

# Influência do tratamento térmico frente aos compostos antinutricionais em feijão-caupi.

*Influence of heat treatment against antinutritional compounds in cowpea*

LISANDRA MARIA DA SILVA CARVALHO<sup>\*1</sup>  MARCOS SERRA LUZ<sup>1</sup>   
LAILTON DA SILVA FREIRE<sup>1</sup>  MAURISRAEL DE MOURA ROCHA<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, Brasil

<sup>2</sup>Embrapa\* - Meio Norte, Teresina, PI, Brasil.

\*Autor Correspondente: [alimento.quimica@gmail.com](mailto:alimento.quimica@gmail.com)

## RESUMO

O feijão-caupi é uma leguminosa de importância econômica e nutricional, sendo uma fonte barata de proteína para a população nos países em desenvolvimento. Entretanto, a presença de fatores antinutricionais influencia a biodisponibilidade dos nutrientes. O processamento térmico leva a redução desses fatores. O objetivo do trabalho foi verificar a influência dos tratamentos térmicos nos teores antinutricionais presentes no feijão-caupi. Trata-se de uma revisão integrativa com busca de dados científicos nas bases Web of Science, Scopus, Scielo, e Portal de Periódicos da Capes, com os descritores: "heat treatment" and "antinutritional factors" and "cowpea". Onze estudos foram selecionados para compor os resultados, onde foram avaliados os inibidores de tripsina, taninos, ácido fítico, oligossacarídeos, cianeto de hidrogênio, polifenóis e hemaglutininas. Os métodos usados foram o cozimento, autoclavagem, vapor de água, torrefação, cozimento sob pressão, fritura e extrusão. O cozimento sob fervura e sob pressão são os métodos mais utilizados, menos trabalhoso e barato, por ser mais rápido, reduzindo os teores antinutricionais voláteis e termolábeis, como os inibidores de tripsina, sendo acessível à população. A extrusão e autoclavagem são métodos utilizados na indústria e usam um fluxo sob pressão para cozinhar os feijões com menor tempo de cozimento. Assim, o tratamento térmico úmido demonstrou ser mais eficaz que o seco. O uso de processos térmicos no feijão-caupi influencia de forma significativa na redução dos teores de compostos antinutricionais, sendo observado em 2 trabalhos a eliminação completa. E os efeitos podem variar conforma cultivar, teor de antinutrientes, tipo de método e tempo de exposição. .

Palavras-chave: aquecimento; antinutrientes; Vigna unguiculata; revisão

## ABSTRACT

The cowpea is a legume of economic and nutritional importance, being a cheap source of protein for people in developing countries. However, the presence of antinutritional factors influences the bioavailability of nutrients. Thermal processing leads to a reduction of these factors. The objective of this study was to verify the influence of heat treatments on the antinutritional levels present in cowpea beans. This is an integrative review with search of scientific data in Web of Science, Scopus, Scielo, and Portal de Periódicos da Capes, with the descriptors: "heat treatment" and "antinutritional factors" and "cowpea". Eleven studies were selected to compose the results, where trypsin inhibitors, tannins, phytic acid, oligosaccharides, hydrogen cyanide, polyphenols and hemagglutinins were evaluated. The methods used were boiling, autoclaving, steaming, roasting, pressure cooking, frying, and extrusion. Boiling and pressure cooking are the most used methods, less labor intensive and cheaper, because it is faster, reduces volatile and thermolabile antinutritional content, such as trypsin inhibitors, and is accessible to the population. Extrusion and autoclaving are methods used in the industry and use a flow under pressure to cook the beans with less cooking time. Thus, wet heat treatment has been shown to be more effective than dry heat treatment. The use of thermal processes in cowpea beans significantly influences the reduction of the contents of antinutritional compounds, being observed in 2 works the complete elimination. And the effects may vary according to the cultivar, antinutrient content, type of method and time of exposure. .

Keywords: heating; antinutrients; Vigna unguiculata; review

Citar este artigo como:

Carvalho, L.M., Luz, M.S., Freire, L.S., Rocha, M.M. Influência do tratamento térmico frente aos compostos antinutricionais em feijão-caupi. Nutrivisa.v.10:e10015.2023. Doi: <https://doi.org/10.17648/nutrivisa-2023v10e10227>

## INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é um grão que se caracteriza por ter grande importância econômica, uma vez que esse faz parte da dieta, e apresenta relevância na segurança alimentar e nutricional, sendo a principal fonte de proteína de milhões de pessoas, principalmente em países em desenvolvimento (GONÇALVES et al., 2016; LONARDI et al., 2019). Devido ao seu potencial nutricional aliado à facilidade de produção e acessibilidade, é a leguminosa mais importante na dieta da população que reside do Norte e Nordeste do Brasil. Regiões estas caracterizadas historicamente por deficiências proteico-energéticas e minerais (MELO et al., 2018; KATO, et al., 2014).

As leguminosas são uma importante fonte de proteína para grande parte da população mundial, principalmente em países com população mais pobre e com altos índices de desnutrição energético-proteica. No entanto, a presença de aminoácidos limitantes e fatores antinutricionais nestas sementes, como os inibidores de tripsina (IT), taninos, saponinas e fitatos podem influenciar a biodisponibilidade da proteína proveniente das leguminosas, como feijão-caupi (FROTA et al., 2017; KALPANADEVÍ & MOHAN, 2013).

Os fatores antinutricionais (FAN) são compostos presentes em uma grande variedade de produtos alimentícios de origem vegetal, que ao serem ingeridos reduzem o valor nutritivo destes alimentos visto que interferem na digestibilidade, absorção ou utilização de nutrientes, e alguns destas substâncias quando ingerido em teores elevados são capazes de desencadear efeitos danosos à saúde ou interferir amplamente na disponibilidade biológica de aminoácidos essenciais e minerais. Existe uma diversidade de fatores antinutricionais como os inibidores de proteínas, oxalatos, taninos, nitritos, dentre outros. E podem ser divididos em grupos específicos: fatores que afetam a utilização e digestão de proteínas e minerais; antivitaminas e substâncias diversas (LONARDI et al., 2019; KATO et al., 2014).

No entanto, estudos demonstram que o processamento térmico reduz ou inativa os fatores antinutricionais, permitindo a ingestão ideal de nutrientes presentes no feijão. Dessa forma melhora a digestão, absorção de nutrientes e características sensoriais deste alimento. O cozimento adequado pode reduzir os oligossacarídeos não digeríveis e os fatores

antinutricionais termolábeis, como os inibidores de tripsina e fitatos (AVANZA et al., 2013; CAVALCANTE et al., 2017; ANJOS et al., 2016).

