



ISSN: 2595-1661

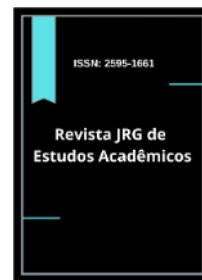
ARTIGO

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](https://portaldeperiodicos.capes.gov.br)

## Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>



### Influência das Condições de Tostagem na Colorimetria de Cotilédones de Feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

Influence of Roasting Conditions on the Colorimetry of Cowpea Cotyledons (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

DOI: 10.55892/jrg.v8i19.2674

ARK: 57118/JRG.v8i19.2674

Recebido: 09/11/2025 | Aceito: 13/11/2025 | Publicado on-line: 14/11/2025

**Larissa Rebeca Chagas de Jesus<sup>1</sup>**

<https://orcid.org/0009-0007-1483-3467>

<https://lattes.cnpq.br/6920663390686680>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: larissarebecanutri@gmail.com

**Jhennifer da Silva Sousa<sup>2</sup>**

<https://orcid.org/0009-0009-7188-496X>

<http://lattes.cnpq.br/8803134005821577>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: jhenyss@hotmail.com

**Luís José Duarte Franco<sup>3</sup>**

<https://orcid.org/0000-0003-0047-054X>

<http://lattes.cnpq.br/9982845614506382>

Analista, Embrapa, Meio-Norte, Teresina, Piauí, Brasil

E-mail: luis.franco@embrapa.br

**Daniel Marcos de Freitas<sup>4</sup>**

<https://orcid.org/0009-0006-2769-6521>

<http://lattes.cnpq.br/0000000000000000>

Embrapa, Meio- Norte, Teresina, Piauí, Brasil

E-mail: daniel.araujo@embrapa.br

**Jorge Minoru Hashimoto<sup>5</sup>**

<https://orcid.org/0000-0003-3687-8811>

<http://lattes.cnpq.br/8101725786390766>

Embrapa, Meio-Norte, Teresina, Piauí, Brasil

E-mail: jorge.hashimoto@embrapa.br



### Resumo

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa de ampla importância socioeconômica e nutricional, especialmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, destacando-se por seu alto teor proteico e pela adaptabilidade a condições semiáridas. Considerando sua relevância alimentar e potencial de processamento, o presente estudo avaliou as alterações colorimétricas dos cotilédones submetidos a diferentes condições de tostagem, com variação de temperatura e tempo. O

<sup>1</sup> Mestranda em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí UF, Brasil

<sup>2</sup> Mestranda em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí UF, Brasil

<sup>3</sup> Analista, Embrapa, Meio- Norte, Teresina, Piauí UF, Brasil

<sup>4</sup> Analista, Embrapa, Meio- Norte, Teresina, Piauí UF, Brasil

<sup>5</sup> Doutor, Pesquisador da Embrapa, Meio- Norte, Teresina, Piauí UF, Brasil

experimento foi conduzido segundo um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), abrangendo 12 tratamentos, com temperaturas entre 150,5 °C e 249,5 °C e tempos de 5,9 a 34,1 minutos. A tostagem foi realizada em equipamento adaptado com controle digital de temperatura, e as medições de cor (parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) foram obtidas por colorímetro no sistema CIE Lab\*. Os dados foram submetidos à análise de variância, teste de Scott-Knott (5%) e regressão polinomial de segundo grau. Os resultados revelaram efeito altamente significativo ( $p < 0,001$ ) das condições de tostagem sobre todos os parâmetros colorimétricos. O valor de  $L^*$  apresentou redução progressiva com o aumento da temperatura e do tempo, indicando escurecimento acentuado dos cotilédones. Os maiores valores de  $L^*$  foram observados nos tratamentos 7 (35,49a) e 2 (35,12a), enquanto os menores ocorreram nos tratamentos 4 (10,17f) e 8 (7,07g). O parâmetro  $a^*$  apresentou variação entre 17,88e e 23,07a, com tendência de aumento em temperaturas intermediárias e declínio sob condições mais severas. Já o parâmetro  $b^*$  variou de 6,68f a 34,46a, com elevação inicial e redução em níveis extremos de tostagem. Os modelos de regressão ajustados apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,93, evidenciando forte ajuste entre as variáveis independentes e os parâmetros de cor.

**Palavras-chave:** processamento térmico, colorimetria, tostagem.

### **Abstract**

*The cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is a legume of great socioeconomic and nutritional importance, especially in the North and Northeast regions of Brazil, standing out for its high protein content and adaptability to semi-arid conditions. Considering its nutritional relevance and processing potential, the present study evaluated the colorimetric changes in cowpea cotyledons subjected to different roasting conditions, with variations in temperature and time. The experiment was conducted following a Central Composite Rotational Design (CCRD), comprising 12 treatments, with temperatures ranging from 150.5 °C to 249.5 °C and times from 5.9 to 34.1 minutes. Roasting was performed in an adapted coffee roaster with digital temperature control, and color measurements ( $L$ ,  $a$ , and  $b^*$  parameters) were obtained using a colorimeter in the CIE Lab\* system. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), Scott-Knott test (5%), and second-order polynomial regression. The results revealed a highly significant effect ( $p < 0.001$ ) of roasting conditions on all colorimetric parameters. The  $L^*$  value showed a progressive reduction with increasing temperature and time, indicating marked darkening of the cotyledons. The highest  $L^*$  values were observed in treatments 7 (35.49a) and 2 (35.12a), while the lowest occurred in treatments 4 (10.17f) and 8 (7.07g). The  $a^*$  parameter ranged from 17.88e to 23.07a, with an increasing trend at intermediate temperatures and a decline under more severe conditions. The  $b^*$  parameter varied from 6.68f to 34.46a, showing an initial rise and subsequent decrease at extreme roasting levels. The adjusted regression models presented determination coefficients above 0.93, indicating a strong fit between the independent variables and color parameters.*

