

 Giane Engel Montagner¹

 Aline de Oliveira Fogaça²

 Cátia Regina Storck³

¹ Universidade Franciscana, Programa de Pós-Graduação em Nanociências. Santa Maria, RS, Brasil.

² Vinícola Velho Amâncio. Santa Maria, RS, Brasil.

³ Universidade Franciscana, Curso de Nutrição. Santa Maria, RS, Brasil.

Correspondência

Giane Engel Montagner
giane.engel@gmail.com

Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de farinhas de sorgo

Total phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum flour

Resumo

Introdução: O sorgo, cereal nativo da África, e pouco explorado como alimento no Brasil, apresenta compostos bioativos, os quais têm a capacidade de sequestrar radicais livres e potencial na promoção da saúde. **Objetivo:** Determinar, por métodos espectrofotométricos, os teores de compostos bioativos e a atividade antioxidante do sorgo, da farinha de sorgo nativa e após fosfatação, e de farinhas obtidas comercialmente. **Materiais e Métodos:** Foram analisadas cinco amostras, sendo elas sorgo integral, farinha de sorgo nativo, farinha de sorgo fosfatado e farinhas comerciais de sorgo vermelho e de sorgo branco. Foram determinados os teores de fenóis totais, flavonoides, antocianinas, taninos totais e a atividade antioxidante. **Resultados:** De maneira geral, não houve diferença significativa nos teores de compostos bioativos, entre o sorgo integral e a farinha de sorgo nativo. A fosfatação reduziu os teores de fenóis totais e antocianinas da farinha de sorgo. A farinha comercial de sorgo vermelho apresentou teores de fenóis totais e de flavonoides maiores que as outras farinhas, e a farinha comercial de sorgo branco exibiu os menores teores de flavonoides, antocianinas e fenóis totais. **Conclusão:** Em comparação com outros alimentos estudados na literatura, o sorgo exibiu valores superiores de fenóis totais e antocianinas, o que sugere que a farinha de sorgo possui considerável potencial para ser usada como ingrediente em preparações.

Palavras-chave: Antocianinas. DPPH. Flavonoides. Fosfatação. Taninos.

Abstract

Introduction: Sorghum, a cereal native to Africa, and little explored as food in Brazil, has bioactive compounds, which can scavenge free radicals and be a potential in promoting health. **Objective:** To determine, by spectrophotometric methods, the levels of bioactive compounds and antioxidant activity of sorghum, native sorghum flour and after phosphating, and commercially obtained flours. **Materials and Methods:** Five samples were analyzed: whole sorghum, native sorghum flour, phosphate sorghum flour, and red and white commercial sorghum flours. Total phenols, flavonoids, anthocyanins, total tannins, and antioxidant activity were determined. **Results:** In general, there was no significant difference in the levels of bioactive compounds between whole sorghum and native sorghum flour. Phosphating reduced the levels of total phenols and anthocyanins in sorghum flour. The commercial red sorghum flour showed higher levels of total phenols and flavonoids than the other flours, and the commercial white sorghum flour showed the lowest levels of flavonoids, anthocyanins, and total phenols. **Conclusion:** In comparison to other foods studied in the literature, sorghum exhibited higher values of total phenols and anthocyanins, which suggests

that sorghum flour has considerable potential to be used as an ingredient in preparations.

Keywords: Anthocyanins. DPPH. Flavonoids. Phosphating. Tannins.

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um cereal nativo da África e apresenta-se como uma espécie bem adaptada a ambientes extremos de estresses abióticos, especialmente, de temperatura do ar e umidade do solo, o que confere condições favoráveis à sua adaptação em relação a outros grãos.¹ Este cereal é classificado em quatro grupos: granífero; forrageiro para silagem e/ou sacarino; forrageiro para pastejo/corte/fenação/cobertura; e vassoura. Dos quatro grupos, o sorgo granífero é o que tem maior expressão econômica e está entre os cinco cereais mais cultivados do mundo, ficando atrás do arroz, trigo, milho e cevada.² No Brasil, o sorgo é pouco explorado como alimento humano, apesar do seu grande potencial, visto que sua farinha pode ser usada em substituição à farinha de trigo, em produtos de panificação e de confeitaria sem glúten, sendo uma alternativa para consumidores com desordens relacionadas ao glúten.³