A qualidade tecnológica e nutricional dos grãos de feijão pode ser estabelecida pelo seu comportamento frente aos tratamentos térmicos utilizados tanto na indústria quanto no consumo doméstico. Nesse sentido, para a utilização eficaz de cultivares de feijão-caupi na nutrição humana e animal, vários estudos têm sido publicados sobre estratégias de processamento que utilizam como princípio o calor, capazes de reduzir ou eliminar totalmente a presença de compostos antinutricionais, visando a melhoria dos valores nutricionais. A presença dessas substâncias em leguminosas é minimizada em vários graus com base no método de preparo e nas propriedades que as constituem (KALPANADEVÍ & MOHAN, 2013; DEOL & BAINS, 2010).

Devido à comercialização do feijão ocorrer na forma seca, estes necessitam ser reidratados e processados antes de ingeridos. Geralmente são reidratados durante o cozimento, mas sugere-se primeiro submetê-lo a maceração, processo que consiste em deixá-lo mergulhado em água para reidratar e amolecer (remolho), que geralmente é utilizado como tratamento prévio para os processos térmicos, que pode ser utilizado o feijão com ou sem a água da maceração. (BEZERRA, 2015; UMEDA, 2017).

Entre os tratamentos térmicos utilizados em feijão se enquadram os processos de ebulição (fervura), cozimento (branqueamento a vapor ou na água), secagem, fritura, cocção sob pressão (autoclavagem), torrefação e a extrusão. A cocção sob pressão é o método mais utilizado em domicílio, por ser mais rápido, entre 10 e 30 minutos de cocção na panela de pressão, para que ocorra anulação ou redução dos compostos antinutricionais. A ebulição associada a secagem são métodos também bastante efetivos, porém são métodos mais demorados. Já os métodos de autoclave e extrusão, que utilizam temperaturas acima de 100 °C, são processos muito rápido e utilizado ao nível industrial. Apesar de estudos mostrarem a eficiência do tratamento térmico na redução dos fatores nutricionais, esse processo apresenta algumas desvantagens como, por exemplo, a perda de nutrientes essenciais (vitaminas, aminoácidos, dentre outros) (BENEVIDES et al., 2011; NIKMARAM et al., 2017).

Esta revisão discorre sobre a interferência do aquecimento nos teores dos compostos antinutricionais presentes no feijão-caupi, demonstrando algumas aplicações térmicas como alternativas para a minimização dos efeitos indesejáveis desses compostos, dando ênfase a métodos de cozimento capazes de reduzir seus teores, contribuindo com o aumento da biodisponibilidade de nutrientes nos grãos e na dieta da população.

Diante do exposto, o presente estudo apresenta resultados de uma revisão integrativa da literatura, embasada em artigos científicos, com o objetivo de verificar a influência dos tratamentos térmicos nos teores de compostos antinutricionais presentes no feijão-caupi.

## MATERIAL AND METHODS

Trata-se de um estudo realizado por meio de uma revisão integrativa de forma sistemática, ordenada e abrangente, utilizando estudos de metodologias experimentais. A busca e identificação dos artigos científicos foram determinadas a partir da questão norteadora: “Qual a influência do tratamento térmico nos teores de compostos antinutricionais em feijão-caupi?”.

A seleção desses artigos foi efetuada em abril de 2022, em bases de dados de periódicos científicos, com auxílio dos operadores booleanos and e aspas, sem delimitação de data ou idioma. Foram utilizados seguintes descritores combinados para a busca dos artigos: “heat treatment” and “antinutritional factors” and “cowpea”. As bases de dados utilizadas foram Web of Science, Scopus, Scielo, e o Portal de Periódicos da Capes. A estratégia de busca foi realizada a partir da leitura dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos.

Para inclusão dos artigos foram empregados os seguintes critérios: (1) estudos que abordavam o tema proposto; (2) estudos realizados em caráter nacional e internacional; (3) estudos em formato de artigos científicos experimentais; (4) artigos publicados na íntegra em periódicos científicos. Foram excluídos os estudos que: (1) abordavam temas diferentes do proposto; (2) os que apresentavam em formato de teses, dissertações, livros ou vídeos; (3) encontravam-se em formato de revisão de literatura; (4) que apresentassem em duplicidade nas bases indexadas; (5) os que se encontravam incompletos ou indisponíveis.

Os critérios e processo de seleção de estudos foram realizados por três avaliadores independentes, baseando-se em investigação geral nas bases de dados utilizando os descritores e os critérios de inclusão, aplicação dos parâmetros de exclusão estabelecidos, leitura completa dos artigos e seleção. As divergências entre os avaliadores foram resolvidas por consenso. O processo de extração de dados ocorreu de forma a obter dados relevantes como: autor(es), ano de publicação, local do estudo, objetivos, fator antinutricional avaliado, tipos e tempos dos tratamentos térmicos aplicados e os principais resultados obtidos nas pesquisas.

A síntese de dados foi realizada por intermédio de um fluxograma com representação esquemática das etapas de seleção dos estudos e pela formulação de uma tabela reunindo os dados mais relevantes dos artigos, sendo a discussão realizada com base na interpretação dos resultados encontrados, relacionando-os com a temática proposta na revisão.

