



**KÊNIA GRASIELLE DE OLIVEIRA**

**ESTABILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM SORGO  
DURANTE O ARMAZENAMENTO**

**SETE LAGOAS / MG  
2015**

**KÊNIA GRASIELLE DE OLIVEIRA**

**ESTABILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM SORGO  
DURANTE O ARMAZENAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Produção Vegetal.

Orientadora:

Profa. Dra. Lanamar de Almeida Carlos

Coorientadora:

Dra. Valéria Aparecida Vieira Queiroz

**SETE LAGOAS / MG  
2015**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Divisão de Biblioteca da UFSJ, MG, Brasil.**

---

O48e  
2015

Oliveira, Kênia Grasielle de, 1985 -

Estabilidade de compostos fenólicos em sorgo durante o armazenamento / Kênia Grasielle de Oliveira. - 2015.

73 f. : il.

Orientadora: Lanamar de Almeida Carlos

Coorientadora: Valéria Aparecida Vieira Queiroz

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias.

Inclui bibliografia.

1. Sorgo - Armazenamento (Tempo) - Teses. 2. Sorgo - Alimentação humana - Teses. 3. Sorghum bicolor - Flavonóides - Teses. 4. Sorghum bicolor - Compostos fenólicos - Teses. I. Carlos, Lanamar de Almeida. II. Queiroz, Valéria Aparecida Vieira. III. Universidade Federal de São João del-Rei. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. IV. Título.

---

CDU: 633.17

**KÊNIA GRASIELLE DE OLIVEIRA**

**ESTABILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM SORGO  
DURANTE O ARMAZENAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Produção Vegetal.

APROVADA em 13 de março de 2015

Banca examinadora:

Prof. Dr. Frederico Augusto Ribeiro de Barros- UFV

Prof. Dra. Caroline Liboreiro Paiva-UFMG

---

Profa. Dra. Lanamar de Almeida Carlos - UFSJ  
Orientadora

**SETE LAGOAS / MG  
2015**

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Kênia Grasielle de Oliveira, filha de José Círio de Oliveira e Laura José de Oliveira nasceu no município de Curvelo, estado de Minas Gerais em 24 de agosto de 1985. Em fevereiro de 2004, iniciou o curso Técnico em Agropecuária pela Escola Estadual Padre José Gonçalves de Souza, em Felixlândia, MG, concluindo em dezembro de 2006. Foi estagiária de 2006 a 2007 na fazenda experimental da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) de Felixlândia-MG, onde atuou no setor de bovinocultura de gado de leite. Em fevereiro de 2009, ingressou na Faculdade de Ciências Biológicas no Centro Universitário de Sete Lagoas - UNIFEMM. Foi estagiária na EMBRAPA Milho e Sorgo, no período de março de 2010 a dezembro de 2012, onde atuou no Programa de Melhoramento de Milho. Em março de 2013, ingressou no Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, nível mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração: Produção Vegetal pela Universidade Federal de São João del-Rei – Campus Sete Lagoas, submetendo-se à defesa da dissertação em 13 de março de 2015.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito,

“Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

**DEDICATÓRIA**

Aos meus amados pais,

Círio e Laura,

Vocês são os responsáveis por essa conquista.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelas oportunidades e conquistas em minha vida.

À UFSJ – campus Sete Lagoas, por intermédio do Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias – PPGCA, por ter me proporcionado efetivo aprendizado técnico, científico e humano.

À EMBRAPA Milho e Sorgo, técnicos e funcionários, pela receptividade, apoio e amizade durante a execução do experimento.

À FAPEMIG, pela bolsa concedida para a realização desse estudo.

À professora Dra. Lanamar de Almeida Carlos, pela orientação, ensinamentos e amizade.

À pesquisadora Dra. Valéria Ap. Vieira Queiroz, pela coorientação, confiança no meu trabalho e pelas vezes que me fez acreditar que no final tudo dá certo.

Aos professores do PPGCA pelos ensinamentos transmitidos.

Ao professor Dr. Frederico Barros, por tornar possível o trabalho com o genótipo Tx 430.

Aos pesquisadores e funcionários do programa de melhoramento de sorgo pelo fornecimento do genótipo SC 319.

À professora Helena Maria Pinheiro Sant’Ana, por criar as possibilidades para realização deste trabalho.

Ao professor Ernani, obrigada pelo apoio e incentivo.

Aos membros da banca examinadora, obrigada pela colaboração neste trabalho.

Aos colegas de mestrado, em especial à Deniete, Marina, Évelin, Paula, Janaína e Luma pelo apoio, amizade e bons momentos juntas.

Aos amigos do Laboratório de Segurança Alimentar da Embrapa Milho e Sorgo pelo apoio na condução das análises e pelos bons momentos de descontração: Rafael, Renata, Gabriel, Marina, Maria Clara Coutinho, Aline, Ana Paula, Paôla.

Aos amigos do Laboratório de Ciências e tecnologia de Alimentos II, Mayara, Marina, Luma, Camila, Roberta, Kaiquy, Maísa, Kennedy e Jéssica.

Aos amigos do Laboratório de Análise de Vitaminas da Universidade Federal de Viçosa, Professora Helena, Leandro, Pâmella, Bárbara, Thaís, obrigada pela acolhida e ensinamentos.

À Mayara Santos e Carla, obrigada pelo carinho e momentos de descontração.

Às bibliotecárias da Embrapa Milho e Sorgo, Rosângela, Vânia e Conceição, obrigada pelas palavras de incentivo e apoio com o material didático.

Aos meus pais, Círio e Laura, pela força e por ensinar com muito amor e fé, valores fundamentais para a construção de quem sou hoje.

Ao meu namorado Júlio, por ter estado ao meu lado, mesmo de tão longe me fazendo todos os dias acreditar nos meus (nossos) sonhos.

Aos meus irmãos, Fabrício e Adriano pelo apoio e incentivo.

O meu sobrinho João Victor, por colorir os meus dias.

A minha querida tia Nó, pelas orações.

Aos meus amigos e familiares pela compreensão nos momentos de ausência devido à rotina intensa de trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

**OBRIGADA!**

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>i. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>ii.ARTIGOS</b>	
<b>ARTIGO 1- ESTABILIDADE DAS 3-DEOXIANTOCIANIDINAS EM GRÃOS E FARINHA DE SORGO DURANTE O ARMAZENAMENTO</b> .....	6
Resumo .....	6
Introdução .....	7
Materiais e métodos.....	9
Resultados e discussão .....	12
Conclusões.....	15
Referências .....	16
<b>ARTIGO 2- PERFIL DE FLAVONÓIDES EM FARINHA E FARELO DE SORGO DURANTE O ARMAZENAMENTO</b> .....	21
Resumo .....	21
Introdução.....	22
Materiais e métodos.....	24
Resultados e discussão .....	26
Conclusões.....	35
Referências .....	36
<b>ARTIGO 3- TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM GRÃOS E EM FARINHA DE SORGO DURANTE O ARMAZENAMENTO</b> .....	39
Resumo .....	39
Introdução.....	40
Materiais e métodos.....	41
Resultados e discussão .....	44
Conclusões.....	52
Referências .....	53
<b>iii CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	56
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	57
<b>Anexos</b> .....	59

## ESTABILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM SORGO DURANTE O ARMAZENAMENTO

**RESUMO** - O sorgo é uma das culturas mais antigas do mundo e faz parte da alimentação básica de milhares de pessoas no continente africano e asiático. Porém, no continente americano o sorgo é mais utilizado na alimentação animal. A descoberta da riqueza de componentes funcionais do sorgo tem despertado a atenção de pesquisadores em diversas áreas, pois possuem propriedades antioxidantes que são capazes de neutralizar os radicais livres presentes no organismo e assim contribuir para a prevenção de doenças degenerativas. Dentre os compostos bioativos de sorgo podem-se incluir os compostos fenólicos, e os flavonóides. Alguns estudos indicam o efeito do processamento térmico nos compostos bioativos, porém para introdução completa do sorgo na alimentação humana é necessário avaliar o tempo e temperaturas ideais de armazenamento da matéria prima. Este estudo teve como objetivo avaliar a estabilidade de compostos bioativos em grãos, farinha e farelo de sorgo durante o armazenamento. Para as avaliações foram utilizados os grãos e farinhas do genótipo SC 319 fornecido pela Embrapa- Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG, Brasil) e farinha e farelo do genótipo Tx 430 fornecido pela Texas A&M (University, *College Station*. Estados Unidos). Os grãos, farinhas e farelo de sorgo foram acondicionados em três temperaturas distintas, 4°, 25° e 40°C e analisadas no tempo inicial, (antes do armazenamento), 60, 120 e 180 dias após o armazenamento. Os grãos e farinhas do genótipo SC 319 foram analisados quanto ao teor de 3-deoxiantocianidinas (3-DXAs) por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e também quanto a cor (colorímetro Cônica Minolta), compostos fenólicos totais, antocianinas totais e taninos, por espectrofotometria. A farinha e o farelo do genótipo Tx 430 foram avaliados quanto ao teor das 3- DXAs, flavonas e flavanonas por (CLAE). Os resultados foram avaliados por ANOVA, seguidas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) de probabilidade. Os resultados das análises de grãos e farinhas do genótipo SC 319 mostraram que nas três temperaturas e ao longo do armazenamento a retenção das 3-DXAs foi de 60% para os grãos e 70% para as farinhas. As antocianinas totais e compostos fenólicos totais apresentaram aproximadamente 80% de retenção na farinha e 90 % nos grãos. Para o teor de taninos, a retenção obtida foi de 74,97% e 76,27%, respectivamente para farinha e grão. Nas análises de flavonóides do genótipo Tx 430, as 3-DXAs apresentaram retenção de aproximadamente 71 % na farinha e de 63% no farelo. Para as flavonas o percentual foi de 86% e 71% respectivamente para farinha e farelo. As flavanonas apresentaram retenção de 88% na farinha e 77% no farelo ao longo do armazenamento para as três temperaturas em estudo.

Palavras chave: *Sorghum bicolor*, alimentação humana, tempo de armazenamento, flavonóides e compostos fenólicos.

Comitê Orientador: Profa. Dra. Lanamar de Almeida Carlos - UFSJ, Coorientadora: Dra. Valéria Ap. Vieira Queiroz - EMBRAPA.

## PHENOLIC STABILITY IN SORGHUM DURING STORAGE

**ABSTRACT** - Sorghum is one of the oldest tillages in the world and is part of the basic food of millions of people in Africa and Asia. Otherwise, sorghum is most used in animal feeding in the countries of the Americas. The important discovery of the sorghum functional components has attracted the attention of researchers in several fields because they have antioxidant properties which are able to neutralize free radicals in one's organism and thus contribute to the prevention of degenerative diseases. Among sorghum bioactive compounds are the phenolics and the flavonoids. Some studies indicate the effect of thermal processing on its bioactive compounds, however, it is necessary to size up the optimal period and temperature of storage in order to completely introduce it in human nourishment. The present study aimed to evaluate the stability of bioactive compounds in sorghum grains, flour and bran during the storage period. SC 319 genotype grains and flour provided by Embrapa – Corn and Sorghum (Sete Lagoas, MG, Brazil) and Tx 430 genotype flour and bran provided by Texas A&M (University, *College Station*, United States) were used. The grains, flour and bran were stored in three different temperatures (4°, 25° and 40° C) and analyzed prior the storage time, and 60, 120 and 180 days after it. The 3-deoxiantocianidina content (3-DXAs) of the SC 319 genotype grains and flour was analyzed by high-performance liquid chromatography (CLAE). Their colors (Conica Minolta colorimeter), total phenolic compounds, anthocyanins and tannins were analyzed by spectrophotometry. The 3-DXA, flavone and flavanone contents of Tx 430 genotype flour and bran were evaluated by CLAE. The results were evaluated by ANOVA and by Tukey's probability test ( $p < 0.05$ ). The results of SC 319 genotype grains and flour analyses showed that the retention of 3-DXAs was of 60% in the grains and of 70% in the flour, in all the three temperatures during storage. The total anthocyanins and total phenolic compounds showed retention of approximately 80% in the flour and 90% in the grains. The retention of tannin content was of 74.97% in the flour and of 76.27% in the grains. The analyzes of Tx 430 genotype flavonoids showed the 3-DXA retention of approximately 71% in the flour and of 63% in the bran. For the flavones, the percentage of retention was of 86% in the flour and of 71% in the bran. The flavanones showed retention of 88% in the flour and of 77% in the bran, during the storage period for the three temperatures studied.

Key words: Sorghum bicolor, food, storage time, flavonoids and phenolic compounds.

Guidance Committee: Dr. Lanamar de Almeida Carlos (Adviser) – UFSJ, Co-advisers: Dr. Valéria Ap. Vieira Queiroz- EMBRAPA

## INTRODUÇÃO GERAL

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um cereal muito consumido em países da África e da Ásia, (Dicko, Gruppen, Traoré, Voragen & Berkel, 2006), porém em outros países, como no Brasil o cultivo do sorgo é destinado prioritariamente para alimentação animal.