O sorgo apresenta vantagens para uso na alimentação humana, pois contém compostos fenólicos com potencial atividade antioxidante, podendo contribuir na promoção da saúde.⁴ Os compostos fenólicos são incluídos na categoria de neutralizadores de radicais livres, e são eficientes na prevenção da auto-oxidação.⁵ A concentração de taninos, um tipo de fenol, nas cultivares de sorgo varia em função das características genéticas, onde genótipos de sorgo que possuem grãos com a testa pigmentada apresentam maiores teores de taninos, assim como maiores concentrações de fenólicos totais e maior atividade antioxidante.⁶

A forma de beneficiamento de cereais (farinha integral, peneirada, decorticada) pode resultar em diferenças na composição nutricional, quando diferentes camadas dos grãos são retiradas.⁷ O sorgo é um cereal composto principalmente de amido (32,1 a 72,5%), que pode ser modificado para alterar suas propriedades visando a sua aplicação em produtos de panificação, inclusive os sem glúten. As modificações podem ser físicas (gelatinização) ou químicas (oxidação, fosfatação, acetilação).⁸ A fosfatação é uma modificação química de baixo custo e de fácil execução, realizada com o uso de reagentes como tripolifosfato de sódio, que introduz grupos fosfatos por meio de fosforilação, controlando as condições do processo, como pH, tempo e temperatura.⁹ Como resultado dessa modificação, ocorre o aumento do poder de inchamento e da solubilização dos grânulos, além da redução da temperatura de gelificação, bem como aumento da claridade da pasta e da viscosidade do gel.¹⁰ No entanto, essas modificações podem resultar em alterações na composição nutricional dos cereais, as quais ainda são pouco exploradas.

Com a finalidade de verificar se há modificação na composição com o beneficiamento e com a fosfatação do amido do sorgo, e pela falta de estudos acerca dos compostos bioativos na farinha de sorgo no Brasil, o presente estudo teve como objetivo determinar, por métodos espectrofotométricos, os teores de compostos bioativos e a atividade antioxidante do sorgo, de farinha de sorgo nativa e após a fosfatação, e de farinhas de sorgo vermelho e de sorgo branco obtidas comercialmente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados grãos de sorgo vermelho granífero (*Sorghum bicolor*) provenientes da Embrapa Clima Temperado de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil, e duas marcas de farinha de sorgo adquiridas aleatoriamente (1 lote de cada), no comércio da cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, sendo a Marca 1, sorgo vermelho (S. vermelho), e a Marca 2, sorgo branco (S. branco).

Preparo das amostras

Os grãos de sorgo integral foram moídos em macro moinho de facas tipo Willey TE-650 (Tecnal). Uma porção da farinha foi armazenada na forma integral (farinha de sorgo integral) e a outra porção foi peneirada até a obtenção de uma farinha com granulometria de 0,250 mm (farinha de sorgo nativo), eliminando assim as partes mais externas do grão.

Fosfatação da farinha de sorgo

A fosfatação foi realizada conforme metodologia descrita por Paschall¹¹ com modificações. A fosfatação foi realizada utilizando 167 mL de uma solução de tripolifosfato 5% (pH 6,0) em 100 g (em base seca) de farinha de sorgo nativo. A mistura foi agitada em agitador mecânico (IKA RW 20 digital) durante 20 minutos, filtrada em bomba a vácuo, e o sedimento foi seco em estufa de ar forçado (De Leo) por 48 horas a 45°C ± 2°C. A amostra seca foi pulverizada em moinho de facas e colocada em estufa com circulação forçada de ar a 65°C ± 2°C por 90 minutos. Em seguida, foi transferida para uma estufa estacionária (FANEM modelo 515), a 155 ± 2°C por 40 minutos. Após o resfriamento, foram adicionados 300 mL de etanol 50%, e as amostras foram centrifugadas a 2200 rpm por 5 minutos. O sobrenadante foi descartado, o produto resultante transferido para bandejas de alumínio e seco em estufa a 45°C ± 2°C por 24 horas.

Após o processo de fosfatação, foi realizado o processo de diálise, necessário para remover os sais de fósforo não ligados ao amido, segundo descrito por Limberguer.¹² Uma suspensão a 10% (p/v) de amido fosfatado foi colocada em sacos de papel celofane e submersas em água destilada por um período de cinco dias, sendo a água trocada diariamente. Posteriormente, o gel foi colocado em bandejas de alumínio, seco em estufa de ar forçado a 45°C ± 2°C e pulverizado à granulometria de aproximadamente 0,250 mm. Realizado o processo de diálise, as amostras de farinha de sorgo fosfatada foram armazenadas em recipientes hermeticamente fechados, sob refrigeração.