**Keywords:** thermal processing, colorimetry, roasting.

## 1. Introdução

O feijão-caupi é uma planta dicotiledônea, pertencente à família “*Fabacea*”, ordem “*Fabales*”, gênero “*Vigna*”, subespécie “*Vigna unguiculata*” (L.) apresenta característica comum em relação as demais leguminosas, onde os cotilédones são as duas “metades” da semente do feijão, ou seja, as partes internas que ficam dentro do tegumento (a casquinha). No Brasil, o feijão recebe duas classificações: feijão-comum (grupo I) e feijão-caupi (grupo II), podendo receber diversas nomenclaturas como: feijão-corda, feijão- macassar, feijão-fradinho dentre outras (Chaves; Bassinello, 2022).

A cultura do feijão-caupi ocupa lugar de destaque no Brasil e no mundo, refletindo sua importância agrícola e socioeconômica. De acordo com dados do Embrapa, para o período de 2004-2008 a produção brasileira ficou próxima de 482 mil toneladas em cerca de 1,3 milhão de hectares, com média de produtividade de 366 kg/ha. Em escala global, em 2007, estimou-se uma produção de aproximadamente 3,6 milhões de toneladas em 12,5 milhões de hectares, com o Brasil figurando entre os principais produtores mundiais. No Brasil, essa leguminosa é fortemente cultivada no Nordeste, tendo maior produção nos estados do Ceará, Bahia, Piauí, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Maranhão, onde se concentra boa parte da oferta nacional (IBGE, 2024; EMBRAPA, 2025).

Por se tratar de um grão bastante versátil e com grande potencial tecnológico e nutricional, o feijão-caupi vem apresentando grande destaque em alguns estudos por seu forte potencial de aplicação em alguns produtos (EMBRAPA, 2022).

O grão de feijão corresponde à semente íntegra da planta, composta estruturalmente por tegumento (casca), cotilédones e embrião. O tegumento atua como barreira protetora, sendo rico em fibras, compostos fenólicos e taninos condensados, que conferem resistência mecânica e propriedades antioxidantes. Já os cotilédones, localizados no interior do grão, representam a principal fração da semente, responsáveis pelo armazenamento de proteínas, amido, lipídios e minerais essenciais ao desenvolvimento do embrião durante a germinação. Por sua composição, os cotilédones constituem a parte nutricionalmente mais relevante do feijão, justificando sua análise isolada em estudos sobre qualidade e valor funcional (Chaves; Basilleno, 2022).

Além do aspecto nutricional, critérios como a cor e textura dos grãos devem ser avaliadas, pois podem impactar positivamente na hora da compra dos grãos. A cor é um atributo fundamental no julgamento da qualidade de um alimento, uma vez que, o aspecto visual é uma das principais características a serem percebidas para a aceitação do produto, por isso a medição da cor permite descrever, quantificar e simular com o auxílio de modelos matemáticos a percepção da cor pelos seres humanos (Ferreira; Spricigo, 2017).

Levando em consideração os aspectos mencionados acima para a comercialização dessa leguminosa, faz-se válido mencionar sua grande aplicabilidade culinária, pois os grãos podem ser transformados em farinhas e adicionados em preparações culinárias como: ensopados, massas de pães etc. Atualmente, os grãos são transformados em farinhas através do método de moagem dos grãos, porém ao utilizar esses meios não se consegue ter o controle correto da temperatura tornando estes métodos deficientes. (Martins, 2015).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo principal avaliar a cor dos cotilédones de feijão-caupi, após o processo de tostagem mediante controle das variáveis de tempo e temperatura e compará-lo ao grão cru.

## 2. Metodologia

Para o presente estudo, os tempos de tratamento térmico foram estabelecidos com base em um delineamento central composto rotacional (DCCR), fundamentado em pesquisas prévias realizadas com amendoim submetido à torra em diferentes temperaturas e tempos de exposição. O delineamento experimental e as respectivas variáveis independentes encontram-se descritos na Tabela 1.

A tostagem dos cotilédones de feijão foi realizada em um tostador de grãos de café (marca), adaptado para o processamento dos cotilédones, sendo aplicados 12 tratamentos distintos, conforme descrito no delineamento central composto rotacional (DCCR). O equipamento foi acoplado a um controlador de temperatura Novus N 1040 (24 V), utilizado para o monitoramento e a manutenção precisa da temperatura durante o processo de torrefação.