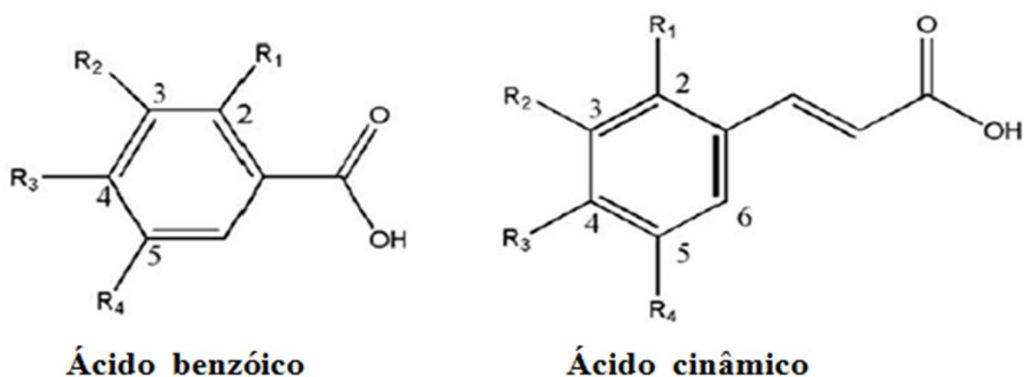
O principal macro nutriente que o sorgo possui são os carboidratos que correspondem a 75%, sendo que 6% corresponde à fibra alimentar, lipídeos representam 3% do cereal e o teor de proteínas dos grãos de sorgo corresponde a cerca 11,3% (USDA, 2010). Os grãos desse cereal são considerados fonte de vitaminas lipossolúveis e do complexo B (a tiamina, riboflavina e piridoxina) e também de minerais como o fósforo, o potássio e o zinco (Dicko, Gruppen, Traoré, Voragen & Berkel, 2006).

O sorgo apresenta também outras vantagens para o uso na alimentação humana, pois, seus grãos são ricos em compostos bioativos. Tais compostos têm a capacidade para sequestrar radicais livres e contribuir na promoção da saúde, prevenir a obesidade, diabetes e câncer (Awika & Rooney, 2004; Queiroz, Morais, Schaffert, Moreira, Ribeiro & Martinho, 2011, Moraes, et al., 2012; Cardoso, Montini, Pinheiro, Pinheiro-Sant'Ana, Duarte, Martini & Moreira, 2014).

Os compostos fenólicos são incluídos na categoria de neutralizadores de radicais livres, e são eficientes na prevenção da autoxidação. Em alimentos, eles são os responsáveis pela cor, adstringência, aroma e estabilidade oxidativa (Angelo & Jorge, 2007).

Os compostos fenólicos presentes em sorgos apresentam duas grandes categorias que são os ácidos fenólicos e flavonóides (Awika & Rooney, 2004). Os ácidos fenólicos são classificados como derivados de ácido hidroxibenzoico ou hidroxicinâmico que por suas vezes são derivados dos ácidos benzoico e cinâmico respectivamente, conforme apresentado

na Figura 1 (Waniska & Brandyopadhyay, 1989; Awika & Rooney, 2004; Kamath, Chandrashekar & Rajini, 2004). Os principais ácidos fenólicos que o sorgo possui estão classificados na Tabela 1.



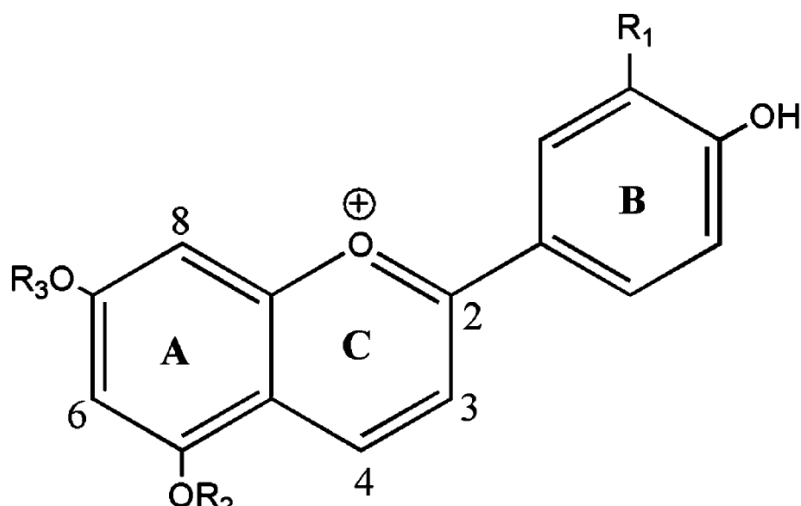
**Figura 1.** Estrutura química dos ácidos benzóico e cinâmico (R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>= H). Fonte: Awika & Rooney, 2004.

	Ácido benzóico				Ácido cinâmico				
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	
Gálico	H	OH	OH	OH	Cafeico	H	OH	OH	H
Gentísico	OH	H	H	OH	Ferúlico	H	OCH <sub>3</sub>	OH	H
Salicílico	OH	H	H	H	<i>O</i> -Cumárico	OH	H	H	H
<i>p</i> -Hidroxibenzóico	H	H	H	OH	<i>P</i> -Cumárico	H	H	OH	H
Siríngico	H	OCH <sub>3</sub>	OH	OCH <sub>3</sub>	Sinápico	H	OCH <sub>3</sub>	OH	OCH <sub>3</sub>
Protocatéquico	H	OH	OH	H					

**Tabela 1.** Principais ácidos fenólicos presentes no sorgo. Fonte: Awika, & Rooney, 2004.

Os flavonóides são metabólitos secundários das plantas, considerados o maior grupo de compostos fenólicos (Balasundram, Sundram & Samman, 2006). São caracterizados estruturalmente pela presença do esqueleto básico contendo 15 átomos de carbono na forma C<sub>6</sub>- C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub> (Brouillard, 1982). As antocianinas pertencem à família dos flavonóides e compõem um grupo de pigmentos responsáveis pela coloração de tecidos vegetais. Em grãos de sorgo, elas são denominadas 3-deoxiantocianinas (Gous, 1989) conforme estrutura química representada na Figura 2. As principais 3-deoxiantocianidinas do sorgo são as luteolinidinas e apigeninidinas, e derivados metoxilados (Awika & Rooney, 2004; Wu & Prior, 2005; Yang,

Jimmy, Browning, & Awika, 2009), as quais possuem baixa distribuição na natureza (Tabela 2). As antocianinas do sorgo apresentam vantagens comerciais quando comparadas com as antocianinas de frutas e hortaliças (Awika, Rooney & Waniska, 2004), e são também considerados potenciais fontes de corantes alimentícios naturais (Awika & Rooney, 2004; Castaneda-Ovano, Pacheco-Hernandez & Paéz-Hernandez 2009).

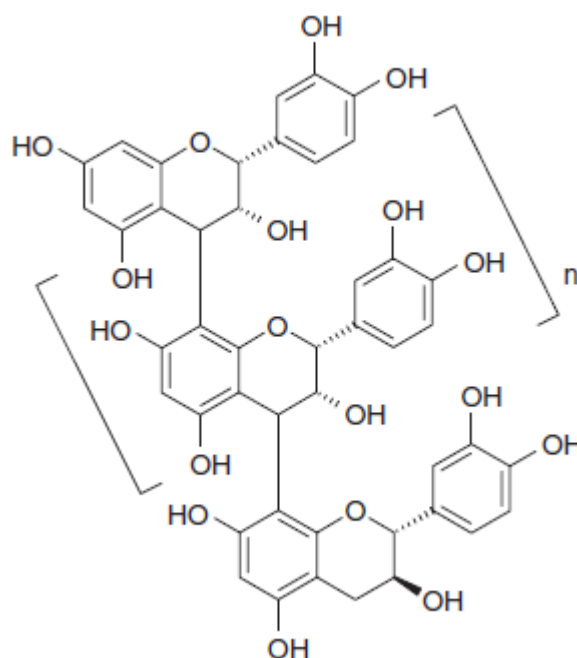


**Figura 2.** Estrutura química básica das 3- deoxiantocianidinas. Fonte: Yang, Jimmy, Browning, & Awika, 2009.

Composto	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
Apigeninidina	H	H	H
5-metoxiapigeninidina	H	CH <sub>3</sub>	H
7-metoxiapigeninidina	H	H	CH <sub>3</sub>
5,7-dimetoxiapigeninidina	H	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>
Luteolinidina	OH	H	H
7-metoxiluteolinidina	OH	H	CH <sub>3</sub>
5,7-dimetoxiluteolinidina	OH	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>

**Tabela 2.** Principais componentes das 3-deoxiantocianidinas e derivados metoxilados. Fonte: Yang, Jimmy, Browning, & Awika, 2009.

Os taninos encontrados no sorgo são do tipo condensado, conhecidos como proantocianidinas e possuem alto peso molecular (Figura-3) (Dykes & Rooney, 2006).



**Figura 3.** Estrutura química dos taninos condensados. Fonte: Dykes e Rooney, 2006.

Os taninos do sorgo são também conhecidos por se ligarem a proteínas, carboidratos e outros nutrientes limitando o valor nutricional dos alimentos, diminuindo a sua digestibilidade (Rubanza, Shem, Otsyina & Bakengesa, 2005; Barros, Awika & Rooney, 2012).

A estabilidade térmica de pigmentos das 3-deoxiantocianidinas já foi avaliada por Yang, Dykes & Awika, (2014) que demonstrou boa estabilidade quando submetidas a 95° C por 2 horas e 121° C por 30 minutos.

Os efeitos do processamento doméstico com calor seco e calor úmido sobre os composto bioativos do sorgo foram avaliados por Cardoso, et al., (2014) que constataram que o calor a seco não afeta o conteúdo das 3-deoxiantocianidinas, compostos fenólicos e atividade antioxidante, mas o mesmo não acontece quando submetidos a tratamentos de calor úmido.

Apesar dos altos níveis de compostos bioativos encontrados em alguns genótipos de sorgo, ainda não há informações na literatura a respeito da estabilidade e/ou comportamento desses compostos ao longo do armazenamento. Contudo, estudos relacionados à influência de variáveis envolvidas no armazenamento, como tempo e temperatura, sobre as características nutricionais e funcionais do sorgo são importantes para uso desse cereal na alimentação humana (Queiroz, Moraes, Schaffert, Moreira, Ribeiro, & Martino, 2011).

Assim, este estudo teve como objetivo verificar a estabilidade de compostos fenólicos em dois genótipos de sorgo e verificar a influência do tempo e da temperatura no armazenamento de grãos, farinha e farelo, e assim contribuir com informações que possam ser úteis ao bom armazenamento e conservação das propriedades funcionais existentes nesse cereal.

# **ARTIGO 1. ESTABILIDADE DAS 3- DEOXIANTOCIANIDINAS EM GRÃOS E FARINHA DE SORGO DURANTE O ARMAZENAMENTO**

**Em conformidade com as normas estabelecidas pela revista Food Chemistry.**

## **Resumo**

O sorgo é um cereal que vem despertando atenção devido ao seu grande potencial antioxidante e uso como corante alimentício. Os compostos bioativos presentes em sorgo diferem entre os cultivares, locais e condições de plantio, que podem influenciar a estabilidade e o teor destes componentes. O objetivo do trabalho foi avaliar a estabilidade das 3-deoxiantocianidinas em grãos e farinhas de sorgo nos tempos 0 (inicial), 60 e 180 dias de armazenamento e sob diferentes temperaturas (4, 25 e 40°C). As análises foram realizadas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência e as médias submetidas ao teste de Tukey com erro de 5% de probabilidade. Foi verificado que as temperaturas de armazenamento não interferem no teor das 3- deoxiantocianidinas, as quais apresentaram retenção de 60% nos grãos e 70% nas farinhas ao final de 180 dias de armazenamento. As reduções significativas ocorreram apenas nos primeiros 60 dias.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* L. Moech, compostos bioativos, alimentação humana.

## 1. Introdução

O sorgo (*Sorgo bicolor* L. Moech) é uma gramínea, cuja origem e dispersão podem ter ocorrido em países da África e da Ásia. Nessas regiões, ele faz parte da alimentação básica de milhares de indivíduos (Awika & Rooney, 2004; Dicko, Gruppen, Voragen & Berkel, 2006; Mohammed, Mohamed & Babiker, 2010). No entanto, no Brasil, onde o sorgo é o quarto cereal mais produzido, (Conab, 2015) a prioridade de sua utilização ainda é a alimentação animal.

Alguns estudos indicam os potenciais benefícios da utilização do sorgo na alimentação humana por possuírem compostos bioativos que auxiliam na redução do risco de desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes, obesidade, hipertensão, doenças cardiovasculares e câncer (Awika, Rooney, & Waniska, 2004a; Queiroz, Shaffert, Ribeiro & Martino, 2011; Cardoso, Montini, Pinheiro, Pinheiro-Sant'Ana, Martino & Moreira, 2014) e também possuem propriedades antimicrobianas (Kil et al., 2009).