Produção dos extratos

Para a quantificação de fenóis totais, flavonoides totais, taninos totais e análise da atividade antioxidante, foram produzidos extratos, de acordo com Queiroz et al..¹³ As amostras foram extraídas com metanol acidificado (1% de HCl em metanol) e centrifugadas em centrífuga (Marca CELM/ Modelo Combate) por 5 minutos a 2400 rpm para separação da fase líquida, que foi armazenada sob refrigeração (4 ± 2 °C) até o momento das análises.

Para a extração e quantificação de antocianinas, as amostras foram misturadas e homogeneizadas em acetona. Em seguida, adicionou-se clorofórmio, o qual faz a partição da fase aquosa (contém antocianinas, fenóis, açúcares e outros compostos orgânicos solúveis em água) e da fase lipídica (contém compostos orgânicos imiscíveis, lipídios, carotenoides e outros compostos apolares). A fase aquosa foi transferida para um balão, para a evaporação da acetona em evaporador rotativo (Fisaton®, modelo 0241) a 40 °C sob vácuo. Esse método tem a vantagem de produzir um extrato sem lipídios.¹⁴

Quantificação de Fenóis Totais

Este ensaio foi realizado de acordo com o método proposto por Roesler et al..¹⁵ Nos extratos (2,5 mL) foi adicionado 2,5 mL do reagente de *Folin Ciocalteu* diluído 10 vezes, e 2,0 mL de solução de carbonato de sódio 7,5%. A mistura foi aquecida a 50 °C por 5 minutos e resfriada. A leitura foi realizada em

espectrofotômetro a 760 nm. Neste estudo, a quantificação de fenóis totais dos extratos foi realizada por meio de curva padrão preparada com ácido gálico e expressa em equivalentes de ácido gálico (EAG/g).

Quantificação de Flavonoides Totais

O teor de flavonoides totais foi determinado de acordo com o método proposto por Zhishen, Mengcheng & Jianming,¹⁶ por meio de reações dos extratos com NaNO_2 , AlCl_3 e NaOH , seguidas de leitura de absorbância em espectrofotômetro a 510 nm. A quantificação de flavonoides totais dos extratos foi realizada por meio de curva padrão preparada com catequina e expressa como catequina equivalente (CE). O resultado foi expresso em mg de equivalente de catequina por 100 g de amostra.

Quantificação de Taninos Totais

Para o doseamento de taninos totais foi utilizado o método de Hagerman & Butler.¹⁷ Este método baseia-se na propriedade dos taninos de precipitar, em solução aquosa, na presença de proteína. Para esta técnica, utilizou-se uma solução de 1 mg/mL de albumina sérica bovina em solução tampão de acetato de sódio 0,2 M (pH 4,9) contendo 0,17 M de cloreto de sódio para precipitar os taninos em solução. Utilizou-se a solução detergente de LSS/Trietanolamina para separar os taninos da proteína no precipitado, e a solução de FeCl_3 foi utilizada como solução cromogênica.

A partir de uma solução aquosa de ácido tânico de concentração 1 mg/mL, foi preparada uma curva padrão. Em tubos de ensaio, foram adicionados 1 mL de amostra padrão e 2 mL da solução de albumina. Após 15 minutos, centrifugou-se a 3000 RPM durante mais 15 minutos. Após a centrifugação, desprezou-se o sobrenadante, dissolvendo o precipitado com 4 mL de solução de LSS/Trietanolamina. O volume de 1 mL da solução de FeCl_3 foi adicionado e após 15 minutos efetuou-se a leitura das absorbâncias em 510 nm. A quantificação de taninos totais dos extratos foi realizada por meio de curva padrão preparada com ácido tânico e expressa em mg/100g.

Quantificação de Antocianinas

O teor de antocianinas totais foi determinado pelo método de diferença de pH, baseado na metodologia de Fuleki & Francis.¹⁸ Para isso, foram utilizadas soluções tampão de pH 1,0 e 4,5. A solução de pH 1,0 foi preparada a partir da mistura de soluções de KCl (0,2 N) e HCl (0,2N) na proporção 25/67. O tampão de pH 4,5 foi preparado a partir de solução de acetato de Sódio (1N), HCl e água na proporção 100/60/90. Alíquotas do extrato concentrado foram transferidas quantitativamente para balões volumétricos de 25 mL e 10 mL, tendo seus volumes completados com as soluções tampões de pH 1,0 e pH 4,5, respectivamente. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 485 nm e 700 nm, respectivamente.