As medições da cor dos cotilédones foram realizadas com o auxílio de um colorímetro da marca Konica Minolta, modelo CR-410 head (Konica Minolta Optics, Inc., Japão), configurado com o iluminante padrão D65. O acessório Granular Attachment CR-50 foi preenchido com os cotilédones até sua borda superior, e o Glass Light Projection Tube CR-A33e foi acoplado perpendicularmente ao recipiente. Esse conjunto garante uma acomodação uniforme da amostra, assegurando a reprodutibilidade entre as leituras.

Foram realizadas cinco leituras consecutivas para cada amostra, sempre com o recipiente CR-50 completamente preenchido com os cotilédones. As leituras de cor foram obtidas no sistema CIE Lab\*, onde ( $L^*$ ) representa a luminosidade (0 = preto, 100 = branco), o eixo vermelho-verde ( $a^*$ ) e o eixo amarelo-azul ( $b^*$ ), onde a cor é definida pelo sistema triestímulo. A fim de verificar o significado prático das mudanças na cor dos cotilédones depois da torrefação em vários períodos, um índice de diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) foi calculado a partir das coordenadas de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  usando a seguinte equação:

Onde,  $\Delta L^* = L^*_{0} - L^*_{1}$ ,  $\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ ,  $\Delta a^* = a^*_{0} - a^*_{1}$ ,  $\Delta b^* = b^*_{0} - b^*_{1}$ . Os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  do cotilédone cru (subscrito 0) e os valores em cada intervalo de torrefação (subscrito 1) foram usados para derivar os valores de  $\Delta E^*$ .

Os dados obtidos foram organizados em planilhas no Microsoft Excel e submetidos à análise estatística utilizando ANOVA e modelos de regressão. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Scott-Knott, adotando um nível de significância de 5%.

**Tabela 1** - Delineamento central composto rotacional com variáveis independentes de tempo e temperatura para tostagem de grãos de feijão-caupi.

| Tratamentos | Valores codificados |    | Valores reais    |             |
|-------------|---------------------|----|------------------|-------------|
|             | x1                  | x2 | Temperatura (°C) | Tempo (min) |
| 1           | -1                  | -1 | 165              | 10          |
| 2           | 1                   | -1 | 235              | 10          |
| 3           | -1                  | 1  | 165              | 30          |
| 4           | 1                   | 1  | 235              | 30          |
| 5           | 0                   | -α | 200              | 5,9         |
| 6           | 0                   | +α | 200              | 34,1        |
| 7           | -α                  | 0  | 150,5            | 20          |
| 8           | +α                  | 0  | 249,5            | 20          |
| 9           | 0                   | 0  | 200              | 20          |
| 10          | 0                   | 0  | 200              | 20          |
| 11          | 0                   | 0  | 200              | 20          |
| 12          | 0                   | 0  | 200              | 20          |

Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

### 3. Resultados e Discussão

Os valores médios dos parâmetros colorimétricos dos cotilédones de feijão-caupi crus e tostados sob diferentes condições de tempo e temperatura, onde foram sistematizados e apresentados na Tabela 2. Esses resultados permitem observar as variações na coloração das amostras em resposta aos tratamentos térmicos empregados, contribuindo para a compreensão do impacto do processamento sobre as características visuais do alimento

**Tabela 2.** Valores dos parâmetros colorimétricos L\*, a\* e b\* obtidos de cotilédones de feijão-caupi crus e tostados, em diferentes tempo e temperatura. Teresina-PI, 2024.

| Tratamento | Valores reais    | L*              | a*              | b*              | C*              | H*              | ΔE              |
|------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1          | 165°C/10 min     | 34,26<br>±0,69  | 33,27<br>±0,71  | 22,00 ±<br>0,65 | 39,89<br>±0,94  | 28,88<br>±0,17  | 0,88 ±<br>0,75  |
| 2          | 235°C/10 min     | 33,35 ±<br>0,39 | 32,39 ±<br>0,41 | 21,23 ±<br>0,42 | 40,86 ±<br>0,31 | 29,22±<br>0,16  | 1,32<br>±0,66   |
| 3          | 165°C/30 min     | 35,12 ±<br>0,64 | 34,14 ±<br>0,67 | 23,04 ±<br>0,64 | 39,52 ±<br>1,88 | 28,59 ±<br>0,27 | 1,85 ±<br>1,11  |
| 4          | 235°C/30 min     | 10,17 ±<br>0,45 | 9,57 ±<br>0,43  | 6,81±<br>0,25   | 11,75 ±<br>0,49 | 30,11 ±<br>0,23 | 36,88<br>±0,67  |
| 5          | 200°C/5,9 min    | 34,62 ±<br>0,90 | 33,66 ±<br>0,86 | 21,97 ±<br>0,46 | 40,19<br>±0,96  | 28,66 ±<br>0,14 | 1,24<br>±0,59   |
| 6          | 200°C/34,1 min   | 29,17 ±<br>0,58 | 27,57 ±<br>0,59 | 17,89 ±<br>0,47 | 32,86<br>±0,75  | 28,56 ±<br>0,10 | 8,50<br>±0,95   |
| 7          | 150°C/20 min     | 35,49 ±<br>0,60 | 34,47 ±<br>0,61 | 23,07 ±<br>0,44 | 41,47<br>±0,73  | 29,08<br>±0,15  | 2,24<br>±0,93   |
| 8          | 249,5°C/20 min   | 7,07 ±<br>0,37  | 6,68 ±<br>0,34  | 5,03 ±<br>0,13  | 8,37 ±<br>0,34  | 31,05<br>±0,47  | 41,47<br>± 0,51 |
| 9          | 200°C/20 R1 min  | 33,98 ±<br>1,10 | 32,94 ±<br>1,12 | 21,81±<br>0,96  | 39,51<br>±1,44  | 28,90<br>±0,24  | 1,63<br>±0,50   |
| 10         | 200°C/20 R2 min  | 32,78 ±<br>0,80 | 31,68 ±<br>0,79 | 20,27 ±<br>0,63 | 37,61<br>±1,01  | 28,32 ±<br>0,10 | 2,57<br>±1,27   |
| 11         | 200°C/20 R3 min  | 33,35 ±<br>0,57 | 32,32 ±<br>0,6  | 21,25<br>±0,56  | 38,68<br>±0,80  | 28,77 ±<br>0,19 | 1,45 ±<br>0,79  |
| 12         | 200°C/20 R4 min  | 31,14 ±<br>0,55 | 29,83 ±<br>0,57 | 18,60 ±<br>0,47 | 35,16<br>±0,73  | 27,91 ±<br>0,14 | 5,55<br>±0,91   |
| 13         | Cotilédones crus | 34,48 ±<br>0,68 | 33,53 ±<br>0,55 | 22,52 ±<br>0,76 | 40,39 ±<br>1,05 | 29,14 ±<br>0,20 | 1,20<br>±0,91   |