Entre os compostos bioativos presentes no sorgo, as 3-deoxiantocianidinas (3-DXAs) se destacam por sua capacidade antioxidante e também por seu potencial como corantes na indústria de alimentos (Awika, Rooney & Waniska, 2004 a-b; Kil et al, 2009; Devil, Saravanakumar & Mohandas, 2012).

As 3-DXAs compreendem as luteolinidinas e as apigeninidinas (Nip & Burns, 1971; Gous, 1989; Awika, Rooney e Waniska, 2004 a, b; Wu & Prior, 2005) e seus derivados metoxilados tais como, 5-metoxiluteolinidina (Seitz, 2004; Wu & Prior, 2005) e 7-metoxiapigeninidina (Pale, Kouda-Bonafos, Mouhoussine, Vanhaele-fastre & Ottinger, 1997; Seitz, 2004; Wu & Prior, 2005). Essas 3-DXAS do sorgo são assim denominadas por não apresentarem o grupo hidroxila na posição C-3 (Clifford, 2000). Essa característica exclusiva das 3-DXAS existente nesse cereal, possibilita uma maior estabilidade a pH elevado, em

comparação com aquelas comumente encontradas em hortaliças e frutas (Mazza & Brouillard, 1987; Gous, 1989; Awika et al., 2004; Devil, et al., 2012). Os fatores que influenciam na estabilidade de pigmentos como as antocianinas são: pH, temperatura, presença de oxigênio e enzimas e também, a interação com outros componentes do alimento como ácido ascórbico, íons metálicos, açúcares e copigmentos (Jackman & Smith, 1992). Sabe-se, portanto, que os genótipos de sorgo podem variar bastante quanto aos teores de compostos bioativos, tanto por fatores genéticos como ambientais (Awika & Rooney, 2004).

No Brasil, alguns trabalhos já vêm sendo conduzidos objetivando a introdução do sorgo na alimentação humana, especialmente, em produtos sem glúten (Queiroz et al., 2012; Paiva et al., 2012). Adicionalmente, genótipos de sorgo introduzidos ou desenvolvidos no país vêm sendo avaliados quanto aos teores de diversos compostos de interesse para a nutrição e a saúde humanas, com resultados bastante promissores (Moraes, Queiroz, Shaffert, Costa, Nelson, Ribeiro & Martino, 2012; Cardoso et al., 2014). Diante dos esforços para promover o consumo de grãos integrais, é crescente a conscientização entre os consumidores que reconhecem os benefícios das propriedades antioxidantes e evocam uma nova visão em direção aos efeitos benéficos desses compostos para a saúde (Awika, Yang, Jimmy, Browning, Faraj, 2009).

Estudo sobre os efeitos do processamento doméstico com calor seco e calor úmido sobre os composto bioativos do sorgo foram avaliados por Cardoso, et al., (2014) que constataram que o calor a seco não afeta o conteúdo das 3-DXAs, compostos fenólicos e atividade antioxidante, mas o mesmo não acontece quando submetidos a tratamentos de calor úmido.

No entanto, estudos que venham esclarecer o efeito das condições de temperatura e do tempo de armazenamento sobre os teores de compostos bioativos em sorgo ainda são inexistentes.

Assim, o objetivo desse trabalho foi verificar a estabilidade das 3-deoxiantocianidinas (luteolinidina, apigeninidina, 5- metoxiluteolinidina e 7- metoxiapigeninidina) em grãos e farinha de um genótipo de sorgo, durante o armazenamento em diferentes temperaturas.

## **2. Materiais e Métodos**

### *2.1. Genótipo de Sorgo*

Foi utilizado o genótipo SC 319, de coloração de pericarpo marrom, cultivado nos campos experimentais da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil, a uma latitude de 19°27'57'' sul e longitude de 44°14'49'' oeste. O plantio foi realizado na safra 2012/2013, com espaçamento entre as plantas de 0,5 entre fileiras e 10 plantas por metro, com adubação N-P-K (8-28-16). A colheita dos grãos ocorreu em abril de 2013. Após a colheita os grãos foram trilhados e armazenados a -18 °C até utilização.

### *2.2. Preparo dos grãos e obtenção da farinha*

Os grãos de sorgo foram selecionados manualmente e com o auxílio de uma peneira onde foram removidas as sujidades e impurezas. Para obtenção de farinha integral de sorgo os grãos inteiros foram moídos em moinho IKA modelo A11 basic, por 30s. A granulometria final foi de 0,5 mm.

### *2.3. Armazenamento*

As amostras de grãos íntegros e de farinha de sorgo foram acondicionadas em embalagens individuais de polipropileno e posteriormente colocadas em sacos de papel ao abrigo da luz. As amostras foram armazenadas por 180 dias em câmaras com controle de

temperatura tipo B.O.D (SOLAB 200/334) com três temperaturas distintas,  $4\pm 2$ ,  $25\pm 2$  e  $40\pm 2$  °C. Nos tempos 0 (zero), 60 e 180 dias de armazenamento as amostras foram retiradas para realização das análises dos perfis das 3-DXAs. As amostras dos grãos que permaneceram íntegros durante o armazenamento e foram moídas para a obtenção das suas respectivas farinhas antes dos procedimentos das análises cromatográficas.

#### 2.4. Análise de 3-DXAs

Os teores de luteolinidina (LUT), apigeninidina (API), 5-metoxiluteolinidina (5-MeO-LUT) e 7-metoxiapigeninidina (7 MeO-API) foram determinados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) nos grãos e nas farinhas de sorgo, de acordo com método proposto por Yang, Allred, Geera, Allred & Awika (2012) e modificado por Cardoso et al., 2014). Para a extração, 1 g de amostra foi adicionado a 20 mL de metanol/HCl a 1% (v:v) e agitado em banho ultrassônico (por 2 horas a 180 rpm). Em seguida, a suspensão foi centrifugada (centrífuga FANEM, Excelsa Baby II) a 2790g, por 5 minutos, sendo o sobrenadante coletado e seu volume completado para 20 mL com metanol acidificado. Posteriormente, o extrato foi acondicionado em frasco âmbar e armazenado a  $-18\pm 1$ °C) até o momento da análise (Dykes, Seitz, Rooney & Rooney, 2009). As análises foram realizadas em um HPLC (Shimadzu, SCL 10AT VP, Japão) equipado com detector de arranjos de diodos (DAD) (Shimadzu, SPD-M10A, Japão), bomba quaternária para gradiente de alta pressão (Shimadzu, LC-10AT VP, Japão), auto-injetor com *loop* de 500 µL (Shimadzu, SIL-10AF, Japão) e sistema de degasamento da fase móvel com gás hélio (Shimadzu, DGU-2 A, Japão).

As condições cromatográficas foram coluna C-18 Kinetex (150 x 4,6 mm id, 5 µm) equipada com coluna de guarda C-18 (4 mm x 3 mm) (Phenomenex, Torrance, CA), temperatura da coluna a 35 °C, volume de injeção de 15 µL, com detecção a 480 nm para 3-DXAs. A fase móvel foi composta de 2% de ácido fórmico em água ultrapura (linha A) e 2%

de ácido fórmico em acetonitrila (linha B). O gradiente de eluição para B foi o seguinte: 0-3 min, 10% isocrático; 3-4 min, 10-12%; 4-5 min, 12% isocrático; 5-8 min, 12-18%; 8-10 min, 18% isocrático; 10-12 min, 18-19%; 12-14 min, 19% isocrático; 14-18 min, 19-21%; 18-22 min, 21-26%; 22-28 min, 26-28%; 28-32 min, 28-40%; 32-34 min, 40-60%; 34-36 min, 60% isocrático; 36-38 min, 60-10%; 38-45 min, 10% isocrático. Para aumentar a repetibilidade do tempo de retenção dos picos, a fase móvel foi degaseificada com gás hélio (50 kPa) durante as corridas e utilizado o seguinte gradiente de fluxo: 0-36 min, 1,0 mL/min; 36-38 min, 1,0-2,0 mL/min; 38-44 min, 1,0 mL/min; 44-45 min, 1,0-2,0 mL/min.

A identificação foi realizada correlacionando o tempo de retenção e o espectro de absorção dos picos dos padrões e das amostras, analisados sob as mesmas condições. A quantificação de cada composto foi realizada pela comparação das áreas dos picos com aquelas das curvas analíticas construídas por meio da injeção, em duplicata, de seis diferentes concentrações de padrão. O  $R^2$  das curvas analíticas variou de 0,9939 a 0,9992.

A 5-MeO-LUT e 7-MeO-API foram quantificadas utilizando padrões de luteolinidina e apigeninidina, respectivamente, juntamente com o apropriado fator de correção de peso molecular (Dykes et al., 2009)..

### *2.5. Análise estatística*

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 2x3x3 (2 tipos de processamento x 3 temperaturas x 3 tempos de armazenamento). Os dados foram analisados por ANOVA e as médias submetidas ao teste de Tukey, com probabilidade de erro de 5%, com o auxílio do modelo computacional SISVAR (Ferreira, 2003).

### 3. Resultados e Discussão

Não houve efeito do tipo de produto (farinha e grão), da temperatura e das interações (tipo de produto x temperatura, tipo de produto x tempo e temperatura x tempo) sobre os teores de 3-DXAs ( $p < 0,05$ ) do genótipo SC319 (Tabela 1). Apenas o tempo de armazenamento influenciou o teor desses compostos, o qual foi analisado separadamente.

**Tabela 1.** Conteúdo de 3-deoxiantocianinas em grãos e em farinha de sorgo em função do tempo e da temperatura de armazenamento.

3-deoxiantocianidina	Tempo	Grãos			Farinha		
		Temperatura de armazenamento					
		4°C	25°C	40°C	4°C	25°C	40°C
LUT	0	59,57 Aa	59,57 Aa	59,57 Aa	51,67 Aa	51,67 Aa	51,67 Aa
	60	40,46 Ba	40,40 Ba	37,55 Ba	42,08 Ba	42,50 Ba	44,03 Ba
	180	38,92 Ba	41,06 Ba	34,00 Ba	42,03 Ba	41,04 Ba	37,68 Ba
API	0	29,57 Aa	29,57 Aa	29,57 Aa	25,16 Aa	25,16 Aa	25,16 Aa
	60	18,66 Ba	17,81 Ba	18,17 Ba	18,46 Ba	19,12 Ba	18,82 Ba
	180	18,65 Ba	18,03 Ba	13,92 Ba	19,68 Ba	18,11 Ba	16,25 Ba
5-MeO- LUT	0	52,30 Aa	52,30 Aa	52,30 Aa	49,49 Aa	49,49 Aa	49,49 Aa
	60	38,66 Ba	36,40 Ba	38,93 Ba	37,27 Ba	38,78 Ba	38,31 Ba
	180	31,79 Ba	36,41 Ba	30,89 Ba	35,82 Ba	36,57 Ba	35,14 Ba
7-MeO -API	0	22,57 Aa	22,57 Aa	22,57 Aa	21,62 Aa	21,62 Aa	21,62 Aa
	60	16,33 Ba	15,24 Ba	15,61 Ba	16,05 Ba	15,97 Ba	15,94 Ba
	180	13,36 Ba	14,49 Ba	14,00 Ba	15,00 Ba	15,84 Ba	13,89 Ba

Letras iguais minúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nas temperaturas de 4°C, 25°C e 40°C, as letras iguais maiúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey nos tempos indicados sobre os teores de LUT: Luteolinidina, API: Apigeninidina, 5-MeO-LUT:5-Metoxiluteolinidina e 7-MeO-API:7- Metoxiapigeninidina, em farinha e grãos de sorgo. Valores expressos em ng/g de matéria seca.

A ausência de efeito da temperatura no teor das 3-DXAs demonstrou que essas antocianinas são mais estáveis às diferenças de temperatura que aquelas encontradas em frutas e vegetais, cuja temperatura de armazenamento é fundamental para sua conservação (Sweeny & Iacobucci, 1981), ou seja, temperaturas elevadas durante o armazenamento desestabilizam sua estrutura molecular (Cisveros- Zevallos, 2005; Bakhshayeshi et al., 2006). Maeda et al., (2007) avaliaram a estabilidade de vitamina C e de antocianinas em néctar de camu-camu, por 120 dias, e verificaram que os produtos armazenados em temperatura ambiente diferiram

significativamente dos armazenados sob refrigeração, sendo que as amostras começaram a apresentar diferenças entre si, já a partir dos primeiros 7 dias de armazenamento. De acordo com Campo, et al., (2008) o armazenamento sob refrigeração é capaz de preservar melhor os compostos bioativos em hortaliças por um período de até 35 dias. Os resultados do presente trabalho indicaram uma maior estabilidade dos compostos em estudo frente às temperaturas de 4, 25 e 40° C no período de 180 dias de armazenamento o que sugere que grãos e farinhas de sorgo podem ser armazenados em temperaturas ambientes, levando em consideração a diversidade das temperaturas em determinadas regiões.

Corroborando o presente estudo, Cardoso et al., (2014) constataram que o conteúdo das 3-DXAs não foi afetado por diferentes tratamentos em calor a seco. Devi, Saravanakumar & Mohandas (2012) também observaram que as 3-DXAs em extratos de farelo de sorgo vermelho foram estáveis a variações de temperatura, luz e pH.

Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para os teores de todas as 3-DXAs, tanto nos grãos quanto nas farinhas de sorgo, do tempo 0 (zero) para o 60 e do 0 (zero) para os 180 dias (Tabela 1). Entretanto, não houve diferença entre os tempos 60 e 180 dias para as quatro variáveis, em ambas as matrizes analisadas.

Aos 180 dias de armazenamento as amostras ainda apresentaram retenção de 63,77% de luteolinidina e 57,08% de apigeninidina nos grãos e 76,07% de luteolinidina e 71,59% de apigeninidina nas farinhas (Tabela 2). É importante salientar que, embora tenham ocorrido perdas significativas ao longo do armazenamento por 180 dias, as amostras de sorgo ainda apresentaram retenção de cerca de 60% das 3-DXAs nos grãos e 70% em farinha de sorgo, mesmo quando estes estavam acondicionadas a 40°C. Segundo alguns autores o grau de degradação e estabilidade dependem da severidade do tempo e da temperatura (Patras et al., 2010; Ni et al., 2012). Neste estudo, a temperatura de 40 °C não afetou significativamente em

perdas o conteúdo das 3-DXAs estudadas, apresentando o mesmo comportamento verificado nas temperaturas de 4 e 25°C.

**Tabela 2.** Retenção (%) das 3-deoxiantocininas em grãos e em farinha de sorgo durante o armazenamento por 180 dias.

Amostras	% de retenção				Média
	LUT	API	5-MeO-LUT	7- MeO-API	
Grão	63,77	57,08	63,15	61,76	61,44
Farinha	76,07	71,59	72,49	68,96	72,28

LUT: Luteolinidina, API: Apigeninidina, 5-MeO-LUT: 5-Metoxiluteolinidina e 7-MeO-API: 7-Metoxi-apigeninidina.

As perdas ocorridas ao longo do período de armazenamento para as 3-DXAs estudadas tanto na farinha quanto nos grãos de sorgo, estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3.** Redução das 3-deoxiantocianinas em farinha de sorgo.

Dias de Armazenamento	% de redução			
	LUT	API	5-MeO-LUT	7- MeO-API
<b>0 e 60</b>	18,98	24,00	22,90	26,00
<b>60 e 180</b>	6,11	5,80	5,98	6,81
<b>0 e 180</b>	23,93	28,41	27,51	31,04

LUT: Luteolinidina, API: Apigeninidina, 5-MeO-LUT: 5-Metoxiluteolinidina e 7-MeO-API: Metoxi-apigeninidina.

**Tabela 4.** Redução (%) das 3-deoxiantocianinas em grãos de sorgo.

Dias de Armazenamento	% de redução			
	LUT	API	5-MeO-LUT	7- MeO-API
<b>0 e 60</b>	28,15	38,38	27,34	30,31
<b>60 e 180</b>	11,24	7,35	13,08	11,38
<b>0 e 180</b>	36,23	42,92	36,85	38,24

LUT: Luteolinidina, API: Apigeninidina, 5-MeO-LUT: 5-Metoxiluteolinidina e 7-MeO-API: 7-Metoxi-apigeninidina.

Aos 60 dias de armazenamento observou-se redução do teor inicial das 3-DXAs de 18,98 a 26% na farinha de sorgo e entre 27,3 e 38,4 % nos grãos. No período compreendido entre 60 e 180 dias de armazenamento não houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para os

teores avaliados (Tabela 1), com perdas que variaram de 7,35 a 13,08 nos grãos e de 5,80 a 6,81% nas farinhas (Tabelas 3 e 4).

São poucos os estudos sobre retenção de 3-DXAs em sorgo durante o armazenamento, porém, em milho, Paes (2011), retratou perdas expressivas de carotenoides, outro importante composto bioativo, em um período de apenas 24 dias e ressaltou a relevância da retenção de biocompostos em alimentos a serem consumidos pela população.

As perdas de compostos bioativos durante o armazenamento de frutas e hortaliças são bastante referenciadas na literatura. Galgano, Favati, Caruso, Pietrafesa & Natella (2007), em estudo da estabilidade do armazenamento e conservação de compostos bioativos em brócolis, constaram perdas de 39 % de vitamina C aos 35 dias de armazenamento. Soares e José (2013), também avaliaram perdas durante o armazenamento e obtiveram resultados semelhantes para teores de carotenoides e vitamina C em variedades de mangas submetidas a congelamento (-18°C), com perdas de 72 % aos 60 dias de armazenamento.

No presente estudo os resultados indicaram que, mesmo não havendo diferenças significativas entre farinha e grãos de sorgo, a farinha conservou melhor o teor das 3-DXAs em relação aos grãos, este fator torna-se importante tanto para o consumidor final que não dispõe de muito tempo para dispende no processamento dos alimentos quanto para as indústrias beneficiadoras. A estabilidade das 3-DXAs que grãos e farinhas apresentaram durante o tempo de armazenamento por um período de 6 meses foi um resultado inédito de grande relevância.

#### **4. Conclusões**

Os teores de 3-DXAs em grãos e em farinha originada do genótipo SC319 de sorgo são estáveis em armazenamentos nas temperaturas de 4, 25 e 40 °C por um período de 180 dias.

As farinhas de sorgo SC319 apresentaram os maiores percentuais de retenção das 3-DXAs (luteolinidina, apigeninidina, 5-Metoxiluteolinidina e 7-metoxiapigeninidina) em relação aos grãos.

Ao final de 180 dias de armazenamento observou-se retenção de cerca de 60% das 3-deoxiantocianidinas em grãos e 70% em farinha de sorgo, mesmo acondicionadas a 40 °C.

## Referências

- Awika, J.M., Rooney, L.W., Wu, X., Prior, R.L., & Cisneros-Zevallos, L. (2003). Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6657–6662.
- Awika, J. M., & Rooney, L. W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65(9), 1199-1221.
- Awika, J.M., Rooney, L.W., & Waniska, R.D. (2004a). Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. *Food Chemistry*, 90,293–301.
- Awika, J. M., Rooney, L. W., & Waniska, R. D. (2004b). Properties of 3-deoxyanthocyanidins from sorghum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), 4388–4394.
- Awika, J.M., Liyi Yang, I., Jimmy D. Browning, J.D., & Faraj, A. (2009). Comparative antioxidant, antiproliferative and phase II enzyme inducing potential of sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties. *Food Science and Technology*, 42, 1041-1046.
- Bakhshayeshi, M.A., Khayami, M., Heidari R., & Jamei, R. (2006). The effects of light, storage temperature, pH and variety on stability of anthocyanin pigments in four *Malus* varieties. *Pak J Biol Sci*, 9(3), 428-33.
- Cardoso, L. M., Montini, A.T., Pinheiro, S.S., Pinheiro-Sant'Ana, H. M., Hércia Stampini Duarte Martino, H.S. D., & Moreira, A.V.B. (2014). Effects of processing with dry

- heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. *Food Chemistry*, 152:210-217.
- Campos, F.M., Martino, H.S.D., Sabarense, C.M., & Pinheiro-Sant'Ana, H.M. (2008). Estabilidade de Compostos Antioxidante em hortaliças Processadas: Uma Revisão. *Alim. Nutr. Araraquara*, 19 (4) 481-490.
- Clifford M.N. (2000). Anthocyanin – nature, occurrence and dietary burden. *J. Sci. Food Agric*, 80, 1063-1072.
- Cisveros-Zevallos L. (2004) Stability of Anthocyanin-based Aqueous Extract of Andean Purple Corn and Red-flushed Sweet Potato Compared to Synthetic and Natural Colorants. *J Food Chem*, 86, 66-97.
- CONAB, (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 2, n.4, Brasília, 1-90, 2015.
- Devi, P.S., Saravanakumar.M., & Mohandas, S. (2012). The effects of temperature a pH on stalility of antocyanins from red sorghum (sorghum bicolor) bran. *African Journal of Food Science*, 6(24), 567-573.
- Dykes, L., & Rooney, L. W. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Jornal of Cereal Science*, 44, 236-251.
- Dykes, L., Seitz, L. M., Rooney, W. L., & Rooney, L. W. (2009). Flavonoid composition of red sorghum genotypes. *Food Chemistry*, 116(1), 313–317.
- Dicko, M. H, Gruppen, H, Traoré, A. S, Voragen, A. G. J., & Berkel, W. J. H. (2006). Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of Biotechnology*, Nairobi, v. 5, n. 5, p. 384-395.
- Ferreira, D.F. (2003). Programa SISVAR: sistema de análise de variância: versão 4,6 (Build6,0). *Lavras: DEX/UFLA*.
- Galgano, F., Favati, F., Caruso, M., Pietrafesa, A., & Natella, S. (2007). The influence of processing and preservation on the retention of health promoting compounds in broccoli. *J. Food Sci.*, v.72, n.2, p.S130-S135.

- Gous, F, (1989). Tannins and phenols in black sorghum. Ph.D.Dissertation. Texas A& M University: College Station, TX.
- IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2012). [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Producao\\_Agricola\\_Municipal\\_\[anual\]/2012/pam2012.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anual]/2012/pam2012.pdf).
- Jackman, R. L., & Smith, J. L. (1992). Anthocyanins and betalains. In: Hendry, G. A. F.; Houghton, J. D. Natural food colorants. New York-USA: AVI.
- Kil, H. Y., Seong, E.S., Ghimire, B.K., Chung, I-Min., Kwon, S.S, Goh, E.J., Heo, K., Kim, M.J., Lim, J.D., Lee, D., & Yu, C.Y. (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of crude sorghum extract. *Food Chemistry*, 115, 1234-1239.
- Maeda, R.N., Pantoja, L., Yuyama, L. K.O., & Chaar, J.M. (2007). Estabilidade de ácido ascórbico e antocianinas em nectar de camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh). *Ciências e Tecnologia de Alim., Campinas*, 27(2): 313-316.
- Mazza, G., & Brouillard, R. (1987). Color stability and structural transformations of cyaniding 3, 5-diglucoside and four 3-deoxyanthocyanins in aqueous solutions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 35, 422–426.
- Moraes, E. A. (2011). Antioxidant activity, protein quality and functional potential of sorghum genotypes available for human consumption. Viçosa, Minas Gerais: Federal University of Viçosa.
- Moraes, E.A., Queiroz, V.A.V., Shaffert, R.E., Costa, N.M.B., Nelson, J.D., Ribeiro, S.M.R., & Martino, H.S.D.M. (2012). In vivo protein quality of new sorghum genotypes for human consumption. *Food Chemistry*, 1549-1555.
- Mohammed, N.A., Mohamed, A.I.A., & Babiker, E.E. (2010). Avaliação nutricional de farinha de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) durante o processamento de injera. *International Journal of Biological and Life Sciences*, 6 (1), 35-39.
- Nip, W.K., & Burns, E.E. (1971). Pigment characterization in grain sorghum. I. White varieties. *Cereal Chem.* 48:74-80.

- Paes, M. C. D. (2011). Retenção de carotenoides em milho e seus derivados. In: Reunião de Biofortificação no Brasil, 4: Embrapa Agroindustrial de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/39807/1/Retencao-carotenoides.pdf>.
- Paiva, C.L., Queiroz, V.A.V., & Rodrigues, J.A.S. ( 2012 ). Estudos sensoriais para determinação da vida de prateleira de barras de cereais com pipoca de sorgo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 11 (3), 302-311.
- Pale, E., Kouda-Bonafos, M., Mouhoussine,N., Vanhaelen,M., Vanhaelen- fastre, R., & Ottinger, R. (1997). 7-O-Methylapigeninidin, in antocyanidin from Sorghum Caudatum. *Phytochem.* 45,1091-1092.
- Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science and Technology*, 21(1), 3–11.
- Pomeranz, Y. (1978). Wheat: *chemistry and technology*. (3 ed.). St. Paul: AACC, 821p.
- Queiroz, V. Ap.V., Moraes, E.A., Schaffert,R.E., Moreira, A.V., Ribeiro,S.M.R., & Martino, H.S.D. (2011). Potencial funcional e tecnológico de processamento de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), na alimentação humana. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 10(3) 180-195.
- Rubinskiene M, Viskelis P, Jasutiene I., & Bobinas C. (2005). Impact of various factors on the composition and stability of black currant anthocyanins. *Food Res Int* 38 (8-9) 867-71.
- Seitz, L.M. (2004). Effect of plant-type (purple vs. tan) and mold invasion on concentrations of 3-deoxyanthocyanidins in sorghum grain. AACC Annual Meeting Abstracts. URL: [/http://www.aaccnet.org/meetings/2004/abstracts/a04ma384.htm](http://www.aaccnet.org/meetings/2004/abstracts/a04ma384.htm)s.
- Stringheta, P.C. (1991). Identificação da estrutura e estudo da estabilidade das antocianinas extraídas da inflorescência de capim gordura (*Melinis minutiflora*, Pal de Beauv),

Campinas, 138 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – UNICAMP.

Soares, L. P., & José, A.R.S. (2013). Compostos bioativos em polpas de mangas rosa e espada submetidas ao branqueamento e congelamento. *Rev. Bras. de Frutic*, 35 (2), 579-586.