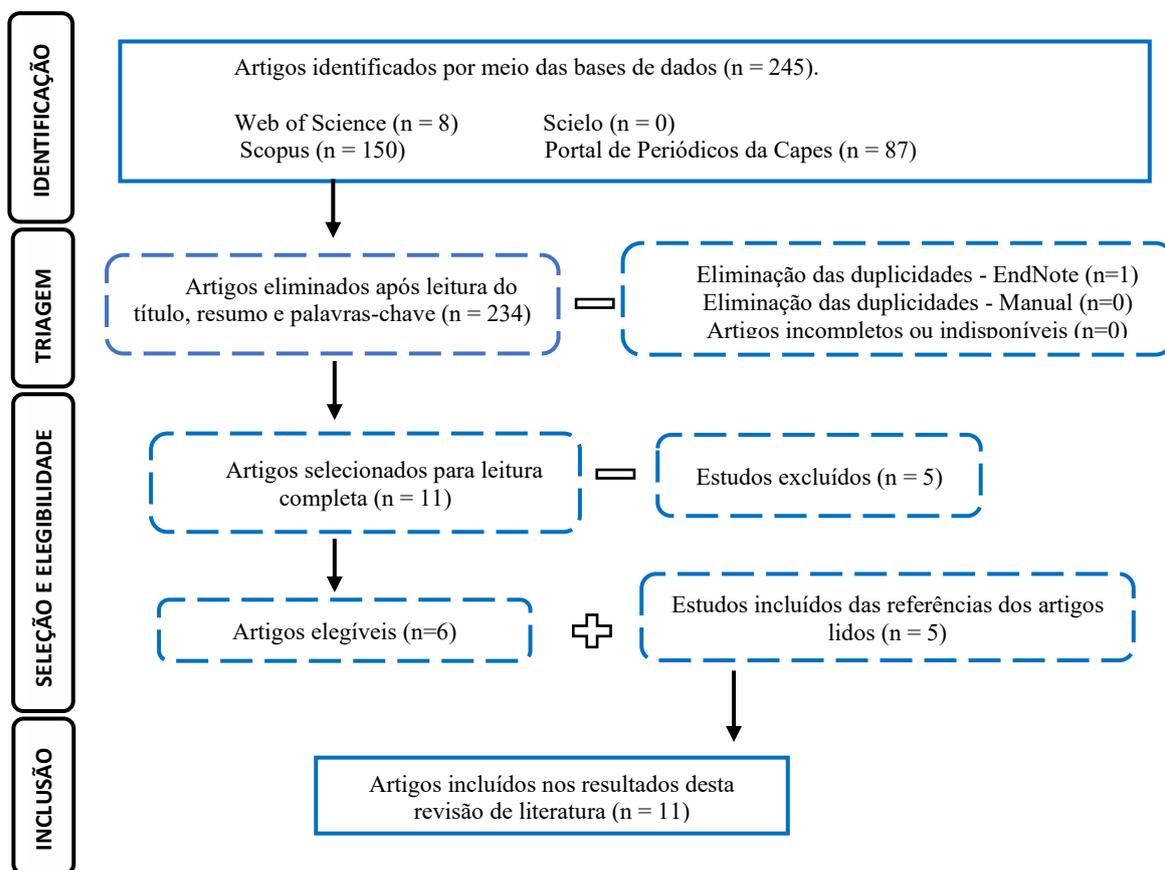
## RESULTADOS

Após a busca pelas bases de dados foram encontrados 245 artigos científicos. Destes, 234 foram excluídos após leitura do título, resumo, palavras-chave e aplicação dos critérios de exclusão estabelecidos. Os 11 artigos restantes foram lidos integralmente, assim como, foram selecionados e lidos 6 artigos, nas referências destes foram encontrados outros 5 que versava sobre a temática pesquisada os quais foram incluídos nesta revisão resultado no total de 11 artigos que foram selecionados para a elaboração desta revisão, como observado pela Figura 1.

Uma sinopse dos dados de interesse dos estudos como: autor e ano de publicação, local de realização, objetivos, fator antinutricional, tratamento térmico e tempo, assim como, os principais resultados, extraídos dos 5 artigos selecionados, estão apresentados na Tabela 1.

Todos os artigos científicos experimentais encontrados foram realizados em outros países e nenhum destes no Brasil. Os anos de publicação foram diversos entre 1984 e 2020. Nos artigos selecionados vários objetivos foram apresentados e somente a avaliação da influência do tratamento térmico sobre os fatores antinutricionais foi relevante para esta revisão.

**Figura 1** – Representação esquemática das etapas executadas para busca e identificação, seleção e elegibilidade, e inclusão dos artigos científicos experimental.



Dos 11 trabalhos selecionados, 10 avaliaram o comportamento da atividade do inibidor de tripsina, 8 verificaram o teor de taninos, 8 observaram o conteúdo de ácido fítico (fitato), 3 pesquisaram o conteúdo de oligossacarídeos e 3 avaliaram o conteúdo de cianeto de hidrogênio, 2 polifenóis (fenólicos) e 2 hemaglutininas (atividade hemaglutinante).

Sobre os tratamentos térmicos aplicado, o cozimento foi o mais utilizado (n = 10) seguido da autoclavagem (n = 4), aplicação de vapor de água (n = 2), torração (n = 2), cozimento sobre pressão (n = 2), fritura (n = 1) e extrusão (n = 1). Convém lembrar que houveram pesquisas que testaram mais de um método. Os tempos de tratamentos térmicos variaram de 1 a 120 minutos, sendo que 30 minutos foi o mais utilizado em 6 estudos e apenas 1 estudo não especificou o tempo do tratamento térmico em sua pesquisa. Em todos os trabalhos analisados, observou-se que

houve influência dos tratamentos térmicos frente aos compostos antinutricionais, sendo que dos 11 artigos pesquisados, 9 apresentaram redução significativa dos fatores antinutricionais e 2 houve eliminação completa.

## DISCUSSÃO

### Influência dos tratamentos térmicos

O tratamento térmico é um dos principais parâmetros de qualidade tecnológica de grãos de feijão, tanto os processamentos domésticos quanto industriais. São conhecidos por reduzirem ou inativarem os fatores antinutricionais, melhorar o valor nutricional, e assegurar ao produto sua característica sensorial (textura, sabor, aroma e cor) necessários para que essas leguminosas sejam aceitas na dieta humana (LONARDI et al., 2019; TORRES et al., 2019).