Análise de Atividade Antioxidante - Determinação pela captura do radical livre DPPH

Em um tubo de ensaio, uma alíquota de 500 μL de cada extrato foi adicionada de 2500 μL de solução de DPPH (0,004% v/v). A mistura foi deixada no escuro até atingir o platô de reação, à temperatura ambiente. O controle foi preparado da mesma forma, sem o extrato, utilizando metanol para correção da linha base. A solução de DPPH foi preparada diariamente, armazenada em frasco âmbar e a 4°C entre as medidas. A absorbância foi lida a 517 nm. Com os valores, foi calculada a porcentagem de inibição, de acordo com a equação 1:¹⁹

$$\% \text{ Inibição} = [(ADPPH - A_{\text{Extr}}) / ADPPH] \times 100 \quad (1)$$

onde ADPPH é a absorvância do controle e AExtr é a absorvância da amostra em uma dada concentração.

Foi construída uma curva utilizando trolox como padrão, baseado no método de Silveira et al.²⁰ O resultado da atividade antioxidante dos extratos foi expresso em valores TEAC (capacidade antioxidante equivalente trolox), definindo em μmol de equivalente de trolox por mg de extrato. Mediante à reta da curva de calibração, calculou-se a concentração de antioxidantes, de acordo com equação 2:

$$CA = (Abs_{am} - b)/a \quad (2)$$

onde Abs_{am} é a absorvância da amostra, a é o coeficiente angular obtido para a curva de calibração e b o coeficiente linear obtido para a curva de calibração.

Análise Estatística

Todos os tratamentos e análises foram realizados em triplicata. Os resultados foram comparados pelo teste de análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey com 5% de significância, utilizando o programa estatístico IBM SPSS Statistics 23.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes aos compostos bioativos presentes nas farinhas de sorgo integral, nativo e fosfatado, bem como nas farinhas de marcas comerciais analisadas neste estudo estão apresentados na Tabela 1

Tabela 1. Compostos bioativos de sorgo integral, farinha de sorgo nativo, farinha de sorgo fosfatado, farinha comercial de sorgo vermelho e farinha comercial de sorgo branco. Santa Maria, RS, 2017.

Amostra	Fenóis totais	Flavonoides	Taninos totais	Antocianinas	DPPH
Sorgo Integral	79,0 ^b ± 2,16	412,1 ^{bc} ± 2,65	10,4 ^a ± 0,85	0,71 ^b ± 0,10	3,5 ^{ab} ± 0,12
Farinha de sorgo Nativo	80,3 ^b ± 3,26	405,8 ^c ± 1,08	12,5 ^a ± 2,58	0,93 ^a ± 0,02	3,3 ^b ± 0,19
Farinha de sorgo Fosfatado	68,6 ^c ± 3,01	435,6 ^{ab} ± 7,91	10,3 ^a ± 0,59	0,34 ^c ± 0,06	3,6 ^{ab} ± 0,02
Marca 1 - S. vermelho	155,2 ^a ± 4,23	446,2 ^a ± 2,64	12,4 ^a ± 0,44	0,20 ^{cd} ± 0,07	3,6 ^{ab} ± 0,10
Marca 2 - S. branco	61,2 ^c ± 1,55	244,1 ^d ± 9,19	9,2 ^a ± 0,60	0,08 ^d ± 0,03	3,8 ^a ± 0,18

Os dados são expressos como valores médios ± desvio padrão. Os fenóis totais são expressos como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100g de amostra. Flavonoides são expressos em μg de equivalente de catequina (CE) por 100 g de amostra. Taninos são expressos em mg/100g. Antocianinas são expressas em mg/100g. DPPH são expressos em Concentração Trolox Equivalente (TE) ($\mu\text{M} = \mu\text{mol}/\text{mg}$). Amostras com letras diferentes dentro de cada coluna são significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Quantificação de Fenóis Totais

Foi observado que a farinha de sorgo vermelho da marca 1 foi a que teve o maior teor de fenóis totais, enquanto o processo de fosfatação do sorgo provavelmente reduziu o teor de fenóis totais da farinha de sorgo. Fato que pode estar associado à secagem realizada no processo de fosfatação, que promove a degradação de componentes termossensíveis dos alimentos. A farinha de sorgo branco obteve o menor conteúdo fenólico entre as amostras (61,2 mg EAG/ 100g), resultado esperado, pois o sorgo branco tem baixos níveis de compostos fenólicos totais.²¹