**Coordenadas:** L\* (luminosidade) 0 (totalmente preta) a 100 (totalmente branca), a\* verde (-) ao vermelho (+) e b\* azul (-) ao amarelo (+). Médias de cinco repetições ± desvio-padrão (DP). Médias que, diferem significativamente (p < 0,05) de acordo com o teste de Scott-Knott.

Fonte: Dados da pesquisa, 2025

O processo de tostagem dos grãos de feijão-caupi, realizado sob diferentes tempos e temperaturas, resultou em alterações significativas nos parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , conforme demonstrado pelos modelos estatísticos, coeficiente de regressão multivariada (Tabela 2.) e gráficos de superfície obtidos (figura 1, 2 e 3).

**Tabela 2.** Modelos de regressão ajustados para os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) dos cotilédones de feijão-caupi submetidos a diferentes condições de tostagem.

| PARÂMETROS DE COR           | EQUAÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO                              |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|
| $L^*$ (Luminosidade)        | $L^* = 32,81 - 3,76x - 0,05x^2 - 8,26y - 5,36y^2 - 6,01xy$  |
| $a^*$ (Tonalidade vermelha) | $a^* = 31,69 - 3,82x - 0,10x^2 - 8,09y - 5,12y^2 - 5,92xy$  |
| $b^*$ (Tonalidade amarela)  | $b^* = 20,48 - 2,39x + 0,042x^2 - 5,31y - 2,89y^2 - 3,86xy$ |

**Fonte:** Dados da pesquisa, 2025.

Os resultados indicam forte dependência dos atributos de cor em relação à intensidade térmica aplicada. Os modelos de regressão polinomial de segundo grau ajustados aos dados apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,93, confirmando a robustez das equações para predição dos parâmetros. O valor de  $L^*$  apresentou tendência decrescente com o aumento das variáveis estudadas, indicando escurecimento progressivo da amostra (Figura 1).

Em estudo realizado por Botelho *et al.* (2017), foi modelada a variação da cor de grãos de feijão-caupi submetidos a temperaturas de 40 a 90 °C, com a medição dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  após a secagem. Verificou-se que o valor de  $L^*$  aumentou com a temperatura (com tendência quadrática), enquanto os valores de  $a^*$  e  $b^*$  diminuíram à medida que a temperatura se elevava. Foram ajustados modelos polinomiais de 1.º e 2.º grau, os quais explicaram adequadamente a variação dos parâmetros, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,92 para a diferença total de cor, confirmando a robustez estatística. Esses dados corroboram com os resultados apresentados anteriormente, pois demonstram forte dependência entre a intensidade térmica aplicada e os atributos de cor, além da eficácia dos modelos utilizados para a predição dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ .

Em relação ao parâmetro  $L^*$  (luminosidade), os valores apresentaram redução progressiva com o aumento do tempo e da temperatura de tostagem ( $p < 0,001$ ), refletindo o escurecimento dos grãos. Esse fenômeno está associado às reações de Maillard e à caramelização, típicas de processos térmicos intensos. Os tratamentos A7 (35,49<sup>a</sup>) e A2 (35,12<sup>a</sup>) apresentaram as maiores médias de  $L^*$ , indicando grãos mais claros, enquanto A4 (10,17<sup>f</sup>) e A8 (7,07<sup>g</sup>) mostraram valores significativamente menores, revelando escurecimento acentuado. Considerando o teste de Scott-Knott, os cotilédones crus pertencem ao grupo b — portanto, são estatisticamente diferentes dos tratamentos de maior luminosidade (grupos “a”) e dos de menor luminosidade (grupos “f” e “g”), situando-se em condição intermediária de escurecimento.

