valle, & Karel, 1995). Dessa maneira, o pó armazenado nessas condições será suscetível a transformações físicas indesejáveis como colapso, pegajosidade e aglomeração, afetando a qualidade do pó.

| SAIS | AMOSTRAS | | | | | | | | | |
|---|----------|------|-------|-------|------|-------|-------|---------|----------|----------|
| | CONTROLE | MD5% | MD10% | MD15% | GA5% | GA10% | GA15% | MD:GA5% | MD:GA10% | MD:GA15% |
| LiCl $a_w = 0,112$ | | | | | | | | | | |
| CH ₃ COOK $a_w = 0,226$ | | | | | | | | | | |
| MgCl ₂ $a_w = 0,328$ | | | | | | | | | | |
| K ₂ CO ₃ $a_w = 0,432$ | | | | | | | | | | |
| NaCl $a_w = 0,752$ | | | | | | | | | | |
| KCl $a_w = 0,843$ | | | | | | | | | | |

Figura 2 – Aspecto dos pós de aquafaba de grão-de-bico produzidos usando diferentes materiais carreadores, como maltodextrina modificada (MD), goma arábica (GA) e mistura de maltodextrina modificada e goma arábica (MD:GA), após o ensaio de isotermas de sorção pelo método gravimétrico.

Os dados experimentais das isotermas de sorção foram ajustados aos modelos GAB e BET (três parâmetros). Os melhores resultados foram encontrados para o modelo GAB ($R^2 > 0,94$ e $E < 21,7\%$) que são apresentadas na Figura 3, mostrando que o teor de umidade de equilíbrio aumentou à medida que a atividade de água aumentou a 25°C. Além disso, diferenças consideráveis podem ser observadas entre as isotermas do pó da aquafaba de grão-de-bico formulados com diferentes carreadores. Os teores de umidade de equilíbrio das amostras com maltodextrina modificada ou da mistura de maltodextrina modificada e goma arábica (concentrações 10% e 15%), foram significativamente mais baixos em uma atividade de água específica do que a amostra controle (sem carreador). Similarmente, outro trabalho indicou que a incorporação de aditivos, como a maltodextrina e goma arábica em proteína hidrolisada de carne de frango, resultou na diminuição da quantidade de água absorvida ao modificar o equilíbrio entre sítios hidrofílicos e hidrofóbicos (Kurozawa et al., 2009).

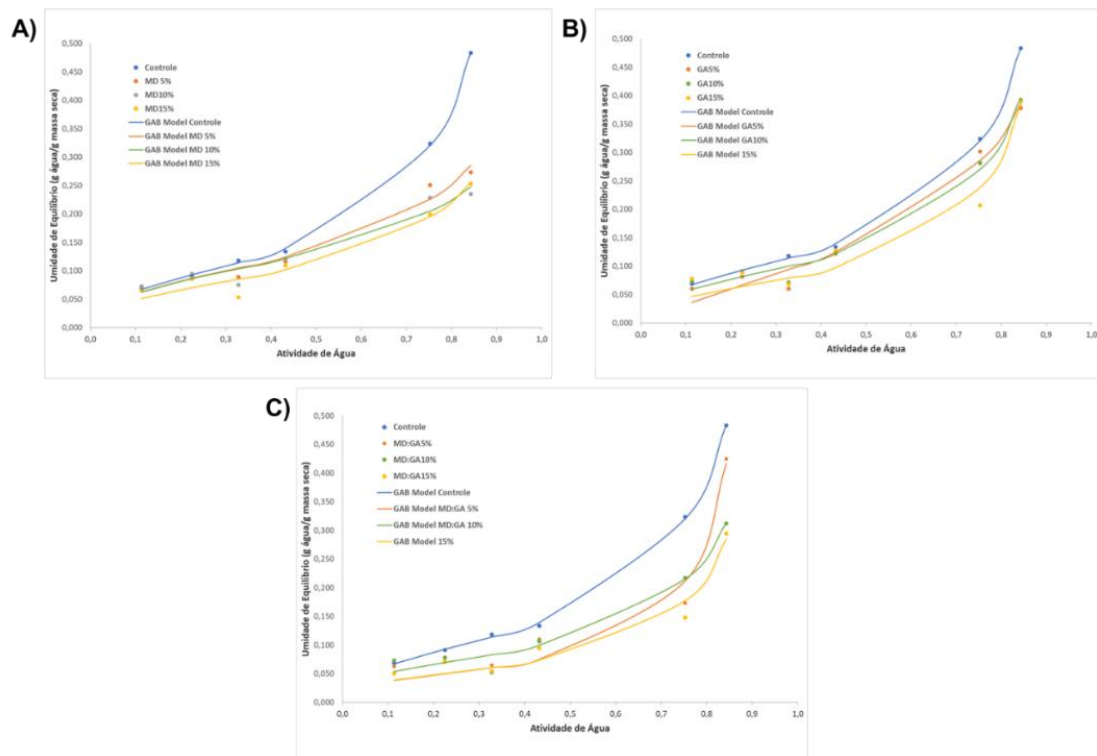


Figura 3 - Isotermas de sorção de água de pós de aquafaba de grão-de-bico produzidos usando diferentes materiais carreadores, como maltodextrina modificada (A), goma arábica (B) e mistura de maltodextrina modificada e goma arábica na razão 1:1 (C). Nesta figura: linha azul representa a amostra controle (sem carreador), linha laranja carreador na concentração 5% (m/m), linha verde carreador na concentração 10% (m/m) e linha amarela carreador na concentração 15% (m/m).