Rao et al.²² analisaram sorgo preto, marrom, vermelho e branco, encontrando valores de fenóis totais de 11,5 mg EAG/g, 3,58 mg EAG/g, 0,66 – 0,88 mg EAG/g e 0,24 mg EAG/g, respectivamente. Punia et al.²³ também analisaram amostras de sorgo preto, marrom, vermelho e branco, porém encontraram 844,21 mg EAG/ 100g, 955,88 mg EAG/ 100g, 1040,73 mg EAG/ 100g e 173,68 mg EAG/ 100g, respectivamente, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo, onde o sorgo vermelho apresentou maior quantidade de fenóis totais, quando comparado com outras cultivares. No entanto, todos estes pesquisadores observaram valores superiores ao verificado nesta pesquisa, provavelmente devido a fatores de cultivo, climáticos e genéticos que podem influenciar nesta característica, visto que o perfil fenólico do sorgo difere muito entre variedades, genótipos, crescimento e condições ambientais,²⁴ como também a metodologia de extração e os métodos de análise utilizados.

Contudo, encontrou-se estudos, onde os teores de fenóis totais apresentaram-se inferiores, em alimentos variados como: buriti (90,24 mg EAG/100g), cagaita (143,81 mg EAG/100g) e cajá (58,27 mg EAG/100g),²⁵ maçã estrela roxa (14,91 mg EAG/100g), maçã estrela verde (18,10 mg EAG/100g), cajá vermelho (115, 53 mg EAG/100g), cajá verde-amarelo (130,73 mg EAG/100g) e pitaya (58,89 mg EAG/100g).²⁶ Com isso, observa-se que o sorgo, mesmo influenciado por fatores como cultivo, clima e genéticos, apresenta teores consideráveis de compostos fenólicos, como flavonoides, taninos e antocianinas, considerados componentes desejáveis por sua atividade antioxidante, capazes de inibir a oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (LDL), além do consumo de alimentos ricos nestes compostos estar associado à redução à tendência a doenças trombóticas, e já ter sido descrito por suas ações antimicrobiana, anti-inflamatória e de efeitos no controle de peso.²⁷

Quantificação de Flavonoides Totais

Os flavonoides são encontrados principalmente no farelo de sorgo, sendo associados à cor e espessura do pericarpo e à presença de testa pigmentada.²⁸ Conforme a Tabela 1, observa-se que o processo de moagem e de fosfatação da farinha de sorgo nativo não ocasionaram perdas significativas de flavonoides, em comparação ao sorgo integral. O maior teor foi encontrado na farinha da marca 1, uma vez que esta é proveniente de sorgo vermelho, sendo um fator positivo, pois as farinhas comerciais estão disponíveis para a população. Conforme esperado, a farinha de sorgo branco apresentou menor quantidade de flavonoides. Shen et al.²⁹ analisaram o sorgo, e encontraram 181,07 mg equivalente em rutina (RE)/100 g de flavonoides, já Punia et al.²³ analisaram sorgo preto, marrom, vermelho e branco e encontraram 30,54, 36,73, 42,84 e 21,34 mg RE/ 100g, respectivamente, indicando que o sorgo vermelho possui as maiores quantidades de flavonoides, corroborando os resultados do presente estudo.

Possivelmente, essas diferenças se devem às características de cultivo, visto que os fenóis variaram significativamente por inúmeros fatores ambientais. Os flavonoides agem de forma a poupar o consumo de vitamina C, evitando a formação de radicais livres.³⁰

Quantificação de Taninos Totais

Os teores de taninos não apresentaram diferenças significativas entre as cinco amostras do estudo, ou seja, a moagem e a fosfatação não influenciaram nos teores desses compostos, assim como a coloração. Por outro lado, Punia et al.²³ analisaram sorgo preto, marrom, vermelho e branco, e encontraram 4,32, 1,13, 1,44 e 10,39 mg/100g, respectivamente, concluindo que o sorgo branco possui maiores teores de taninos que outras variedades.

Cultivares de sorgo com tanino são digeridas lentamente pelo organismo, podendo ser utilizadas em alimentos destinados a pacientes portadores de diabetes, no qual o retardo do esvaziamento gástrico permite absorção lenta de glicose.³¹ Os taninos encontrados no sorgo são do tipo condensado, também conhecido como proantocianidinas, compostos de alto peso molecular.³¹ Devido à capacidade de se ligarem a radicais livres, os genótipos de sorgo que contêm taninos possuem maior atividade antioxidante do que os sorgos que não contêm taninos.²¹

Quantificação de Antocianinas

Quanto ao teor de antocianinas, observou-se que a farinha de sorgo nativo possui maior teor que a farinha de sorgo integral, provavelmente devido ao aumento da superfície de contato, o que pode ter facilitado a extração. Verificou-se também que a fosfatação diminuiu o teor de antocianinas, supostamente porque a secagem promoveu a degradação desses compostos, que são termosensíveis. As farinhas comerciais exibiram menores teores de antocianinas, das quais a farinha de sorgo branca (marca 2), como o esperado, foi a que apresentou menor teor, pois trata-se de sorgo branco. Por outro lado, as antocianinas são pigmentos de coloração vermelha, azul ou roxa, presentes em maior quantidade no sorgo vermelho.