Fenômeno semelhante foi observado em pesquisa conduzida com grãos de cacau de diferentes grupos de *Theobroma cacao* (L.), na qual foram analisados os efeitos da temperatura de torrefação (110, 120, 135 e 150 °C) e da umidade relativa (0,3% e 5,0%) sobre características como a cor (valores CIE  $L$ ,  $a$  e  $b^*$ ). Nesse estudo, também foram avaliados o índice de escurecimento e a formação de produtos da reação de Maillard (processo iniciado por interações entre grupos carbonila, principalmente de açúcares redutores). Foram observadas reduções significativas no valor de  $L^*$  à

medida que a temperatura com tempo de torra (10,20,30,40,50 e 60 min) aumentaram, refletindo escurecimento acentuado dos grãos. Além disso, o escurecimento foi diretamente relacionado à formação de melanoidinas, compostos típicos das reações de Maillard e da caramelização (Oracz; Nebesny, 2019).

Quanto ao parâmetro de  $a^*$  este também foi significativamente afetado pelos tratamentos ( $p < 0,001$ ). Valores elevados de  $a^*$  foram observados nas amostras submetidas a temperaturas moderadas e tempos curtos (ex.: 7 e 2 com 34,46 e 34,13), semelhante à amostra crua, enquanto tostagem mais intensas (4 e 8) apresentaram valores menores (9,57 e 6,68), sugerindo formação de pigmentos escuros (Figura 2).

O escurecimento observado nos cotilédones tostados está principalmente relacionado à formação de pigmentos escuros oriundos das reações de Maillard e da caramelização, em vez da simples degradação de pigmentos naturais. Esse comportamento é consistente com os achados de EE et al. (2019), que, ao avaliarem diferentes leguminosas (como grão-de-bico, ervilha amarela e feijão-mungo) submetidas à torra a 200 °C, observaram aumento dos valores de  $a^*$  com o tempo até um ponto máximo, seguido de estabilização ou leve declínio sob exposições térmicas prolongadas. Esses resultados indicam a existência de um limiar térmico a partir do qual ocorre a degradação de compostos cromáticos sensíveis, reforçando que o escurecimento mais intenso decorre, predominantemente, da formação de melanoidinas e outros produtos das reações térmicas não enzimáticas.

Para o parâmetro  $b^*$  (tonalidade amarela), houve uma tendência de elevação inicial em condições intermediárias, com posterior redução em temperaturas e tempos elevados, caracterizando a redução de pigmentos amarelos. Os tratamentos 7, 2 e 13 apresentaram os maiores valores (23,07; 23,04; e 22,52), enquanto os tratamentos 4 e 8 registraram os menores (6,81 e 5,03). Tais resultados sugerem degradação térmica de compostos como carotenoides e flavonoides. (Figura 3).

Saglam e Seydim (2020) torraram grãos-de-bico a 150, 180 e 200 °C por períodos de 10 a 60 minutos. Observou-se que os valores de  $L^*$  diminuíram com o aumento da intensidade térmica, enquanto  $a^*$  e  $b^*$  apresentaram elevação, principalmente em condições intermediárias de torra. Em 200 °C por 60 minutos considerada a condição extrema do estudo o parâmetro  $b^*$  atingiu 24,32, indicando maior tonalidade amarela. Embora não tenha sido relatada redução de  $b^*$  nessas condições, os autores ressaltaram que o parâmetro é sensível à intensidade térmica, o que sugere possível degradação de pigmentos, como os carotenoides, em exposições prolongadas ao calor.

Houve também redução no valor da saturação das cores ( $C^*$ ) em condições mais severas de tostagem. O ângulo de tonalidade ( $h^*$ ) se manteve estável entre 53° e 58°, indicando que, embora a intensidade das cores tenha variado, o tom predominante permaneceu na faixa do amarelo avermelhado. Pathare *et al.* (2013) explicam que, quando  $C^*$  isso indica perda de intensidade da cor, mesmo que o tom permaneça o mesmo, o que está em total consonância com seu relato de queda de  $C^*$  sob condições severas de torrefação.