**Tabela 1** – Efeito do tratamento térmico frente aos compostos antinutricionais em feijão-caupi.

Autor (Ano) País	Objetivos	Fator Antinutricional	Tratamento térmico/tempo	Resultados
Laurena et al. (1984) Filipinas	Investigar o papel dos taninos condensados na qualidade nutricional do feijão-caupi.	Taninos condensados Inibidores de tripsina	Cozimento (30 min)	Tanto os taninos quanto os inibidores de tripsina reduziram com o cozimento.
Akinyele (1989) Nigeria	Verificar efeito dos métodos de preparo doméstico do feijão-caupi sobre o teor de nutrientes dos vários produtos.	Fitato Inibidores de tripsina Oligossacarídeos	Cozimento, Fritura e Vapor Não especificou a temperatura	Houve redução de cerca de 82% da atividade do inibidor de tripsina. O teor de fitato diminuiu 21% em feijão inteiro fervido e 46% em pasta de feijão frito. Houve diminuição no conteúdo de estaquiose com ligeiro aumento no conteúdo de rafinose e sacarose.
Wang et al. (1997) Canadá	Investigar os efeitos combinados de embebição, branqueamento com água e branqueamento com vapor sobre os nutrientes e fatores antinutricionais.	Inibidores de tripsina	Branqueamento a vapor (16 min) Branqueamento com água (16 min)	A combinação de imersão e branqueamento com água e imersão e branqueamento a vapor teve efeitos significativos na redução de inibidor de tripsina (TIA).
Udensi, et al. (2007), Nigéria.	Investigar o efeito do tempo de ebulição, torra e autoclavagem sobre níveis de alguns fatores antinutricionais nas sementes de feijão-caupi.	Inibidores de Tripsina Ácido fítico Hemaglutinina Taninos Cianeto de hidrogênio Oligossacarídeos.	Cozimento (15, 30, 45 e 60 min) Torrefação (30, 60, 90 e 120 min) Autoclavagem (15, 30, 45 e 60 min)	Houve redução progressiva nos fatores antinutricionais com o aumento do tempo de processamento. Todos os fatores avaliados sofreram redução em seus níveis. A atividade do Inibidor de Tripsina foi totalmente eliminada quando autoclavados por 45 minutos.
Deol & Bains, (2010) Índia	Avaliar as mudanças na qualidade nutricional de feijão caupi com diferentes métodos de cozimento doméstico	Fitato, Taninos Inibidores de tripsina	Cozimento (5, 10 e 15 min) Cozimento sob pressão (1, 2 e 3 min)	Ao nível de significância ( $p < 0,05$ ) houve redução dos teores de fitatos sobre o processamento aplicado sendo que foi mais expressivo no cozimento sob pressão. Taninos e inibidores de tripsina reduziu nos dois processos reduzindo mais ainda com o aumento do tempo aplicado.

Kalpanadevi & Mohan (2013) Índia	Estudar as alterações de fatores antinutricionais em <i>V. unguiculata</i> subsp. <i>unguiculata</i> .	Fenólicos livres totais Taninos e L-Dopa Ácido fítico Cianeto de hidrogênio Inibidores de tripsina Oligossacarídeos Atividade hemaglutinante	Cozimento (30 min) Autoclavagem (30 min)	A germinação de sementes reduziu consideravelmente certos fatores antinutricionais estáveis ao calor. Cozinhar e autoclavar as sementes pré-embebidas em água caracterizou-se como um método adequado para reduzir os antinutrientes sensíveis ao calor. Observou-se que os métodos aplicados de forma isolada podam remover ou eliminar a maioria dos antinutrientes.
Avanza et al. (2013) Argentina	Estudar, por meio de uma PCA, o efeito de tratamentos térmicos e não térmicos nas propriedades nutricionais e antinutricionais de quatro diferentes variedades de <i>V. unguiculata</i> .	Polifenóis Taninos Ácido fítico	Cozimento (20, 40 e 60 min) Autoclavagem (10, 20 e 30 min)	O efeito do processamento térmico sobre os antinutricionais em feijão-caupi depende da variedade. O cozimento e a autoclavagem apresentaram como métodos redutores dos teores de compostos antinutricionais em feijão-caupi.
Omenna et al. (2016) Nigéria.	Investigar os efeitos de alguns métodos de processamento na composição nutricional e constituinte antinutricional do feijão-nhamba.	Inibidor de tripsina Fitato Taninos	Cozimento (65 min) Cozimento sobre pressão (55 min).	Houve uma redução drástica do teor de antinutrientes do feijão-nhamba fervido e cozido sob pressão.
Anjos et al. (2016) África do Sul	Determinar o efeito do tratamento térmico na digestibilidade dos aminoácidos, no inibidor de tripsina (TI), e nos valores de TME de nhamba e feijão-fradinho.	Inibidores de tripsina	Torração (30 min) Extrusão (5 min)	Os tratamentos térmicos de torrefação e extrusão reduziram os inibidores de tripsina no feijão-caupi.
Torres et al. (2019) Colômbia	Determinar o efeito da ebulição de diferentes variedades de feijão-caupi por cinco minutos na digestibilidade ileal.	Inibidores de tripsina Taninos solúveis Taninos insolúveis Ácido fítico.	Cozimento (5 min após ebulição)	O processamento reduziu a atividade inibidora de tripsina nas três variedades de feijão caupi. Reduziu ácido fítico em uma das variedades. Reduziu consideravelmente os taninos solúveis em duas. Reduziu taninos insolúveis em apenas uma.
Jaichand et al. (2020) África do Sul	Examinar o efeito comparativo de diferentes métodos de processamento térmico sobre o conteúdo nutricional e antinutricional de quatro. <i>Vigna unguiculata</i> cultivares, a fim de identificar um processo que permita a redução máxima de antinutrientes para consumo humano.	Glicosídeos cianogênicos Ácido fítico Ácido oxálico Taninos Inibidores de tripsina.	Autoclavagem (10 min) Cozimento (30 min)	A fervura foi o método mais eficaz na redução dos fatores antinutricionais pesquisados. A autoclavagem foi a mais eficaz na redução do conteúdo de ácido oxálico com base na presença de ácido oxálico insolúvel em água.

Diversos fatores podem influenciar no tempo de cocção para reduzir os fatores antinutricionais, são eles: a cultivar, temperatura, umidade relativa do ar, tempo de armazenamento e às características genéticas. A relação entre a variabilidade genética e o tempo de cocção dos grãos podem demonstrar indícios de linhagens e cultivares apropriados para o consumo sendo estas condições preconizadas pela legislação nacional junto ao Serviço de Agricultura e Produção Agropecuária para a inscrição de novos cultivares de feijão (BRASIL, 2009; UMEDA, 2017).

Diferentes processamentos térmicos podem ser aplicados para reduzir ou remover os fatores antinutricionais presentes nos feijões, com o intuito de melhorar a qualidade nutricional e aceitabilidade organoléptica, que geralmente são empregados antes do consumo, cada uma com suas vantagens e desvantagens. O cozimento, branqueamento a vapor e branqueamento com água são mais econômicos enquanto a autoclavagem, torração e extrusão pode demandar maior custo (JAICHAND et al., 2020; ANJOS et al., 2016; AVANZA et al., 2013).

O calor úmido é mais eficaz do que o calor seco, sendo que o cozimento é constantemente utilizado para reduzir o teor de fatores antinutricionais voláteis e termolábeis, como os inibidores de tripsina. A autoclavagem usa um fluxo que está sob pressão para cozinhar os alimentos, demandando menor tempo de cozimento, e a fervura é o método térmico menos trabalhoso e barato, sendo acessível para comunidades de baixa renda (JAICHAND et al., 2020; WANG et al., 1997).