Sabe-se que as frutas são as principais fontes de antocianinas, como maçã estrela roxa (3,0 mg/100 g), maçã estrela verde (1,8 mg/100 g), cajá vermelho (1,8 mg/100 g), caju vermelho (1,8 mg/100 g).²⁶ Apesar disso, o sorgo exibiu teores de antocianinas semelhantes a algumas frutas, como ameixa amarela (0,4 mg/100 g), ameixa vermelha (0,9 mg/100 g) e pitaya (0,4 mg/100 g).²⁶ Desta forma, o sorgo pode contribuir para o consumo de antocianinas na alimentação humana. Estudos têm associado o consumo de antocianinas à redução do risco de obesidade, doenças cardíacas, condições degenerativas e vários tipos de câncer.³²

Análise de Atividade Antioxidante - Determinação pela captura do radical livre DPPH

O DPPH é um dos métodos mais utilizados para avaliar a atividade antioxidante, pois é considerado um método rápido, prático e com boa estabilidade.³³ DPPH é um radical cromógeno estável com cor púrpura profunda. Está disponível comercialmente e não precisa ser gerado antes do ensaio. O ensaio de eliminação de DPPH é baseado na doação de elétrons de antioxidantes para neutralizar o radical DPPH.³⁴ Porém, esse método possui limitações, como necessidade de dissolução em solventes orgânicos;³⁵ tendência à reagir com outros radicais presentes na amostra;³⁶ a absorvância do DPPH tende a reduzir quando exposto à luz;³⁷ além de não possuir semelhança fisiológica devido à ausência de radicais DPPH no organismo humano.³⁸ De acordo com Sadeer et al.,³⁹ esse método e outros ensaios antioxidantes *in vitro*, como ABTS, FRAP, TEAC e ORAC apresentam inúmeras controvérsias que afetam a sua confiabilidade. Porém, não existe um método universal, otimizado e padronizado para a determinação da capacidade antioxidante. Assim, recomenda-se a combinação de no mínimo três ensaios, sempre que possível.

Na atividade antioxidante do sorgo frente ao radical livre DPPH, não houve diferença entre as amostras analisadas, exceto pela farinha de sorgo nativo e pela farinha de marca 2 (sorgo branco), que apresentaram diferença significativa. Rao et al.²² encontraram 18,04, 21,02, 0,41 a 1,17 e 0,33 mg TE/g em amostras de sorgo preto, marrom, vermelho e branco, respectivamente, mostrando que o sorgo marrom apresentou a maior atividade antioxidante frente ao DPPH. Porém, Punia et al.²³ observaram maior atividade antioxidante em sorgo vermelho (20,55 mg TE/100g), quando comparado com sorgo preto (14,55 mg TE/100g), marrom (15,96 mg TE/100g) e branco (7,97 mg TE/100g). Portanto, estes estudos verificaram atividade antioxidante superior às amostras estudadas, indicando que vários fatores podem influenciar nesta característica, apesar da pigmentação do pericarpo não ter apresentado correlação com a atividade antioxidante.²²

O presente estudo deparou-se com dificuldades na comparação dos resultados obtidos com outros reportados na literatura, devido às diferenças dos métodos empregados para a análise e das diferentes unidades de medida utilizadas. Porém, mesmo havendo dificuldades de comparação, verificou-se que o sorgo e as farinhas de sorgo apresentaram teores de fenóis totais e antocianinas maiores ou semelhantes a outros alimentos estudados, podendo contribuir para o consumo de compostos bioativos na alimentação humana.