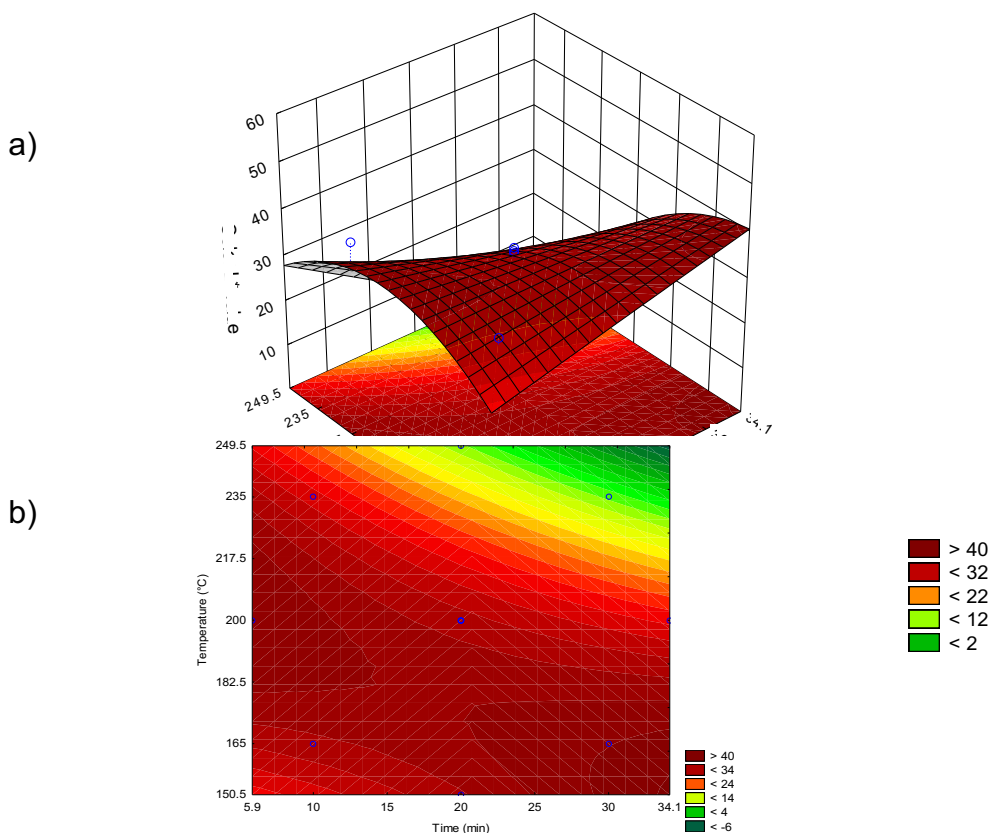
Resultados semelhantes foram encontrados por Barut *et al.* (2023) investigarem os efeitos de diferentes métodos de torrefação (convencional, micro-ondas e combinação micro-ondas + convencional) no grão-de-bico. Os estudos analisaram a composição proximal, propriedades de fluxo, composição de aminoácidos, cor, textura e perfil sensorial dos grãos torrados. Onde os valores de croma aumentaram com o aumento da temperatura e tempo de torrefação, indicando maior saturação da cor. E  $h^*$  se manteve estável.

A diferença de cor ( $\Delta E$ ) em relação aos cotilédones crus foram elevadas em todos os tratamentos, revelando alterações visuais significativas decorrentes do processamento. As amostras mais distantes do grão cru foram aquelas submetidas a tostagem intensa, embora mesmo os tratamentos com menor impacto visual apresentassem  $\Delta E$  relevantes.

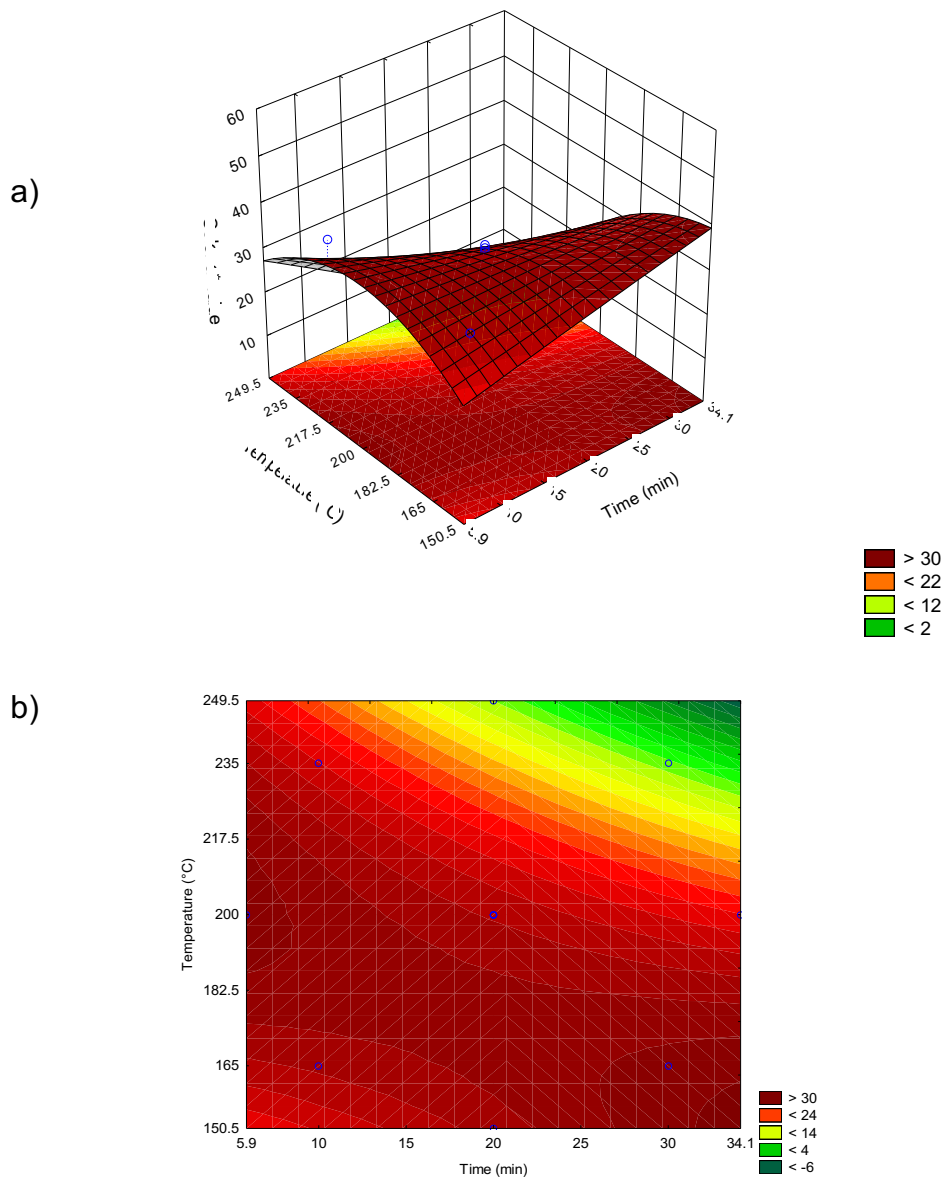
Martínez *et al.* (2018) investigaram o efeito da torrefação sobre a cor e propriedades químicas de sementes e destacaram que a diferença de cor total ( $\Delta E$ ) é um parâmetro essencial para quantificar alterações visuais decorrentes do processamento térmico. Eles observaram que a torrefação intensa promove valores elevados de  $\Delta E$ , indicando mudanças visuais perceptíveis que impactam a qualidade sensorial e percepção do produto. Mesmo os tratamentos com menor intensidade térmicos apresentaram  $\Delta E$  suficientes para alterar significativamente a aparência das amostras.