Sweeny, J.G., & Iacobucci, G.A. (1981). Synthesis of anthocyanidins – III: total synthesis of apigeninidin and luteolinidin chlorides. *Tetrahedron*, 37, 1481–1483.

Wu, X., & Prior, R.L. (2005). Identification and characterization of anthocyanins by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry in common foods in the United States: vegetables, nuts, and grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3101–3113.

Yang, L., Allred, K. F., Geera, B., Allred, C. D., & Awika, J. M. (2012). Sorghum phenolics demonstrate estrogenic action and induce apoptosis in nonmalignant colonocytes. *Nutrition and Cancer*, 64(3), 419–427.

## **ARTIGO 2. PERFIL DE FLAVONÓIDES EM FARINHA E FARELO DE SORGO DURANTE O ARMAZENAMENTO**

**Em conformidade com as normas estabelecidas pela revista Food Chemistry.**

### **Resumo**

O sorgo possui compostos bioativos favoráveis à promoção da saúde humana. O potencial quimiopreventivo que as plantas possuem pode ser atribuído à capacidade antioxidante que os flavonóides apresentam. Temperatura e tempo de armazenamento são importantes fatores relacionados à preservação das propriedades funcionais durante a vida de prateleira do alimento. Por isso, o objetivo do trabalho foi verificar o efeito do tempo e da temperatura de armazenamento na estabilidade de 3-deoxiantocianidinas, flavonas e flavanonas em farinha e farelo de sorgo. As análises foram realizadas simultaneamente por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência. Os resultados revelaram que o tempo de armazenamento alterou o conteúdo desses compostos em farinha e em farelo de sorgo. O farelo de sorgo apresentou teores de flavonóides significativamente superiores à farinha. Ao final dos 180 dias de armazenamento a percentagem de retenção das 3-deoxiantocianinas, flavonas e flavanonas no farelo de sorgo foram de 63; 72; e 75% respectivamente. Em contrapartida, a farinha de sorgo apresentou retenções mais elevadas, sendo, 71,8; 86,4 e 88% para as 3-deoxiantocianidinas, flavonas e flavanonas respectivamente.

**Palavras chave:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, temperaturas de armazenamento, 3-deoxiantocianidinas, flavonas, flavanonas.

## 1. Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) é um cereal que está em destaque devido a suas vantagens agronômicas, nutricionais e funcionais. Seus grãos fornecem principalmente, carboidratos, além de proteínas, fibras, vitaminas (principalmente do complexo B) e minerais (magnésio, zinco e selênio) (Adlercreutz, 2007). Os grãos de sorgo são também uma importante alternativa para uso em dietas sem glúten (Schober, Messerschmidt, Bean, Park & Arendt, 2005). Além disso, eles possuem compostos fenólicos relevantes para a saúde humana (Dykes & Rooney, 2006). Segundo estudos preliminares *in vitro* e *in vivo* esses compostos estão relacionados com a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, dentre elas diabetes, câncer, hipertensão, obesidade e doenças cardiovasculares (Awika & Rooney, 2004; Moraes et al., 2012; Cardoso, Montini, Pinheiro, Pinheiro-Sant'Ana, Martino & Moreira, 2014).

Os flavonoides são metabólitos secundários das plantas e considerados o maior grupo de compostos fenólicos que ocorrem naturalmente nas mesmas (Balasundram, Sundram & Samman, 2006). Os efeitos benéficos em uma dieta rica nesses compostos está relacionados à uma alta capacidade antioxidante, anti-inflamatória e anticarcinogênica (Prior & Cao, 2000; Awika & Rooney 2004; Neuhoser, 2004).

Dentre os flavonóides presentes no sorgo destacam-se as 3-deoxiantocianidinas (3-DXAs), que compreendem as luteolinidinas, as apigeninidinas e seus derivados (Nip & Burns 1969; 1971), as flavonas representadas pela apigenina e luteolina, (Seitz, 2004) as flavanonas, como eriodictiol (Kambal, & Bate-Smith, 1976) e a naringenina (Yasumatsu, Nakayama, & Chichester, 1965).

As 3-DXAs compõem a classe de flavonóides mais estudada em grãos de sorgo (Dykes & Rooney, 2006). Os genótipos que possuem o pericarpo na coloração preta possuem

os mais altos teores desses compostos (Awika, Rooney & Waniska, 2004 a- b; Dykes, Rooney, Waniska & Rooney 2005; Gous, 1989), concentrados principalmente no farelo (Awika, McDonough & Rooney, 2005, Dykes & Rooney, 2006). As 3-DXAs são diferentes das antocianinas de frutas e vegetais, devido à ausência de um grupo hidroxila na posição C-3 o que confere uma boa estabilidade em condições ácidas (Clifford, 2000; Awika, Rooney & Waniska, 2004 a, b). Além da boa estabilidade a variações de pH, as 3-DXAs são estáveis quando submetidas à temperaturas elevadas. Yang, et al., (2014) estudaram a estabilidade térmica em extrato de 3-DXAs submetidas a 95°C por duas horas e a 121° C por 30 minutos e constataram boa estabilidade desse composto a altas temperaturas. Devido à maior estabilidade das 3-DXAs do sorgo a essas condições, este é reputado como fonte viável para uso como aditivos alimentares e vitaminas ou padrões de antocianinas. (Dykes & Rooney, 2006; Yang, Dykes & Awika, 2014).

As flavonas e as flavanonas ainda são pouco exploradas em estudos sobre compostos bioativos em sorgo (Awika & Rooney, 2004). Contudo, Yang, Allred, Geera, Allred, & Awika, (2012) demonstraram que as flavonas luteolina e apigenina podem ajudar na prevenção do câncer de cólon.

Apesar dos altos níveis de compostos bioativos encontrados em alguns genótipos de sorgo, ainda não há informações na literatura a respeito da estabilidade e/ou comportamento desses compostos durante o armazenamento. Assim, estudos relacionados à influência de variáveis envolvidas no armazenamento, como tempo e temperatura, sobre as características nutricionais e funcionais do sorgo são relevantes no intuito de incrementar os processos de produção e estocagem, evitando perdas desses compostos importantes na promoção da saúde e para uso desse cereal na alimentação humana (Queiroz, Morais, Schaffert, Moreira, Ribeiro & Martinho, 2011).

O objetivo deste trabalho foi verificar a estabilidade das 3-deoxiantocianidinas, flavonas e flavanonas em farinhas e farelos de sorgo durante o armazenamento em diferentes temperaturas.

## **2. Materiais e Métodos**

### *2.1. Genótipo de Sorgo*

Foram utilizados farinha e farelo de sorgo do genótipo Tx 430, fornecido pela Texas A&M University, College Station, Tx, Estados Unidos da América.

### *2.2. Armazenamento*

A farinha e o farelo de sorgo foram acondicionados em frascos individuais de polipropileno, com capacidade para 10 gramas. Posteriormente os frascos foram colocados em sacos de papel ao abrigo da luz e armazenados por um período de 180 dias em três temperaturas distintas, 4, 25 e 40  $\pm$ 2°C, em câmaras tipo B.O.D (SOLAB 200/334). As amostras para realização das análises dos perfis das 3-deoxiantocianidinas (3-DXAs) foram retiradas nos tempos 0 (zero,) 60 e 180 dias de armazenamento. Para a determinação do perfil das flavonas e flavanonas, farinhas e farelos do Tx 430 foram retiradas nos tempos 0 (zero), 60, 120 e aos 180 dias após o armazenamento.

### *2.3. Análise Cromatográfica*

Os teores das 3-DXAs (luteolinidina, apigeninidina, 7-metoxiapigeninidina e 5-metoxiluteolinidina), flavonas (luteolina e apigenina) e flavononas (narigenina e eriodictiol) foram analisados, simultaneamente, nas amostras de farinhas e de farelos de sorgo, por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), de acordo com método proposto por Yang, Allred, Geera, Allred e Awika (2012) e modificado por Cardoso, Montini, Pinheiro, Pinheiro Sant'Ana, Matino & Moreira (2014). Para a extração, 1 g de sorgo foi adicionado de 20 mL

de metanol/HCl a 1% (v:v) e agitado por 2 horas a 180 rpm. Em seguida, a suspensão foi centrifugada (centrífuga FANEM, Excelsa Baby II) a 2790g, por 5 minutos, sendo o sobrenadante coletado e seu volume completado para 20 mL com metanol acidificado. Posteriormente, o extrato foi acondicionado em frasco âmbar e armazenado a  $-18 \pm 1$  °C até o momento da análise (Dykes, Seitz, Rooney & Rooney, 2009). As análises foram realizadas em um sistema CLAE (Shimadzu, SCL 10AT VP, Japão) equipado com detector de arranjos de diodos (DAD) (Shimadzu, SPD-M10A, Japão), bomba quaternária para gradiente de alta pressão (Shimadzu, LC-10AT VP, Japão), auto-injetor com *loop* de 500 µL (Shimadzu, SIL-10AF, Japão) e sistema de degasamento da fase móvel com gás hélio (Shimadzu, DGU-2 A, Japão).

As condições cromatográficas utilizadas incluíram o sistema HPLC, coluna C-18 Kinetex (150 x 4,6 mm id, 5 µm) equipada com coluna de guarda C-18 (4 mm x 3 mm) (Phenomenex, Torrance, CA), temperatura da coluna de 35 °C, volume de injeção de 15 µL, varredura do espectro de 200 a 700 nm com detecção a 480 nm para as 3-DXAs, 360 nm para flavonas e 280 nm para flavanonas. A fase móvel foi composta de 2% de ácido fórmico em água ultrapura (linha A) e 2% de ácido fórmico em acetonitrila (linha B). O gradiente de eluição para B foi o seguinte: 0-3 min, 10% isocrático; 3-4 min, 10-12%; 4-5 min, 12% isocrático; 5-8 min, 12-18%; 8-10 min, 18% isocrático; 10-12 min, 18-19%; 12-14 min, 19% isocrático; 14-18 min, 19-21%; 18-22 min, 21-26%; 22-28 min, 26-28%; 28-32 min, 28-40%; 32-34 min, 40-60%; 34-36 min, 60% isocrático; 36-38 min, 60-10%; 38-45 min, 10% isocrático. Para aumentar a repetibilidade do tempo de retenção dos picos a fase móvel foi degaseificada com gás hélio (50 kPa) durante as corridas e utilizado o seguinte gradiente de fluxo: 0-36 min, 1,0 mL/min; 36-38 min, 1,0-2,0 mL/min; 38-44 min, 1,0 mL/min; 44-45 min, 1,0-2,0 mL/min.

A identificação dos flavonóides foi realizada comparando-se o tempo de retenção e o espectro de absorção dos picos dos padrões e das amostras, analisados sob as mesmas condições. A quantificação de cada composto foi realizada pela comparação das áreas dos picos com aquelas das curvas analíticas construídas por meio da injeção de padrões, em duplicata. A 5-metoxiluteolinidina (5-MeO-LUT) e 7-metoxiapigeninidina (7-MeO-API) foram quantificadas utilizando padrões de luteolinidina e apigeninidina, respectivamente, juntamente com o apropriado fator de correção de peso molecular ( Dykes et al., 2009). O  $R^2$  das curvas analíticas variou de 0,9939 a 0,9992. Os resultados foram expressos em ng/g de amostra, como componentes isolados das 3-DXAs, flavonas e flavanonas.

#### *2.4. Análise estatística*

Para as 3-DXAs foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x3 (temperaturas x tempos de armazenamento). Para flavonas e flavanonas foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 3x4 (temperatura x tempos de armazenamento). Os dados foram analisados por ANOVA com o auxílio do modelo computacional SISVAR (Ferreira, 2003) e as médias submetidas ao teste de Tukey com probabilidade de erro de 5%.

### **3. Resultados e Discussão**

#### *3.1. 3-Deoxiantocianidinas*

Os resultados dos teores de 3-DXAs em amostras de farinhas e de farelos de sorgo do genótipo Tx 430 estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. Embora farelo e farinha de sorgo tenham sido analisados separadamente, observou-se, no início do armazenamento (tempo zero), que os teores de luteolinidina, apigeninidina e de seus derivados metoxilados foram muito superiores no farelo em relação à farinha de sorgo. As concentrações de luteolinidina e

de 5-metoxiluteolinidina foram cerca de 10 vezes superiores no farelo. Esse resultado já era esperado visto que esses compostos concentram-se no pericarpo dos grãos. Awika, Rooney & Waniska (2004 b) já relataram a expressividade das 3-DXAs presentes nos farelos de sorgo de pericarpo preto, cujos teores foram 3 a 4 vezes superiores aos de grãos inteiros e duas vezes maiores que farelos de sorgo de pericarpos vermelho e marrom.

Não houve efeito da temperatura e da interação tempo x temperatura sobre os teores de luteolinidina na farinha de sorgo (Tabela 1). Esse resultado mostra que as temperaturas 4, 25 e 40°C não interferiram nos teores de luteolinidina das amostras de farinha de sorgo ao longo do armazenamento por 180 dias. Observou-se efeito apenas do tempo com redução desses teores do início até os 60 dias de armazenamento. Porém, de 60 para 180 dias não houve diferença nessas concentrações, o que mostrou uma retenção de cerca de 70 % desse composto ao final do armazenamento.