O estudo do Wang et al. (1997) demonstrou que a combinação de imersão e branqueamento com água (em panela) e, imersão e branqueamento a vapor (em uma retorta vertical), ambas em temperatura de 100 °C, teve uma maior redução (efeitos significativos) no inibidor de tripsina, diminuindo de forma contínua com o aumento do tempo de imersão e drasticamente com aumento nos tempos de branqueamento com água e vapor. E que o branqueamento a vapor reduziu o inibidor de tripsina (IT) de forma mais eficaz em relação ao branqueamento com água, ao nível de 5%. Já Anjos et al. (2016), verificaram que os tratamentos térmicos avaliados no estudo (torrefação em forno quente a 120 °C por 30 minutos e extrusão na Wenger Manufacturing, Inc. (Sabetha, KS), com temperaturas variando de 60 a 111 °C a uma pressão de 400 psi)

reduziram a concentração de inibidores de tripsina para menos de 2.000 TIU/g (UNIDADE INIBIDORA DE TRIPSINA) no feijão-caupi, na qual não houve diferença entre os métodos para a influência neste composto.

Jaichand et al. (2020) relataram que a fervura em água destilada (uma proporção de 1:15 p/v) por 30 minutos, foi o método mais eficaz na redução de glicosídeos cianogênicos (0,18-0,38 mg/100g), ácido fítico ( $\pm 1,21$  mg/100g), taninos (0 mg/100g) e inibidores de tripsina (55-155 TIU/g), contudo a autoclavagem em água destilada a uma proporção de 1:15 p/v por 30

minutos, foi mais eficiente na redução do teor de ácido oxálico ( $\pm 2$  mg/100g) pela presença de ácido oxálico insolúvel em água. Omenna et al. (2016) demonstraram drástica redução dos fatores antinutricionais (fitato, tanino, inibidor de tripsina e fenol total) no feijão-caupi, e confere que a fervura em água corrente a 100 °C na proporção 1:10 (p/v) em fogão a querosene por 65 minutos, é um processamento adequado para a redução de antinutrientes em leguminosas.

Ao investigar o efeito de alguns métodos de processamento térmico (cozimento em água destilada (100 °C) na proporção de 1:10 g:mL por 30 minutos e autoclavagem a 103,4 kPa de pressão por 30 minutos frente aos fatores antinutricionais em feijão-caupi, Kalpanadevi & Mohan (2013) verificaram que após a aplicação desses tratamentos foi possível observar uma redução significativa nos teores de antinutricionais nas amostras utilizadas. O cozimento combinado com uma imersão prévia dos grãos em solução de bicarbonato de sódio 0,05 g/100 mL (1:10 g:mL) por 12 h em temperatura ambiente (25 °C) promoveu uma diminuição do conteúdo fenólico livre total (69 g/100g). Em relação a esses compostos, a autoclavagem mostrou-se mais eficaz, tendo em vista que apresentou uma ligeira eficiência na redução de fenólicos livres totais.

Os teores de taninos também sofreram alterações após serem submetidos aos processamentos térmicos mencionados, sendo perceptível uma redução mais acentuada quando combinado dois métodos (autoclavagem precedida de cozimento). De acordo com Rakić et al. (2007) essa diminuição pode estar relacionada ao fato de que os taninos são compostos termolábeis e se degradam quando são expostos a temperaturas elevadas.

O conteúdo da levodopa (L-DOPA – 3,4-DIIDROXI L-FENILALANINA), em feijão-caupi analisado por Kalpanadevi & Mohan (2013) reduziu-se expressivamente quando os grãos foram imersos em água e autoclavados o que demonstrou maior eficácia. Quanto ao conteúdo de cianeto de hidrogênio (HCN), verificou-se que a maior redução (73%) foi alcançada no tratamento de autoclavagem após imersão em água destilada, o que pode ser justificado pela sua volatilização durante o processamento térmico. Nesse estudo também se notou redução da presença de ácido fítico tanto após o cozimento quanto após a autoclavagem.

A diminuição no conteúdo do ácido fítico pode acontecer pelo processo de lixiviação para o meio líquido ou a degradação do hexafosfato de inositol em pentatetrafosfato por calor sob pressão (DEOL & BAINS, 2010; TORRES et al., 2019). A atividade do inibidor de tripsina, oligossacarídeos e atividade hemaglutinante também sofreram reduções após serem submetidos ao cozimento e autoclavagem.

Avanza et al. (2013) analisaram o efeito dos tratamentos térmicos (cozimento em água fervente por 20, 40 e 60 minutos em um béquer com condensador, usando uma proporção de semente para água destilada de 1:10 (g:mL) e autoclavagem sob pressão (2,175 kPa) a 121 °C por 10, 20 e 30 minutos usando uma proporção de semente para água destilada de 1:10 (g:mL)) e não térmicos (imersão) nas propriedades nutricionais e antinutricionais de quatro variedades de *Vigna unguiculata* e notaram um alinhamento em relação aos resultados obtidos pelos estudos já citados, no que diz respeito ao efeito do cozimento e autoclavagem frente aos compostos antinutricionais, reduzindo-os em níveis significativos. Em relação ao teor de polifenóis, taninos e ácido fítico nas amostras que foram submetidas somente ao tratamento não térmico (imersão) verificou-se uma diminuição, mas em menor grau do que as amostras tratadas pelos processamentos térmicos. O cozimento e autoclavagem foram capazes de reduzir em 50% e 65% o conteúdo de polifenóis, 55% e 71% o conteúdo de taninos e 35% a 55% o teor de ácido fítico nos grãos. A redução do conteúdo de polifenóis e taninos pode ser atribuída à solubilização em água e à degradação térmica de suas moléculas, sendo que os taninos podem ter se difundido na água durante a imersão. Já o conteúdo de ácido fítico apresentou

diminuição, podendo ser atribuído, nesse caso, à hidrólise pelas fitases durante a etapa de imersão.

Ainda em Avanza et al. (2013) observa-se que o efeito do processamento térmico nos compostos antinutricionais depende da variedade do grão. Entretanto, mesmo com algumas variações nos valores de redução dos compostos antinutricionais entre as variedades. Udensi et al. (2007) investigaram o efeito da fervura em água destilada à temperatura de 100 °C na proporção de 1:10 p/v por 15, 30, 45 e 60 minutos, torrefação em forno hotbox à temperatura de 120 °C nos tempos de 30, 60, 90 e 120 minutos e autoclavagem à pressão de 151b (120 °C) por 15, 30, 45 e 60 minutos sobre os níveis de alguns fatores antinutricionais em sementes de feijão-caupi e observaram redução progressiva e significativa quando comparados à amostra que não foi submetida aos tratamentos térmicos. A atividade do inibidor de tripsina sofreu redução considerável durante a ebulição e torrefação, e eliminação em 100% no tratamento de autoclavagem, podendo ser devido à sua natureza termolábil (TORRES et al., 2019; JAICHAND et al., 2020).