De maneira geral, os tratamentos 2 e 7 promoveram os melhores resultados em termos de preservação da cor, com alta luminosidade e tonalidades vivas. Em contraste, 4 e 8 resultaram em grãos visivelmente mais escurecidos e com baixa intensidade cromática. Esses achados reforçam a importância da escolha adequada de condições térmicas para preservar atributos visuais desejáveis em alimentos termicamente processados.

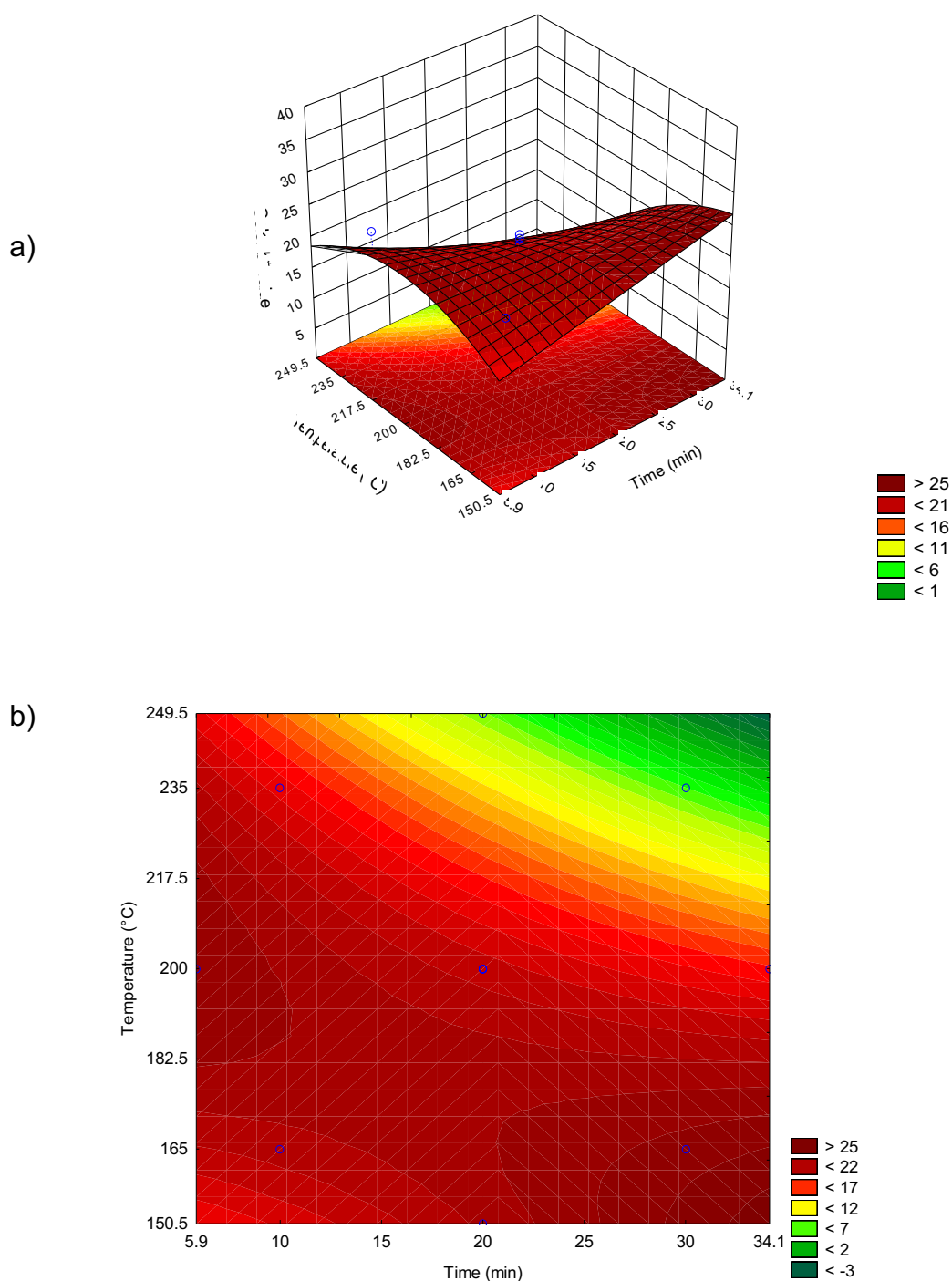
**Figura 1.** Valor do parâmetro  $L^*$  em cotilédones tostados em diferentes tempos e temperaturas de processo.