CONCLUSÃO

A farinha de sorgo possui considerável potencial para ser usada como ingrediente em alimentos, pois esta farinha contém teor considerável de compostos bioativos. A fosfatação reduziu os teores de fenóis totais e antocianinas da farinha de sorgo. Ambas as farinhas comerciais apresentaram quantidade considerável de compostos bioativos. Porém, a marca composta por sorgo vermelho exibiu maiores teores de fenóis totais, flavonoides e antocianinas, em comparação à marca composta por sorgo branco

REFERÊNCIAS

1. Durães FOM. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. Embrapa Agroenergia 2011. [acesso em 16 nov 2021]. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44252/1/Revista-Agroenergia-3-1420.pdf>>.
2. Ribas PM. Cultivo do Sorgo: Importância econômica. Embrapa Milho e Sorgo 2000. [acesso em 16 nov 2021]. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27507/1/Importancia-economica.pdf>>.
3. Seetapan N, Limparyoon N, Yooberg R, Leelawat B, Charunuch C. Influence of addition of extruded rice flour on preparation and quality of fresh gluten-free yellow alkaline noodles. *J Cereal Sci* 2019;90(102828). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102828>.
4. Adebowale OJ, Taylor JRN, Kock HL. Stabilization of wholegrain sorghum flour and consequent potential improvement of food product sensory quality by microwave treatment of the kernels. *Lwt* 2020;132(109827). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109827>.
5. Angelo PM, Jorge, N. Compostos fenólicos em alimentos - Uma breve revisão. *Rev. Inst. Adolfo Lutz* 2007;66:1-9.

6. Dlamini NR, Taylor JRN, Rooney LW. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chem* 2007;105:1412–1419.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.017>.
7. Buitimea-Cantúa NE, Torres-Chávez PI, Ledesma-Osuna AI, Ramírez-Wong B, Robles-Sánchez RM, Serna-Saldívar SO. Effect of defatting and decortication on distribution of fatty acids, phenolic and antioxidant compounds in sorghum (*Sorghum bicolor*) bran fractions. *Int J Food Sci Technol* 2013;48(10):2166-2175.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.12201>.
8. Udachan IS, Sahoo AK, Hend GM. Extraction and characterization of sorghum (*sorghum bicolor* L. moench) starch. *Int Food Res J* 2012;19(1):315–319.
9. Fonseca LM, Silva FT, Bona NP, Stefanello FM, Borgues CD, Dias ARG et al. Aerogels from Native and Anionic Corn Starches Loaded with Pinhão (*Araucaria angustifolia*) Coat Extract: Anti-Tumor Activity in C6 Rat Glioma Cells and In Vitro Digestibility. *Starch* 2020;72(7-8):1–8. <https://doi.org/10.1002/star.201900280>.
10. Zhou Z, Robards K, Helliwell S, Blanchard C. Composition and functional properties of rice. *Int J Food Sci Technol* 2002;37(8):849–868. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00625.x>.
11. Paschall EF. Phosphation with organic phosphate salts In: Whistler RL, Wolfrom ML. *Methods in carbohydrate chemistry*. 2. ed. New York: Academic Press; 1964. p. 294–296.
12. Limberger VM, Silva LP, Emanuelli T, Comarela CG, Patias LD. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. *Quim Nova* 2008;31(1):84–88.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000100018>.
13. Queiroz VAV, Aguiar AS, Menezes CB, Carvalho CWP, Paiva CL, Fonseca PC et al. A low calorie and nutritive sorghum powdered drink mix: Influence of tannin on the sensorial and functional properties. *J Cereal Sci* 2018;79:43–49. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.10.001>.
14. Rodriguez-Saona LE, Wrolstad RE. Extraction, Isolation, and Purification of Anthocyanins. *Curr Protoc Food Anal Chem* 2001. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0101s00>.
15. Roesler R, Malta LG, Carrasco LC, Holanda RB, Sousa CAS, Pastore GM. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. *Ciência Tecnol Aliment* 2007;27(1):53–60. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000100010>.
16. Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 1999;64(4):555–559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2).