Para apigeninidina, 5-metoxiluteolinidina e 7-metoxiapigininidina houve efeito do tempo e da temperatura e não da interação entre esses fatores. A temperatura de 40°C foi a que provocou maior perda desses compostos. Entre 4 e 25°C (refrigerado e temperatura ambiente) não houve diferença significativa.

Para todos esses compostos, após 60 dias de armazenamento, ocorreu decréscimo nos teores comparados com o tempo inicial. Porém, a partir do 60º dia, esses compostos tornaram-se estáveis e ao final do armazenamento ainda apresentavam retenção de 67,3; 78,1 e 71,8% para apigeninidina, 5-metoxiluteolinidina e 7-metoxiapigininidina, respectivamente.

No caso do farelo de sorgo, observou-se efeito significativo apenas do tempo sobre todas as 3-DXAs quantificadas (Tabela 2). O efeito significativo foi observado apenas até os 60 dias de armazenamento. Após seis meses de armazenamento o farelo de sorgo apresentou

retenção de 64,3; 60,5; 61,9 e 67,5% para luteolinidina, apigeninidina, 5-metoxiluteolinidina e 7-metoxiapigininidina, respectivamente.

Devi, Saravanakumar & Mohandas, (2012) estudaram os efeitos da temperatura (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70°C), da luz (presença e ausência) e do pH (1,1; 3,0; 4,1; 5,1; 6,0; 6,6; 6,8; 6,9; 7,2, 7,3; 8,0; 8,9; 9,9 e 10,5) na estabilidade de antocianinas de extratos de farelo de sorgo vermelho e constataram boa estabilidade desses compostos frente a esses fatores. Gous (1989) relatou que extrato de antocianinas em sorgo de pericarpo preto foi estável à temperatura e à luz, sem qualquer alteração na absorvência quando submetidos a 70°C durante até 36 h e apenas uma redução de 9% na absorvência quando sujeito a 1000  $\mu$  - einstein (equivalente a metade da intensidade da exposição solar) a 24 °C durante 48 h. A alta estabilidade, juntamente com os altos níveis de 3- deoxiantocianidinas no pericarpo dos grãos de sorgo revelam o grande potencial dessas antocianinas a ser explorado como corante alimentar.

**Tabela 1.** Teores de 3-DXAs em farinha de sorgo Tx 430 durante o armazenamento.

FARINHA	Luteolinidina						Apigeninidina				
	Temperatura	Tempo				%Retenção	Tempo				%Retenção
		0	60	180	Média		0	60	180	Média	
4°	102,2	81,0	80,5	87,9	a	102,6	77,6	78,7	86,3	A	
25°	102,2	79,8	75,6	85,9	a	102,6	74,5	74,4	83,8	A	
40°	102,2	73,7	58,8	78,2	a	102,6	67,7	54,0	74,8	B	
<b>Média</b>	102,2	A 78,1	B 71,6	B 84,0	<b>70,0</b>	102,6	A 73,3	B 69,0	B 81,6	<b>67,3</b>	
FARINHA	5-metoxiluteolinidina					7-metoxiapigeninidina					
	Temperatura	Tempo				%Retenção	Tempo				%Retenção
		0	60	180	Média		0	60	180	Média	
4°	50,9	46,7	43,8	47,1	a	50,5	42,0	41,4	44,6	A	
25°	50,9	45,2	44,5	46,9	a	50,5	39,8	38,2	42,9	Ab	
40°	50,9	36,8	31,0	39,6	b	50,5	37,5	29,2	39,0	B	
<b>Média</b>	50,94	A 42,9	B 39,8	B 44,52	<b>78,1</b>	50,5	A 39,8	B 36,3	B 42,2	<b>71,8</b>	

Letras iguais minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nas temperaturas de 4°C, 25°C e 40°C, as letras iguais maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nos tempos indicados sobre os teores de luteolinidina, Apigeninidina, 5-Metoxiluteolinidina e 7- metoxiapigeninidina em farinha de sorgo Tx430. Resultados expressos em ng/g de amostra em base seca.

**Tabela 2.** Teores de 3-DXAs em farelo de sorgo Tx 430 durante o armazenamento.

FARELO	Luteolinidina					Apigeninidina					
	Temperatura	Tempo			Média	%Retenção	Tempo			Média	%Retenção
		0	60	180			0	60	180		
	4°	1064,8	772,4	685,2	840,8	a	218,4	150,9	132,2	167,2	a
25°	1064,8	767,2	696,2	842,7	a	218,4	146,6	138,8	168,0	a	
40°	1064,8	685,9	671,3	807,4	a	218,4	128,8	125,4	157,5	a	
<b>Média</b>	1064,8	A 741,8	B 684,2	B 830,3	<b>64,3</b>	218,4	A 142,1	B 132,1	B 164,2	<b>60,5</b>	
FARELO	5-metoxiluteolinidina					7-metoxiapigeninidina					
	Temperatura	Tempo			Média	%Retenção	Tempo			Média	%Retenção
		0	60	180			0	60	180		
	4°	1156,2	830,4	724,7	903,8	a	226,1	170,5	166,5	187,7	a
25°	1156,2	779,5	741,5	892,4	a	226,1	162,7	147,7	178,9	a	
40°	1156,2	695,5	681,3	844,3	a	226,1	144,4	143,7	171,4	a	
<b>Média</b>	1156,2	A 768,5	B 715,8	B 880,2	<b>61,9</b>	226,1	A 159,2	B 152,6	B 179,3	<b>67,5</b>	

Letras iguais maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nos tempos 0, 60, 120 e 180, as letras iguais minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nas temperaturas de 4, 25 e 40°C, sobre os teores de luteolinidina, apigeninidina, 5-metoxiluteolinidina e 7- metoxiapigeninidina em farelo de sorgo Tx 430. Resultados expressos em ng/g de amostra em base seca.

### 3.2. Flavonas

Os resultados dos teores de flavonas revelaram que o farelo de sorgo do genótipo Tx 430 apresentou aproximadamente 6 vezes mais luteolina e cerca de 2 vezes mais apigenina que a farinha de sorgo (Tabela 3).

As flavonas luteolina e apigenina quantificadas na farinha de sorgo sofreram influência tanto da temperatura quanto do tempo de armazenamento. Os teores de luteolina e de apigenina forem superiores quando a farinha foi armazenada na temperatura de 4 °C em relação à 25 e à 40 °C. Houve perda de flavonas na farinha de sorgo do tempo inicial até o 60º dia de armazenamento, mas a estabilidade foi alcançada a partir dessa data, com retenção de 82,1% de luteolina e 90,7% para apigenina.

A luteolina analisada no farelo de sorgo apresentou diferença significativa apenas para tempo de armazenamento. Após 60 dias, observou-se a estabilidade desse composto, e ao final de 180 dias de armazenamento a luteolina apresentou retenção de 72,8%. Em contrapartida, o teor de apigenina verificado no farelo de sorgo apresentou diferença significativa para temperatura e tempo de armazenamento. A temperatura de 40°C foi a que provocou maior decréscimo no teor desse composto. A perda significativa do teor de apigenina no farelo de sorgo foi verificada do tempo inicial para o 60º dia; após este período foi conferida a estabilidade no seu teor até o final do armazenamento com retenção de 71,1% desse composto.

**Tabela 3.** Teores de flavonas em farinha e farelo de sorgo durante o armazenamento.

	Luteolina						Apigenina													
	Temperatura	Tempo				Média	%Retenção	Tempo				Média	%Retenção							
		0	60	120	180			0	60	120	180									
FARINHA	4°	19,4	17,1	17,9	17,3	17,9	a	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	A							
	25°	19,4	17,4	15,6	15,5	17,0	ab	3,5	3,3	3,2	3,1	3,3	B							
	40°	19,4	17,1	15,0	14,9	16,6	b	3,5	3,0	3,0	2,9	3,1	B							
	<b>Média</b>	19,4	A	17,2	B	16,2	B	15,9	B	<b>17,2</b>	<b>82,1</b>	3,5	A	3,3	B	3,2	B	3,1	B	<b>3,3</b>
FARELO	4°	130,2	111,5	103,0	103,0	111,9	a	10,7	9,4	9,0	8,7	9,4	A							
	25°	130,2	105,3	93,0	88,9	104,3	a	10,7	8,6	7,8	7,5	8,6	Ab							
	40°	130,2	105,5	93,8	92,4	105,5	a	10,7	7,2	6,6	6,5	7,7	B							
	<b>Média</b>	130,2	A	107,4	B	96,6	B	94,7	B	<b>107,2</b>	<b>72,8</b>	10,7	A	8,4	B	7,8	B	7,6	B	<b>8,6</b>

Letras iguais minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nas temperaturas de 4°C, 25°C e 40°C, as letras iguais maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nos tempos indicados sobre os teores de luteolina, apigenina em farinha e farelo de sorgo do genótipo Tx430. Resultados expressos em ng/g de amostra em base seca.

### 3.3 Flavanonas

O farelo, em detrimento da farinha de sorgo, também apresentou concentrações 5 a 6 vezes superiores das flavanonas, narigenina e eriodictiol, respectivamente.

Não houve efeito da temperatura e da interação tempo e temperatura para o teor de narigenina em farinha e farelo de sorgo (Tabela 4). Esses resultados indicam que as temperaturas de 4, 25 e 40 °C, não alteraram o conteúdo desses compostos.

Do início ao 120° dia, não foi observado efeito do tempo sobre o teor de naringenina na farinha de sorgo. Houve redução deste composto dos 120 aos 180 dias, com retenção de 87% ao final do armazenamento.

No caso do farelo de sorgo, o efeito significativo do tempo para esse composto ocorreu após o 60° dia e as amostras apresentaram retenção de 78,3 %.

Observou-se efeito significativo da interação dos fatores temperatura e tempo no teor de eriodictiol na farinha de sorgo. Os melhores resultados foram obtidos na temperatura de 25 °C, seguida por 4 e 40 °C. Ocorreram diferenças significativas ao longo do armazenamento (tempo) em todas as três temperaturas avaliadas. Após o 60° dia, embora com teores inferiores, a estabilidade foi mantida e ao final dos seis meses de armazenamento, o eriodictiol na farinha apresentou retenção de 89% do teor inicial.

Para o teor de eriodictiol no farelo de sorgo, foi verificado efeito significativo do tempo e da temperatura, mas não da interação entre esses fatores. O decréscimo nesse composto foi verificado apenas na temperatura de 40°C.

**Tabela 4.** Teores de flavanonas em farinha e farelo de sorgo Tx430 durante o armazenamento.

	Narigenina								Eriodictiol											
	Temperatura	Tempo				Média	%Retenção	0	Tempo				Média	%Retenção						
		0	60	120	180				0	60	120	180								
FARINHA	4°	4,5	4,2	4,1	3,9	4,2	a	8,7	Ab	8,5	Ab	8,2	Bb	7,9	Bb	8,3	a			
	25°	4,5	4,7	4,0	4,0	4,3	a	8,7	Aa	9,3	Aa	8,3	Ba	8,3	Ba	8,7	b			
	40°	4,5	4,5	3,9	3,9	4,2	a	8,7	Ac	7,7	Ac	7,0	Bc	7,1	Bc	7,6	c			
	<b>Média</b>	4,5	A	4,4	AB	4,0	AB	3,9	B	<b>4,2</b>	<b>87,0</b>	8,7	A	8,5	AB	7,8	AB	7,8	B	<b>8,2</b>
FARELO	4°	27,1	22,8	23,3	21,4	23,7	a	59,1		50,8		50,6		47,0		51,9	a			
	25°	27,1	25,6	22,3	21,3	24,1	a	59,1		57,2		50,4		48,2		53,7	ab			
	40°	27,1	24,0	21,3	20,9	23,3	a	59,1		46,6		41,4		41,1		47,1	b			
	<b>Média</b>	27,1	A	24,1	AB	22,3	B	21,2	B	<b>23,7</b>	<b>78,3</b>	59,1	A	51,5	B	47,5	B	45,4	B	<b>50,9</b>

Letras iguais minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nas temperaturas de 4°C, 25°C e 40°C, as letras iguais maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey nos tempos indicados sobre os teores de narigenina e Eriodictiol nas análises individuais em farinha e farelo de sorgo do genótipo Tx430. Resultados expressos em ng/g de amostra em base seca.

A perda durante o armazenamento ocorreu do tempo inicial para os 60 dias de armazenamento, após o 60º dia o teor de eriodictiol no farelo de sorgo mostrou estabilidade e, ao final de 180 dias, a retenção foi de 76,9% desse composto.

#### **4. Conclusões**

O tempo de armazenamento provocou perdas nos teores de luteolinidina, apigeninidina, 5-metoxiluteolinidina, 7-metoxiapigeninidina, luteolina, apigenina, narigenina e eriodictiol tanto na farinha quanto no farelo de sorgo.