A ebulição a 60 minutos mostrou-se ser mais eficaz na influência dos teores de ácido fítico, reduzindo-o em 68,34%, seguido da torrefação com redução de 62,35% e autoclavagem com 18,82%, que pode ser justificado pela sua termolabilidade. O teor de hemaglutinina dos grãos teve diminuição de 75,98% na ebulição, sendo este o tratamento mais satisfatório na redução desse fator antinutricional. A ebulição e a autoclavagem permitiram um decréscimo nos teores de tanino, sendo responsáveis pela redução de 75% e 62,5% respectivamente, tendo em vista que os taninos são polifenóis e estes são solúveis em água, sendo assim podem ter sido lixiviados para o meio de cozimento (UDENSI, et al., 2007; AVANZA et al., 2013; JAICHAND et al., 2020).

A torrefação por 120 minutos reduziu o conteúdo de tanino em 75% e de acordo com Singh (1988), a maior concentração está localizada no tegumento, portanto o descascamento que ocorreu após a torrefação dos grãos deve ter contribuído para esse percentual de diminuição. O cianeto de hidrogênio (HCN) sofreu maiores reduções sob os tratamentos de fervura e autoclavagem, demonstrando percentuais de 81,25% e 87,58%, respectivamente. O cianeto livre e o cianeto de ligação são solúveis em água, portanto, podem ter migrado para o meio aquoso. O tratamento

de torrefação por 120 minutos apresentou redução de 62,5% na redução do conteúdo de HCN, o que pode estar relacionado ao processo de vaporização do cianeto livre. Os oligossacarídeos tiveram seus teores reduzidos em maioria sob o tratamento de autoclavagem por 60 minutos, a uma pressão de 151b e temperatura de 120 °C (maior efeito de redução no nível de oligossacarídeos), os quais apresentaram uma diminuição de 84,21% para a rafinose e 83,66% para a estaquiase.

Ayyagari et al. (1989) estudaram os efeitos do processamento nas lectinas e inibidores de tripsina e constatou que, IT e lectinas foram inativados consideravelmente durante o cozimento, enquanto o aquecimento a seco não reduziu a atividade das lectinas. A fritura por menos de 10 minutos inativa apenas 40% a 50% dos inibidores de tripsina, já o tratamento térmico em temperaturas acima de 100 °C por longos períodos na presença de água (vapor, fervura) removeu completamente a atividade inibidora de tripsina.

Deol & Bains (2010) submeteram o feijão-caupi em dois tratamentos térmicos domésticos aliados a diferentes tempos de cozimento: cozimento normal em fervura (5, 10 e 15 minutos a 100 °C) e cozimento em panela de pressão doméstica (1, 2 e 3 minutos a 1 kg/cm<sup>2</sup>). O experimento procurou obter informação sobre a qualidade nutricional dessa leguminosa avaliando os fatores antinutricionais. O conteúdo de fitato das vagens do feijão-caupi diminuiu ( $p \leq 0,05$ ) por cozimento sob pressão e fervura, sendo a redução maior por cozimento sob pressão. O aumento do tempo de cozimento em ambos os métodos resultou em uma diminuição maior ( $p \leq 0,05$ ) em relação ao fitato, os taninos e inibidores de tripsina também demonstraram redução significativa maior no tempo de 3 minutos sobre pressão e 15 minutos em cozimento sob ebulição.

Akinyele, (1989) demonstrou cerca de 82% de redução na atividade do inibidor de tripsina do feijão-caupi sobre o processamento. Não houve diferenças nas atividades do inibidor de tripsina dos quatro produtos ( $p > 0,05$ ). O nível de fitato diminuiu 21% em feijão inteiro cozido e 46% em pasta de feijão frito. Todos os métodos utilizados causaram uma diminuição no conteúdo de estaquiase do feijão-caupi, mas com ligeiro aumento no conteúdo

de rafinose e sacarose. Os processamentos aplicados demonstraram uma redução significativa nos fatores antinutricionais e retenção máxima de nutriente nos produtos avaliados (feijão inteiro cozido, pasta de feijão-caupi descascado frito, pasta de feijão-caupi descascado cozido no vapor e sopa de feijão-caupi).

Dos 11 trabalhos selecionados nessa pesquisa, verificou-se que a maioria dos compostos antinutricionais são termolábeis, pois após a submissão das amostras de feijão-caupi aos tratamentos térmicos, houve na maioria dos estudos apenas redução de seus teores devido à dissolução em água.

#### Compostos antinutricionais

Fatores antinutricionais são componentes naturais que exercem funções fisiológicas nos vegetais. Todavia, não se pode afirmar que, nas quantidades normalmente ingeridas no seu consumo possa ter efeitos prejudiciais à saúde humana, mas considerar-se a possibilidade de serem também benéficos. Existe uma diversidade de fatores antinutricionais como os inibidores de proteínas, oxalatos, taninos, fitatos, lectinas, nitritos, dentre outros que apresentam atividades diferentes como os fatores que afetam a utilização e digestão de proteínas e minerais; antivitaminas e substâncias diversas (SOUZA et al., 2019).

As leguminosas possuem compostos antinutricionais na sua composição e verifica-se nos feijões a ocorrência natural de antinutriente do tipo, inibidores de tripsina, lectinas, ácido fítico (fitatos) e taninos. Considerando-se a toxicidade dos antinutricionais, pode destacar que a maior parte destas substâncias parece ser inativada ou inibida quando se utiliza tratamentos térmicos adequados. Alguns são termolábeis, que podem reduzir consideravelmente, desaparecer ou inativar-se após cozimento adequado, e outros como termoestáveis, podendo dissipar-se por dissolução em água (LONARDI et al., 2019).

Pesquisas têm sido desenvolvidas para identificar esses compostos e inteirar-se nos mecanismos de ação, com a finalidade de amenizar seu efeito danoso a nutrição humana (ANJOS et al., 2016). A maioria dos fatores antinutricionais são termolábeis, mas pode-se classificar os inibidores de proteases, lectinas, hemaglutininas, fatores bociogênicos,

lectinas, hemaglutininas, fatores bociogênicos, antivitaminicos e antiminerais (fitatos) como termolábeis e as isoflavonas, os fatores de flatulência, alergênicos, lisinoalanina e saponinas como termostáveis (KATO, 2014).