**Figura 2.** Valor do parâmetro  $a^*$  em cotilédones tostados em diferentes tempos e temperaturas de processo.



**Figura 3.** Valor do parâmetro  $b^*$  em cotilédones tostados em diferentes tempos e temperaturas de processo.



#### 4. Conclusão

O processo de tostagem afeta significativamente os parâmetros colorimétricos dos cotilédones de feijão-caupi, há uma correlação direta entre a intensidade térmica aplicada e as alterações nas propriedades visuais dos grãos. Os valores dos parâmetros de cor diminuíram com processo de tostagem, com maiores reduções quanto maior a intensidade térmica aplicada, exceto para a tonalidade. Essas variações permitem obter uma condição otimizada de tostagem de cotilédones de feijão-caupi baseada na cor.

Os valores dos parâmetros de cor diminuíram com processo de tostagem, com maiores reduções quanto maior a intensidade térmica aplicada, exceto para a tonalidade. Essas variações permitem obter uma condição otimizada de tostagem de cotilédones de feijão-caupi baseada na cor. Esses achados, sustentados por dados da literatura, destacam a relevância do controle térmico no processamento de alimentos, especialmente quando o aspecto visual é um atributo de qualidade sensorial desejável. Portanto, identificar condições intermediárias de tostagem pode ser estratégico para preservar características visuais atrativas sem comprometer a estabilidade dos pigmentos naturais.

#### Referências

BARUT, Y. T. et al. Effect of different roasting methods on the proximate by composition, flow properties, amino acid compositions, colour, texture, and sensory profile of the chickpeas. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 1, p. 482–492, 2023.

BRASIL. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**. Estatísticas da produção de feijão-caupi. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pre-producao/socioeconomia/estatisticas-da-producao>. Acesso em: 13 nov. 2025.

BYK-GARDNER. **Color difference equations: CIELab and CIE LCh**. 2021. Disponível em: <https://www.byk-instruments.com/en/t/knowledge/solid-color-difference-equations>. Acesso em: 29 jul. 2025.

BOTELHO, F. M.; et al. Variação da cor de grãos de feijão-caupi devido à temperatura de secagem. **Congresso brasileiro de engenharia agrícola – CONBEA**, 46., 2017, Maceió. Anais. SBEA, 2017

CHAVES, M. O.; BASSINELLO, P. Z. O feijão na alimentação humana. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2. ed. rev. e atual**. Brasília-DF, p. 15-23. Embrapa, 2014.

EE, K. Y. et al. Physicochemical characteristics, antioxidant and antibacterial activities of selected raw and roasted legumes (mung bean, adzuki bean, chickpea and yellow split pea). **Food and Nutrition Open Access**, Kampar, Perak, Malaysia, v. 1, n. 1, p. 1–8, jan. 2018.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. Colorimetria - princípios e aplicações na agricultura. Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças, São Carlos: Embrapa Instrumentação, p. 209-220, 2017.

MARTINS, L.M. **Ocorrência de fungos e aflatoxinas, cinética da degradação de aflatoxinas durante a torração e modelagem probabilística do risco de exposição pelo consumo de amendoim.** Faculdade de engenharia de alimentos da Universidade Estadual de Campinas- Dissertação de mestrado. Campinas. 2015.

MARTÍNEZ, J. A. et al. Effect of roasting on physicochemical properties and color of cocoa beans. **Food Science and Technology International**, v. 24, n. 6, p. 497-504, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes.** Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 13 nov. 2025.

ORACZ, J., NEBESNY, E. Effect of roasting parameters on the physicochemical characteristics of high-molecular-weight Maillard reaction products isolated from cocoa beans of different *Theobroma cacao* L. groups. **Eur Food Res Technol**, v 245, p. 111–128. 2019.

PATHARE, P. B. et al. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36–60, 2013.

PEREIRA, R. F. **Características bioquímica, nutricional e funcional de genótipos elite de feijão- caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).** Universidade Federal do Ceará- dissertação de mestrado. Fortaleza. 2013.

PORTAL EMBRAPA. **Feijão-caupi.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi>>.2022. Acesso em: 22/03/2025.

SAĞLAM, D.; SEYDİM, A. C. Roasting Effects on Functional and Physicochemical Properties of Chickpeas (*Cicer arietinum* L.). **Food and Health**, v. 6, n. 3, p. 139-151, 2020.