A temperatura de 40°C provocou perdas de apigeninidina, 5-metoxiluteolinidina, 7-metoxiapigenina, luteolina, apigenina e eriodictiol na farinha de sorgo. No farelo as perdas foram para os teores de apigenina e eriodictiol. As temperaturas de 4° e 25°C não alteraram significativamente os níveis desses compostos.

As temperaturas de 4, 25 e 40 °C não influenciaram nos teores de luteolinidina e de narigenina na farinha de sorgo, tampouco afetaram os teores de luteolinidina, apigeninidina, 5-metoxiluteolinidina, 7-metoxiapigeninidina, luteolina e narigenina quantificadas no farelo.

As percentagens de retenção na farinha de sorgo para os teores de luteolinidina, apigeninidina, 5-metoxiluteolinidina, 7-metoxiapigeninidina, luteolina, apigenina, narigenina e eriodictiol foram respectivamente de 70; 67,3; 78,1; 71,8; 82,1; 90,7; 87 e 89%. Menores percentagens para esses compostos foram encontrados no farelo, 64,3; 60,5; 61,9; 67,5; 72,8; 71,1; 78,3 e 76,9 % ambos ao final do armazenamento por 180 dias.

Farinha e farelo de sorgo mesmo armazenado por 180 dias á temperatura de 40°C preservaram acima de 60% os teores de 3-deoxiantocianidinas, flavonas e flavanonas.

Embora os teores de flavonóides sejam mais expressivos em farelo de sorgo, foram nas farinhas que ocorreram as maiores percentagens de retenção ao final do armazenamento por 180 dias.

Os resultados indicam que a temperatura de 4°C pode ser a ideal para a preservação de flavonóides tanto em farinha quanto em farelo de sorgo desse genótipo.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Texas A&M University, College Station pelo fornecimento da matéria-prima utilizada no estudo.

### **Referências**

- Adlercreutz, H.(2007). Ligninas e à saúde humana. *Crit. Rev. Clin. Sci Lab*, 44, (5-6), 483-525.
- Awika, J.M., McDonough, C.M., & Rooney, L.W. (2005). Decorticating sorghum to concentrate healthy phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 6230–6234.
- Awika, J. M., & Rooney, L. W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65(9), 1199-1221.
- Awika, J.M., Rooney, L.W., & Waniska, R.D. (2004a). Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. *Food Chemistry*, 90, 293–301.
- Awika, J. M., Rooney, L. W., & Waniska, R. D. (2004b). Properties of 3-deoxyanthocyanidins from sorghum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), 4388–4394.
- Cardoso, L. M, Montini, A.T, Pinheiro, S.S, Pinheiro-Sant’Ana, H. M, Martino, H.S. D, & Moreira, A.V.B. (2014). Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. *Food Chemistry*, 152:210-217.

- Balasundram, N., Sundrama, K., & Sammam, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial byproducts: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99, 191 – 203.
- Devi, P.S., Saravanakumar.M. & Mohandas, S. (2012). The effects of temperature and pH on stability of antocyanins from red sorghum (sorghum bicolor) bran. *African Journal of Food Science*, 6(24), 567-573.
- Dykes, L., & Rooney, L. W. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 44, 236-251.
- Dykes, L., Rooney, L. W., Waniska, R. D., & Rooney, W. L. (2005). Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *J. Agric. Food Chem.* 2 53, (17), 6813-6818.
- Dykes, L., Seitz, L. M., Rooney, W. L., & Rooney, L. W. (2009). Flavonoid composition of red sorghum genotypes. *Food Chemistry*, 116(1), 313–317.
- Ferreira, D.F. (2003) Programa SISVAR: sistema de análise de variância: versão 4,6 (Build 6,0). Lavras: DEX/UFLA.
- Gous, F. (1989). Tannins and phenols in black sorghum. Ph.D. Dissertation. Texas A & M University: College Station, TX.
- Kambal, A. E., & Bate-Smith, E. C. (1976). Genetic and biochemical study on pericarp pigments in a cross between two cultivars of grain sorghum, sorghum bicolor. *Heredity* 37, 413-416.
- Moraes, E.A., Natal, D.I.G, Queiroz, V.A.V, Schaffert, R.E., Cecon, P.R., Paula,P.S. de,Benjamim,L. dos A.,Ribeiro, S.M.R., & Martino,H.S.D. (2012). Sorghum genotype may reduce low-grade inflammatory response end oxidative stress and maintains jejunum morphology of rats fed a hyperlipidic diet. *Food Research International*, 49(1), 553-559.
- Neuhouser, M. L. (2004). Dietary flavonoids and cancer risk: evidence from human population studies. *Nutrition and Cancer*, 50, 1-7.

- Nip, W. K., & Burns, E. E. (1969). Pigment characterization in grain sorghum. I. Red varieties. *Cereal Chem.* 46, 490-495.
- Nip, W. K., & Burns, E. E. (1971). Pigment characterization in grain sorghum. II. White varieties. *Cereal Chem.* 48, 74-80.
- Seitz, L. M. (2004). Effect of plant-type (purple vs. tan) and mold invasion on concentrations of 3-deoxyanthocyanidins in sorghum grain. In *AACC Annual Meeting*, San Diego, California, Sept 19-22, AACC net.
- Schober, T.J., Messerschmidt, M., Bean, S.R., Park, S.H., & Arendt, E.K. (2005). Pão sem glúten de sorgo: diferenças de qualidade entre os híbridos. *Cereal Chem.*, 82(4), 394-404.
- Yasumatsu, K., Nakayama, T.O.M., & Chichester, C. O. (1965). Flavonoids of sorghum. *J. Food Sci.*, 30, 663-667.
- Yang, L., Allred, K. F., Geera, B., Allred, C. D., & Awika, J. M. (2012). Sorghum phenolics demonstrate estrogenic action and Induce apoptosis in nonmalignant *colonocytes*. *Nutrition and Cancer*, 64(3), 419-427.
- Yang, L., Dykes, L., Awika, J.M. (2014). Thermal stability of 3-deoxyanthocyanidin pigments. *Food Chemistry*, 160, 246-254.
- Paiva, C.L., Queiroz, V.A.V., & Rodrigues, J.A.S. (2012). Estudos sensoriais para determinação da vida de prateleira de barras de cereais com pipoca de sorgo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 11 (3), 302-311.
- Prior, R. L.; Cao, G. (2000). Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables. Diet and health implication. *Horticulture Science*, 35, 588-592.
- Queiroz, V. A. V., Morais, E.A Schaffert. R.E, Moreira, A.V., Ribeiro, S.M. R., & Martinho H.S.D.M. Potencial funcional e tecnologia de Processamento do Sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench), na alimentação humana. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 10(3), 180-195.

### **ARTIGO 3. COMPOSTOS FENÓLICOS EM GRÃOS E EM FARINHA DE SORGO DURANTE O ARMAZENAMENTO**

**Em conformidade com as normas estabelecidas pela revista Food Chemistry.**

#### **Resumo**

O objetivo do trabalho foi avaliar o conteúdo de antocianinas totais, compostos fenólicos totais e taninos condensados em grãos e em farinhas de sorgo durante 6 meses de armazenamento sob diferentes temperaturas (4, 25 e 40°C). As análises foram realizadas por espectrofotometria. Os resultados mostraram que as temperaturas de armazenamento não afetaram os teores de antocianinas totais e de compostos fenólicos totais, porém, à partir de 120 dias houve perda desses compostos na farinha e nos grãos de sorgo. O efeito da interação tempo e temperatura ocorreu apenas para o teor de taninos condensados. Observou-se degradação desses compostos, principalmente nas temperaturas de 25°C e de 40°C, embora os taninos tenham sido preservados quando armazenados a 4°C por 120 dias. Após 180 dias, as amostras de farinha e de grãos de sorgo apresentaram retenção de antocianinas na proporção de 88,4 e de 93,8%, respectivamente e de 87,59 e de 92,86 % para compostos fenólicos totais na farinha e no grão, respectivamente de 74,96 e 76,29%. Os taninos condensados ficaram retidos na proporção de 75% na farinha e de 76% no grão.

**Palavras chave:** *Sorghum bicolor* L. Moech, biocompostos, estabilidade de compostos bioativos.

## **1. Introdução**

Os compostos fenólicos são originados do metabolismo secundário das plantas e também quando submetidos a condições de estresse, como infecções, injúrias mecânicas e radiações (Naczk & Shahidi, 2004). Nos alimentos, são responsáveis pela cor, adstringência, aroma e estabilidade oxidativa (Angelo & Jorge, 2007).

O sorgo possui uma série de compostos fenólicos que proporcionam elevada capacidade antioxidante. Dentre esses, pode-se incluir, os ácidos fenólicos e os flavonóides (Awika & Rooney, 2004). Todos os genótipos de sorgo possuem compostos fenólicos, porém alguns possuem teores mais elevados de alguns deles, como as 3-deoxiantocianidinas, os ácido fenólicos e os taninos (Awika, Mcdonough & Rooney, 2005).

As antocianinas e os taninos estão incluídos no grupo dos flavonóides. As antocianinas são importantes pela coloração que proporcionam aos alimentos, (Mazza & Miniant, 1993). Entretanto, durante o armazenamento, as antocianinas de frutas e de vegetais sofrem modificações devido à sua alta sensibilidade à temperatura, ao oxigênio, à luz e à ação enzimática (Jackman Gutherie, & Kaye 1987; Francis, 1989). Contudo, as antocianinas encontradas nos genótipos de sorgo apresentam maior estabilidade devido à inexistência do grupo hidroxila na posição C-3 (Clifford, 2000; Awika, Rooney & Waniska, 2004 a-b).

Os taninos encontrados no sorgo são do tipo condensado, também conhecido como proantocianidinas, os quais possuem alto peso molecular (Dykes e Rooney, 2006). Nos genótipos de sorgo que possuem tanino, esse composto está concentrado na testa da semente, localizada abaixo do pericarpo (Awika & Rooney, 2004). Os taninos são conhecidos por se ligarem a proteínas, carboidratos e outros nutrientes, limitando o valor nutricional dos alimentos e diminuindo a sua digestibilidade, (Rubanza, Shem, Otsyina & Bakengesa, 2005; Barros, Awika & Rooney, 2012), o que pode trazer benefícios à saúde no caso de dietas

especiais que visam a perda de peso. Devido a essa capacidade de se ligarem a radicais livres, os genótipos de sorgo que contém taninos possuem uma maior capacidade antioxidante do que os sorgos que não contém taninos. (Awika & Rooney, 2004).

Esses compostos bioativos em sorgo possuem um perfil único que pode ser o responsável pelas propriedades quimiopreventivas que o cereal apresenta (Yang, Allred, Geera, Allred & Awika, 2009; Moraes, et al., (2012); Cardoso, Pinheiro, Pinheiro-Sant'Ana, Martino & Moreira, 2014).

Entretanto, embora o sorgo apresente potenciais benefícios para a alimentação humana, devido aos compostos bioativos é de grande importância se avaliar a estabilidade desses, ao longo do armazenamento, pois, fatores como tempo e temperatura podem afetar seus teores. Cardoso et al., (2014, 2015) relatam a importância da avaliação da estabilidade de compostos bioativos de sorgo durante o processamento. Yang, Dykes e Awika, (2014) estudaram a estabilidade térmica dos pigmentos das 3-DXAs a altas temperaturas e obtiveram bons resultados.

Contudo, essas informações são escassas na literatura. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento de antocianinas totais, compostos fenólicos totais, taninos condensados e também a estabilidade da cor em grãos e farinhas de sorgo armazenados sob as temperaturas de 4, 25 e 40°C por um período de 6 meses.

## **2. Materiais e Métodos**

### *2.1. Genótipo de Sorgo*

Foram utilizados grãos do genótipo de sorgo SC 319, que possui o pericarpo de coloração marrom e testa pigmentada. Esse genótipo foi cultivado nos campos experimentais da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil, a uma latitude de

19°27'57''e longitude de 44°14'49''. O plantio foi realizado na safra 2012/2013, com espaçamento entre as plantas de 0,5 m entre fileiras e 10 plantas por metro, com adubação de N-P-K (8-28-16). A colheita dos grãos foi feita em abril de 2013. Após a colheita, os grãos foram trilhados e armazenados a 18 °C, até utilização.

## *2.2. Preparo dos grãos e obtenção da farinha*

Os grãos foram limpos com o auxílio de uma peneira, para remoção de sujidades e impurezas. Uma parte dos grãos foi moída utilizando o moinho modelo Hawos, por duas vezes, para obtenção da farinha com granulometria 0,5 mm. Para obtenção da farinha integral de sorgo destinada às análises químicas foi utilizado o moinho IKA modelo A11 basic, durante 30 segundos de maneira a se obter a granulometria final de 0,5 mm.

## *2.3. Armazenamento*

Os grãos e a farinha de sorgo foram acondicionados em embalagens individuais de polipropileno com capacidade para 10 gramas. Posteriormente os frascos foram colocados em sacos de papel ao abrigo da luz e armazenados em câmaras refrigeradas tipo B.O.D (SOLAB 200/334) por um período de 180 dias, sob três temperaturas, 4±2, 25±2 e 40°C ±2. As análises foram feitas nos tempos 0 (zero), 60, 120 e 180 dias de armazenamento. Os grãos de sorgo permaneceram íntegros durante todo o período de armazenamento e foram moídos antes dos procedimentos analíticos.