O ácido fítico (fitato) é um composto de ocorrência natural formado durante o processo de maturação de alimentos de origem vegetal, encontrado principalmente nas sementes das leguminosas. Este antinutriente tem efeito negativo na biodisponibilidade de minerais devido sua capacidade de formar complexos insolúveis com íons metálicos. Taninos são compostos de massa molecular elevada e amplamente distribuído no reino vegetal, encontrado no tegumento dos feijões. Divide-se em dois grupos: o primeiro é composto pelos taninos hidrolisáveis (como o ácido tânico) e os taninos condensados, encontrados em maior quantidade e de maior importância em alimentos. Os taninos inativam as enzimas responsáveis pela hidrólise das proteínas dificultando sua absorção pelo organismo (GONÇALVES et al., 2016; TORRES et al., 2019).

Os inibidores de tripsinas são substâncias químicas presentes nos tecidos vegetais (leguminosas, cereais, tubérculos), cuja função básica é a defesa do tecido contra agentes prejudiciais ao desenvolvimento normal do vegetal, no entanto, quando estas substâncias são ingeridas, inibem a ação de enzimas importantes para o metabolismo normal do organismo humano. As lectinas são chamadas de compostos metabolitos secundários, usadas por plantas, como ação defensiva a ataques de micro-organismos e insetos. São encontradas em diferentes partes da planta, principalmente em leguminosas como soja, feijão e amendoim, e podem reduzir a absorção de nutrientes como o ferro e prejudicar a digestibilidade de proteínas. Esses compostos antinutricionais em sua maioria são termolábeis e geralmente são destruídos nas condições normais de preparo, doméstico ou industrial dos alimentos, entretanto, a utilização de alimentos naturais ou o uso de baixas temperaturas de cozimento podem expor a população aos seus efeitos deletérios (LONARDI et al., 2019; JAICHAND et al., 2020).

#### Feijão-caupi

O feijão-caupi tem a potencialidade de aumentar o perfil nutricional da alimentação de famílias

de baixa renda, no entanto, existem restrições na utilização dessa leguminosa, devido à presença de conteúdo antinutricional, que pode não ser favorável para o consumo e impactar negativamente na disponibilidade e digestibilidade dos nutrientes, principalmente de micronutrientes importantes para o crescimento e desenvolvimento. Diferentes métodos de processamento podem remover ou eliminar esses compostos no feijão-caupi melhorando sua qualidade nutricional e aceitabilidade organoléptica (ANJOS et al., 2016; JAICHAND et al., 2020).

A redução dos compostos antinutricionais no feijão variam muito dependendo da cultivar, do escurecimento do tegumento, que tem sido atribuído à presença de compostos fenólicos (principalmente os taninos) e do tratamento na qual esse é submetido. Em geral, todos os métodos térmicos reduzem os fatores antinutricionais (FROTA et al., 2017; MELO et al., 2018).

Anjos et al. (2016) observou que o tipo de cultivar influencia na redução do TI, onde a concentração de TI, foi maior na cultivar nhemba (em média de 6.700 TIU/g) comparando-se com o feijão-fradinho (2.200 TIU/g), com isso, a cultivar ou fonte de feijão influenciou a concentração do TI no feijão-caupi. Para Avanza et al. (2013) todos os antinutricionais sofreram redução, sendo que em algumas variedades mais, em outras menos, devido ao teor de antinutrientes presentes em cada uma delas.

Laurena et al. (1984) demonstraram que os valores de taninos condensados obtidos no tegumento e cozimento do caldo foi 7-10 vezes maior do que a quantidade de taninos condensados na semente inteira. Essa grande diferença pode ser devido à interação dos taninos com as proteínas da semente durante a análise dos taninos na semente inteira, diminuindo assim sua reatividade. Os níveis de taninos condensados foram significativamente correlacionados com a cor da semente. Cor clara apresentou níveis mais baixos, enquanto as mais escuras demonstraram níveis mais elevados.

#### Limitação do estudo

A falta de estudos no formato de artigos científicos experimentais sobre o tema, e a questão de estudo proposta, foi a principal limitação apontada pelos revisores para atender o objeto de investigação

desta pesquisa de revisão. A combinação dos procedimentos não térmicos em conjunto com os tratamentos térmicos utilizados nas metodologias dos estudos também dificultou a análise exata dos resultados.

### Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) e a Universidade Federal do Piauí (UFPI).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos demonstraram que o uso do tratamento térmico no feijão-caupi influencia de forma significativa na redução dos teores de fatores antinutricionais pesquisados, sendo que o tratamento térmico úmido foi o método mais eficaz na redução dos fitatos, tanino e inibidores de tripsina. Os efeitos dos tratamentos térmicos sobre os compostos pesquisados podem variar conforme a cultivar, o teor de antinutrientes presente na amostra, tipo de procedimento térmico aplicado bem como no tempo de exposição.

É necessário que estudos abordando somente o efeito do tratamento térmico nos compostos antinutricionais em feijão-caupi sejam realizados, tendo em vista, que os trabalhos geralmente associam o tratamento térmico com outros procedimentos não térmicos, e com isso, não se pode avaliar de forma eficiente a real influência desses tratamentos na redução dos antinutrientes.

### REFERÊNCIAS

AKINYELE, I.O. Effects of traditional methods of processing on the nutrient content and some antinutritional factors in cowpeas (*Vigna unguiculata*). *Food Chemistry*, v.33, n.4, p.291-299, 1989. doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00212-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00212-9).

ANJOS, F dos.; VAZQUEZ-ANON, M.; DIERENFELD, E.S.; PSRSONS, C.M.; CHIMONIO, M. Chemical composition,

amino acid digestibility, and true metabolizable energy of cowpeas as affected by roasting and extrusion processing treatments using the cecectomized rooster assay. *Journal of Applied Poultry Research*, v.25, n.1, p.85-94, 2016. doi: <https://doi.org/10.3382/japr/pfv069>.

AVANZA, M.; ACEVEDO, B.; CHAVES, M.; AÑÓN, M. Nutritional and anti-nutritional components of four cowpea varieties under thermal treatments: Principal component analysis. *Food Science and Technology*, v.51, n.1, p.148-157, 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.010>.

AYYAGARI, R.; RAO, B.S.N.; ROY, D.N. Lectins, trypsin inhibitors, BOAA and tannins in legumes and cereals and the effects of processing. *Food chemistry*. v.34, n.3, p.229-238, 1989. doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00212-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00212-9).

BENEVIDES C.M.J, SOUZA M.V, SOUZA R.D.B, LOPES M.V. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. *Segurança Alimentar e Nutricional*. v.18, n.2, p.67-79, 2011. doi: <https://doi.org/10.20396/san.v18i2.8634679>.