Propriedades tecno-funcionais dos pós de aquafaba de grão-de-bico

O estudo das propriedades tecno-funcionais, como a capacidade gelificante e a formação de espuma, dos pós de aquafaba de grão-de-bico foi realizado para determinar se a adição de materiais carreadores, além do processo de spray-drying, poderia afetar a qualidade dos produtos resultantes. Dessa maneira, a Figura 4 ilustra a capacidade gelificante dos pós resultantes. O pó controle foi capaz de produzir gel em todas concentrações estudadas. Ao utilizar a maltodextrina modificada como material carreador (MD5%, MD10% e MD15%) da aquafaba de grão-de-bico foi observado a formação de gel em concentrações de reidratação dos pós acima de 15% (m/v). Por outro lado, quando aplicada a mistura de goma arábica e maltodextrina modificada a formação de gel não foi evidenciada, exceto para formulação MD:GA15% reidratada na concentração de 20% (m/v).

Na tabela 3 estão representados os resultados obtidos dos testes de capacidade e estabilidade na formação de espuma com os pós de aquafaba. Como já esperado, a aplicação de material adjuvante reduziu a capacidade de formação de espuma e estabilidade da mesma. Além disso, é importante ressaltar que os pós foram reidratados na mesma proporção (2,5 g em 100 mL), o que influenciou nas respostas obtidas.

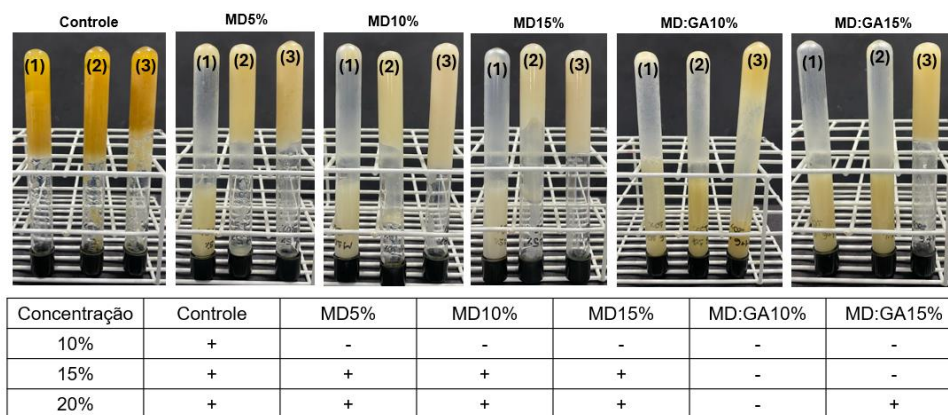


Figura 4 – Teste de gelificação dos pós de aquafaba de grão-de-bico. Os pós foram reidratados nas concentrações de 10% (m/v) (1), 15% (m/v) (2) e 20% (m/v) (3). Após a inversão dos tubos, a formação do gel é representada pelo sinal (+), e a não formação do gel pelo sinal (-).

| Amostras | Capacidade de formação de espuma (%) | Estabilidade da espuma (%) |
|------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| Aquafaba não atomizada | 124,00±4,00 ^d | 51,55±4,15 ^b |
| Controle | 221,33±6,11 ^a | 59,03±0,76 ^a |
| MD5% | 130,67±2,31 ^d | 8,17±1,84 ^{cd} |
| MD10% | 126,67±6,11 ^d | 3,16±0,15 ^d |
| MD15% | 134,67±4,61 ^{cd} | 4,93±1,66 ^d |
| MD:GA10% | 150,67±2,31 ^b | 7,96±0,12 ^{cd} |
| MD:GA15% | 142,67±2,31 ^{bc} | 11,22±0,18 ^c |

Tabela 3 – Capacidade e estabilidade da espuma dos pós de aquafaba de grão-de-bico. Valores com a mesma letra minúscula em uma coluna não são estatisticamente diferentes ($p > 0,05$).

CONCLUSÕES:

A incorporação dos materiais adjuvantes (goma arábica e maltodextrina modificada) melhoraram significativamente as propriedades físicas dos pós de aquafaba de grão-de-bico em comparação com o controle (sem adjuvantes), em que observou-se redução da atividade de água, higroscopicidade, umidade em base seca e do tamanho das partículas. Além de manter as propriedades tecno-funcionais analisadas.

BIBLIOGRAFIA

- AGUILERA, J. ; DEL VALLE, J.; KAREL, M. Caking phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, n. 5, p. 149-155, 1995.
- AYDEMIR, L. Y.; YEMENICIOĞLU, A. Potential of Turkish Kabuli type chickpea and green and red lentil cultivars as source of soy and animal origin functional protein alternatives. **LWT-Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 686-694, 2013.
- Begliyev, H.; Yavuz, N.; OK, S. Effects of high-pressure homogenization on the rheological properties of spray-dried aquafaba powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 46, n. 8, p. e14389, 2023.
- BLIGH, E. Graham; DYER, W. Justin. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian journal of biochemistry and physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.
- KUROZAWA, Louise Emy; PARK, Kil Jin; HUBINGER, Miriam Dupas. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 287-296, 2009.
- LEWICKI, Piotr P. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. **International journal of food science & technology**, v. 32, n. 6, p. 553-557, 1997.
- SILVA, M. P. et al. Production and characterization of solid lipid microparticles loaded with guaraná (Paullinia cupana) seed extract. **Food Research International**, v. 123, p. 144-152, 2019.
- TONON, Renata V.; BRABET, Catherine; HUBINGER, Míriam D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of food engineering**, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.