17. Mole S, Waterman PG. A critical analysis of techniques for measuring tannins in ecological studies. *Oecologia* 1987;72(1):137–147. <https://doi.org/10.1007/bf00385058>.
18. Fuleki T, Francis FJ. Quantative methods for Anthocyanins. *J Food Sci* 1968;33(1):78–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1968.tb00888.x>.
19. Yen GC, Duh PD. Scavenging Effect of Methanolic Extracts of Peanut Hulls on Free-Radical and Active-Oxygen Species. *J Agric Food Chem* 1994;42(3):629–632. <https://doi.org/10.1021/jf00039a005>.
20. Silveira AC, Kassuia YS, Domahovski RC, Lazzarotto M. Método de DPPH adaptado: uma ferramenta para analisar atividade antioxidante de polpa de frutos da erva-mate de forma rápida e reprodutível. Embrapa. 2018 [acesso em 16 nov 2021]. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/188244/1/CT-421-1642-final.pdf>>.
21. Awika JM, Rooney LW. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry* 2004;65(9):1199–1221. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.04.001>.
22. Rao S, Santhakumar AB, Chinkwo KA, Wu G, Johnson SK, Blanchard CL. Characterization of phenolic compounds and antioxidant activity in sorghum grains. *J Cereal Sci* 2018;84:103–111. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.07.013>.
23. Punia H, Tokas J, Malik A, Satpal, Sangwan S. Characterization of phenolic compounds and antioxidant activity in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] grains. *Cereal Res Commun* 2021;49:343–353.
24. Wu G, Johnson S, Bornman J, Singh V, Fang Z. Effect of genotype and growth temperature on sorghum grain physical characteristics, polyphenol content, and antioxidant activity. *Cereal Chem* 2016;93(4):419–425. <http://doi.org/10.1094/CCHEM-01-16-0003-R>.
25. Nascimento ALAA, Brandi IV, Durães CAF, Lima JP, Soares SB, Mesquita BMAC. Chemical characterization and antioxidant potential of native fruits of the Cerrado of northern Minas Gerais. *Brazilian J Food Technol* 2020;23:1–9. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.29619>.
26. Moo-Huchin VM, Moo-Huchin M, Estrada-León RJ, Cuevas-Glory L, Estrada-Mota IA, Ortiz-Vázquez E et al. Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chem* 2015;166:17–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.127>.
27. Degáspari CH, Waszczyński N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. *Visão Acadêmica* 2004;5.
28. Awika JM, McDonough CM, Rooney LW. Decorticating Sorghum To Concentrate Healthy Phytochemicals. *J Agric Food Chem* 2005;53(16):6230–6234. <https://doi.org/10.1021/jf0510384>.

29. Shen Y, Song X, Chen Y, Li L, Sun J, Huang C et al. Effects of sorghum, purple rice and rhubarb rice on lipids status and antioxidant capacity in mice fed a high-fat diet. *J Funct Foods* 2017;39:103–111.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.10.017>.
30. Mian KH, Mohamed S. Flavonoid (Myricetin, Quercetin, Kaempferol, Luteolin, and Apigenin) Content of Edible Tropical Plants. *J Agric Food Chem* 2001;49(6):3106–3112. <https://doi.org/10.1021/jf000892m>.
31. Dykes L, Rooney LW. Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J Cereal Sci* 2006;44(3):236–251.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.007>.
32. Krikorian R, Shidler MD, Nash TA, Kalt W, Vinqvist-Tymchuk MR, Shukitt-Hale B et al. Blueberry Supplementation Improves Memory in Older Adults. *J Agric Food Chem* 2010;58(7):3996–4000.
<https://dx.doi.org/10.1021%2Fj9029332>.
33. Campos AM, Lissi EA. Kinetics of the reaction between 2,2'-azinobis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) derived radical cations and phenols. *Int J Chem Kinet* 1997;29(3):219–224. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4601\(1997\)29:3%3C219::AID-KIN9%3E3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4601(1997)29:3%3C219::AID-KIN9%3E3.0.CO;2-X)
34. Benzie IFF, Strain JJ. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Anal Biochem* 1996;239(1):70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
35. Kim DO, Lee KW, Lee HJ, Lee CY. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *J Agric Food Chem* 2002;50(13):3713–3717. <https://doi.org/10.1021/jf020071c>.
36. Kedare SB, Singh RP. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *J Food Sci Technol* 2011;48:412–422. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>.
37. Min DB, Boff JM. Lipid oxidation of edible oil In: Akoh CC, Min DB. *Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology*. 2. ed. New York: Marcel Dekker; 2002. p. 335-363.
38. Granato D, Shahidi F, Wrolstad R, Kilmartin P, Melton LD, Hidalgo FJ et al. Antioxidant activity, total phenolics and flavonoids contents: Should we ban in vitro screening methods? *Food Chem* 2018;264:471–475.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.012>.
39. Sadeer NB, Montesano D, Albrizio S, Zengin G, Mahomoodally MF. The versatility of antioxidant assays in food science and safety—chemistry, applications, strengths, and limitations. *Antioxidants* 2020;9(8):1–39.
<https://doi.org/10.3390/antiox9080709>.

Colaboradoras

Montagner GE trabalhou em todas as etapas desde a concepção e desenho da pesquisa, executando toda a parte prática do trabalho, interpretação dos resultados até a escrita e revisão do artigo.

Conflito de Interesses: As autoras declaram não haver conflito de interesses

Recebido: 09 de agosto de 2021

Aceito: 16 de dezembro de 2021