BEZERRA, J.M. Quantificação de compostos bioativos e capacidade antioxidante em cultivares de feijão-caupi. [Dissertação]. Pombal: Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

CAVALCANTE, R.B.M.; ARAÚJO, M.A.M.; ROCHA, M.M.; MOREIRA-ARAÚJO, R.S.R. Effect of thermal processing on chemical compositions, bioactive compounds, and antioxidant activities of cowpea cultivars. *Revista Caatinga*, v.30, n.4, p.1050-1058, 2017. doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n426rc>.

DEOL, J.K.; BAINS, K. Effect of household cooking methods on nutritional and anti-nutritional factors in green cowpea (*VIGNA UNGUICULATA*) pods.

- Journal of Food Science and Technology, v.47, n.5, p.579-581, 2010. doi: 10.1007/s13197-010-0112-3.
- FROTA, K.D.M.G.; LOPES, L.A.R.; SILVA, I.C.V.; ARÊAS, J.A.G. Nutritional quality of the protein of *Vigna unguiculata* L. Walp and its protein isolate. *Revista Ciência Agronômica*, v.48, n.5, p. 792-798, 2017. doi: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170092>.
- GONÇALVES, A.; GOUFO, P.; BARROS, A.; DOMÍNGUEZ-PERLES, R.; TRINDADE, H.; ROSA, E.A.S.; FERREIRA, L.; RODRIGUES, M. Cowpea (*VIGNA UNGUICULATA* L. WALP), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: nutritional advantages and constraints. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. v.96, n.9, p.2941-2951, 2016. doi: 10.1002/jsfa.7644.
- JAICHAND, V.; DWARKA, D.; GERRANO, A.S.; MELLEEM, J. Effect of heat processing on the nutritional and anti-nutritional factors of cowpea (*VIGNA UNGUICULATA*). In: *The Annals of the University of Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI. Food Technology*, v.44, n.1, p.165-177, 2020. doi:10.35219/foodtechnology.2020.1.10.
- KALPANADEVII, V.; MOHAN, V.R. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp subsp. *unguiculata*. *Food Science and Technology*, v.51, n.2, p.455-461, 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.030>.
- KATO, L.S. Caracterização química de feijão para produção de material de referência certificado [Dissertação]. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 2014.
- LAURENA, A.C.; DEN, T.V.; MENDOZA, E.M.T. Effects of condensed tannins on the in vitro protein digestibility of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Journal of Agricultural and Food Science*, v.47, n.5, p.579-581, 2010. doi: 10.1007/s13197-010-0112-3.
- LONARDI, S.; MUÑOZ-AMATRIAÍN, M.; LIANG, Q.; SHU, S.; WANAMAKER, S.I.; LO, S.; TANSKANEN, J.; SCHULMAN, A.H.; ZHU, T.; LUO, M.C.; ALHAKAMI, H. OUNIT, R.; HASAN, S.M.; VERDIER, J.; ROBERTS, P.A.; SANTOS, J.R.P.; NDEVE, A. DOLEŽEL, J.; VRÁNA, J., HOKIN, S.A.; FARMER, A.D.; CANNON, S.B.; CLOSE, T.J. The genome of cowpea (*VIGNA UNGUICULATA* [L.] WALP). *The Plant Journal*, v.98, n.5, p.767-782, 2019. doi: <https://doi.org/10.1111/tpj.14349>.
- MELO, A.S.; SILVA, A.R.F.; DUTRA, A.F.; DUTRA, W.F.; BRITO, M.E.B.; SÁ, F.V.S. Photosynthetic efficiency and production of cowpea cultivars under deficit irrigation. *Revista Ambiente & Água*, v.13, n.5, p.2133, 2018. doi: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2133>.
- NIKMARAM, N.; LEONG, S.Y.; KOUBAA, M.; ZHU, Z.; BARBA, F.J.; GREINER, R.; OEY, I.; ROOHINEJAD, S. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food Control*, v.79, p.63-73, 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.027>
- OMENNA E.C.; OLANIPEKUN, O.T.; KOLADE, R.O. Effect of boiling, pressure cooking and germination on the nutritional and antinutrients content of cowpea (*VIGNA UNGUICULATA*). *ISABB Journal Of And Agriculture Science*. v.6, n.1, p.1-8, 2016. doi: 10.5897/ISABB-JFAS2016.0036.
- RAKIĆ, S.; PETROVIĆ, S.; KUKIĆ, J.; JADRANIN, M.; TEŠEVIĆ, V.; POVRENOVIĆ, D.; ŠILER-MARINKOVIĆ, S. Influence of thermal treatment on phenolic compounds and antioxidant properties of oak acorns from Serbia. *Food chemistry*, v.104, n.2, p.830-834, 2007. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.025>.
- SINGH, U. Antinutritional factors of chickpea and pigeonpea and their removal by processing. *Plant Foods for Human Nutrition*, v.38, n.3, p.251-261, 1988. doi: 10.1007/BF01092864.
- SOUZA, C.G.; MOURA, A.K.B.; SILVA, J.N.P.; SOARES, K.O.; SILVA, J.V.C.; VASCONCELOS, P.V.

P.V. Fatores anti-nutricionais de importância na nutrição animal: composição e função dos compostos secundários. PUBVET Medicina Veterinária e Zootecnia, v.13, n.5, p.1-19, 2019. doi: 10.31533/pubvet.v13n5a327.1-19.

TORRES, J.; PETERS, M.; MONTOY, C.A. Boiling influences the nutritional value of three seed cowpea (*VIGNA UNGUICULATA*) varieties using in vivo and in vitro methods. Food Chemistry, v.297, n.1, p.1-8, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.06.007>.

UDENSI, E.A.; EKWU, F.C.; ISINGUZO, J.N. Antinutrient factors of vegetable cowpea (*SESQUIPEDALIS*) seeds during thermal processing. Pakistan Journal of Nutrition, v.6, n.2, p.194-197, 2007. doi: 10.3923/pjn.2007.194.197.

UMEDA, W.M. Caracterização nutricional, capacidade antioxidante e compostos bioativos de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) [Dissertação]. São José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista, 2017.

WANG, N.; LEWIS, M.J.; BRENNAN, J.G.; WESTBY, A. Effect of processing methods on nutrients and anti-nutritional factors in cowpea. Food chemistry, v.58, n.2, p.59-68, 1997. doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00212-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00212-9)

RECEBIDO EM 03-03-2023

ACEITO EM 03-04-2023