## *2.4. Reagentes e curva-padrão*

Para as análises de antocianinas totais, compostos fenólicos totais e taninos condensados foram utilizados ácido clorídrico e metanol (ambos grau HPLC/UV).

Na análise de compostos fenólicos totais foram utilizados os reagentes Folin Ciocateau (# F9252), etanolamina (# 398136) e ácido gálico (#398225), marca Sigma Aldrich.

Na análise de taninos condensados foram utilizadas catequina hidratada (# 22110) e vanilina (# v1104) da Sigma Aldrich.

### *2.5. Análise de cor*

A cor dos grãos e da farinha de sorgo foi determinada com auxílio de colorímetro (modelo CR-410, Conica Minolta). Os resultados foram expressos nas coordenadas de cor, no espaço CIELAB (L\* a\* b\*).

### *2.6. Análise de antocianinas totais*

Pesaram-se 0,25 g da farinha em balança analítica (OHAUS, modelo AR3130). As amostras foram transferidas para erlenmeyer de 250 mL, onde foram adicionados 25 mL de metanol 1% HCL. Os frascos foram agitados em mesa agitadora (Nova Ética, modelo 109) por 2 horas a uma rotação de 2000 rpm e, em seguida, o conteúdo de cada frasco foi filtrado em papel de filtro qualitativo. Para a leitura das absorbâncias, foi utilizado um espectrofotômetro (Modelo UV-Visível 1100 da Ritachi) em comprimento de onda a 480 nm. Os teores de antocianinas totais foram expressos em mg Eq. de luteolinidina/g de massa seca.

### *2.7. Determinação dos compostos fenólicos totais*

A análise de compostos fenólicos totais foi realizada utilizando o método de Folin-Ciocalteu modificado de Kaluza, McGrath, Roberts & Schröder (1980). Uma alíquota de (0,1 mL) de extrato metanólico acidificado (1% HCl) foi misturado com 1,1 mL de água e 0,4 mL de reagente Folin-Ciocalteu e em seguida, foram adicionados 0,9 mL de etanolamina 0,5 M. O sistema permaneceu em repouso à temperatura ambiente por 20 min. Foi utilizada uma curva padrão de ácido gálico de cinco pontos em triplicata com concentrações que variaram de 50 a 200ppm ( $R^2=0,9992$ ) e as leituras das absorbâncias realizadas em espectrofotômetro (Modelo UV-Visível 1100 da Ritachi) a 600 nm. Os resultados obtidos foram expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico (mg GAE/g) por grama da amostra em base seca.

## *2.8. Análise de taninos*

O teor de taninos foi determinado utilizando o método vanilina-HCl como descrito por Price, Scoyoc & Butler (1978). Para a extração, foram pesados 0,15 g de amostras de sorgo em balança analítica (Ohaus adventure modelo AR 3130) e adicionados, em tubos tipo Falcon (15mL), 8 mL de metanol 1% HCl. Os tubos permaneceram em banho maria ( Modelo 0215M1) e foram agitados em vortex (Vixar) por 3 vezes em um intervalo de 20 min. Os extratos foram centrifugados (ECCO) por 15 minutos e em seguida, uma alíquota (1 mL) do sobrenadante foi misturada com 5 mL de reagente vanilina, deixado reagir em banho maria à temperatura de 30°C por 20 min. As leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro (Modelo UV-Visível 1100 da Ritachi) a 500 nm, contra o branco no qual foi utilizado metanol 4% HCL. Foi realizada uma curva padrão de catequina em triplicata utilizando os pontos 0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 mg/ mL como eixo x e as leituras das absorbâncias como eixo y ( $R^2=0,9898$ ) e o teor de taninos expresso por mg equivalentes de catequina (mg de CE / g) por grama do sorgo em base seca.

## *2.9. Análise estatística*

As análises dos dados obtidos para farinha e para grãos foram realizadas separadamente. Para todas as análises utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 3x4 (3 temperaturas x 4 tempos de armazenamento). Os dados foram analisados por ANOVA e as médias das três repetições foram submetidas ao teste de Tukey com erro de 5% de probabilidade, com o auxílio do modelo computacional SISVAR (Ferreira, 2003).

# **3. Resultados e Discussão**

## *3.1. Análise de Cor*

As cores dos grãos e da farinha de sorgo não sofreram efeito significativo ( $p<0,05$ ) da temperatura de armazenamento e da interação tempo e temperatura. A diferença ocorreu apenas no tempo de armazenamento (Tabela 1).

Esses resultados indicam que as temperaturas avaliadas não interferiram nas análises colorimétricas das amostras de farinha e dos grãos de sorgo.

Para a variável L\* (luminosidade), tanto na farinha quanto nos grãos, as amostras apresentaram estabilidade da cor do tempo inicial aos 120 dias de armazenamento e à partir desse tempo, observou-se aumento do valor dessa variável até o final do armazenamento.

**Tabela 1.** Análise colorimétrica de farinha e grãos de sorgo durante o armazenamento.

Variáveis	Farinha				Grão				
	Tempo	Temperaturas			Média	Temperaturas			Média
		4°C	25°C	40°C		4°C	25°C	40°C	
L*	0	47,94	47,94	47,94	47,94 B	23,36	23,36	23,36	23,36 B
	60	48,2	48,86	48,92	48,66 B	25,70	24,38	24,18	24,75 AB
	120	49,85	49,85	49,47	49,72 B	27,19	24,91	26,27	26,12 AB
	180	68,06	67,16	67,5	67,57 A	29,42	30,09	27,84	29,12 A
	<b>Média</b>	53,51 a	53,45 a	53,46 a	<b>53,5</b>	26,42 a	25,69 a	25,41 A	<b>25,8</b>
a*	0	5,36	5,36	5,36	5,36 C	11,14	11,14	11,14	11,14 B
	60	5,13	5,21	5,32	5,22 BC	10,85	11,97	13,30	12,04 B
	120	5,50	5,42	5,52	5,48 B	10,86	13,07	13,94	12,62 AB
	180	5,92	6,00	5,95	5,96 A	14,20	14,24	14,23	14,22 A
	<b>Média</b>	5,48 a	5,50 a	5,54 a	<b>5,50</b>	11,76 a	12,61 a	13,15 A	<b>12,51</b>
b*	0	9,39	9,39	9,39	9,39 C	18,10	18,10	18,10	18,10 A
	60	9,60	9,63	10,00	9,74 BC	19,66	20,48	18,45	19,53 A
	120	10,09	9,31	9,34	9,58 B	20,64	21,02	19,06	20,24 A
	180	12,06	11,72	12,02	11,93 A	20,77	22,82	20,63	21,41 A
	<b>Média</b>	10,29 a	10,01 a	10,19 a	<b>10,2</b>	19,79 a	20,61 a	19,06 a	<b>19,82</b>

Letras iguais maiúsculas na vertical e letras iguais minúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p<0,05$ ) nos tempos e temperaturas indicadas para as variáveis L\* a\* e b\* de farinha e grãos de sorgo do genótipo SC 319.

Houve aumento gradativo nos valores de  $a^*$  do início ao final do armazenamento, o que significa uma intensificação da coloração vermelha tanto na farinha quanto nos grãos.

Os resultados para a variável  $b^*$  mostraram que o aumento significativo dessa variável ocorreu do 60º dia até o final do armazenamento apenas para farinha. No caso dos grãos, essa variável permaneceu estável durante os 180 dias.

A farinha de sorgo apresentou maior valor de  $L^*$  (53,5) em detrimento dos grãos (25,8). Esse resultado é coerente, pois a mistura do endosperma com o pericarpo resultante da moagem dos grãos tornou a farinha com coloração mais clara que os grãos, cuja medida de  $L^*$  é obtida apenas na superfície, ou seja, no pericarpo que é marrom, no caso do SC 319.

Os resultados demonstram a estabilidade da cor para grãos e farinhas por 120 dias; segundo Chitarra & Chitarra (2005), a cor é o atributo de qualidade mais atrativo para o consumidor e o que mais influencia diretamente na aceitação dos alimentos. Entretanto, como os grãos do genótipo SC 319 já são naturalmente de coloração marrom, consequentemente, produz, também uma farinha mais escura, o escurecimento observado após os 180 dias, provavelmente não afetaria a qualidade final de ambos os produtos.

### 3.2. *Análise de Antocianinas Totais*

Os resultados individuais de farinha e de grãos de sorgo revelaram que não houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para o teor de antocianinas totais entre as temperaturas de armazenamento (4, 25 e 40 °C), tão pouco houve efeito da interação tempo e temperatura (Tabela 2). As diferenças para essas amostras ocorreram apenas para o tempo de armazenamento.

Foi observado que para o teor de antocianinas totais as amostras de grãos de sorgo apresentaram maior retenção durante o armazenamento em comparação com a farinha (Tabela 2).

**Tabela 2.** Teor de antocianinas de farinha e grão de sorgo durante o armazenamento a 4°, 25° e 40°C.

		Antocianinas Totais								
		Tempo de armazenamento								
	Temperatura	0	60	120	180	Média	%Retenção			
FARINHA	4°	0,43	0,42	0,40	0,39	0,41	A			
	25°	0,43	0,40	0,39	0,39	0,40	A			
	40°	0,43	0,40	0,38	0,36	0,39	A			
	<b>Média</b>	0,43	A	0,41	AB	0,39	AB	0,38	B	<b>0,40</b>
GRÃO	4°	0,43	0,43	0,43	0,42	0,43	A			
	25°	0,43	0,43	0,41	0,39	0,42	A			
	40°	0,43	0,43	0,40	0,40	0,42	A			
	<b>Média</b>	0,43	A	0,43	A	0,41	AB	0,40	B	<b>0,42</b>

Letras iguais maiúscula horizontal não difere entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nos tempos 0 (inicial), 60, 120 e 180 dias, as letras iguais minúsculas na vertical não difere entre si nas temperaturas de 4°, 25° e 40°C para o teor de antocianinas totais em farinhas e grãos de sorgo do genótipo SC 319. Os resultados foram expressos em mg equivalente de luteolinidina/g de amostra em base seca.

Nos resultados de farinha de sorgo, observou-se que o decréscimo significativo no teor de antocianinas totais ocorreu do tempo inicial para o 180° dia de armazenamento. No tempo inicial, as amostras apresentaram 0,43 mg/g de luteolinidina e no 180° dia, 0,38 mg/g. Contudo, ao final do armazenamento, detectou-se uma retenção média de 88,4% de antocianinas totais nas amostras de farinha de sorgo (Tabela 2).

Embora, o resultado da concentração de antocianinas totais em grãos de sorgo, tenha revelado valor significativamente mais baixo no 180° dia (0,40 mg de luteolinidina/g de amostra base seca), observa-se uma retenção média bastante elevada desses compostos, de cerca de 94 % ao final do armazenamento (Tabela 2).

Um estudo realizado por Yang, Dykes & Awika, (2014), demonstrou a boa estabilidade térmica das 3-deoxiantocianidinas expostas à temperatura de 95°C por duas horas e a 121°C por 30 minutos.

A estabilidade de antocianinas totais em polpa de amora-preta no estudo realizado por Jacques, Pertuzatti, Barcia, Zambiasi & Chim, (2010), foi mantida por 6 meses de armazenamento quando submetidas a temperatura de -80°C, porém nas temperaturas de -10 e -18°C ocorreu um decréscimo após 4 meses de armazenamento.

Albiraci, Valeta & Pessoa (2007), utilizaram as temperaturas de 0, 25 e 40 °C para estudar o efeito dessas temperaturas nas antocianinas do açaí e constataram que quanto mais alta a temperatura mais rápida ocorre a degradação, visto que a temperatura de 40 °C reduziu o teor de antocianinas à metade do seu conteúdo inicial em menos de 1 dia de armazenamento e a 0 °C o tempo de meia vida é 14 dias.

A elevada estabilidade das antocianinas observada tanto nos grãos quanto na farinha de sorgo, durante os 180 dias de armazenamento, mesmo quando esses produtos foram expostos às temperaturas de 25 e 40°C, pode ser em razão da ausência de um átomo de oxigênio na posição C3. Essa estrutura apresentada pelas antocianinas do sorgo confere maior estabilidade a esses compostos em comparação com as frutas e hortaliças, as quais necessitam baixas temperaturas para sua preservação (Clifford, 2000; Awika, Rooney & Waniska, 2004 a-b).

### *3.3. Análises de compostos fenólicos totais*

Os resultados das ANOVAs individuais de grão e de farinha de sorgo não mostraram efeito do tempo e da interação tempo e temperatura sobre os teores de fenólicos totais do genótipo SC 319. Em ambas as matrizes analisadas, as diferenças significativas foram apenas para o tempo de armazenamento (Tabela 3).

**Tabela 3.** Teor de compostos fenólicos de farinha e grão de sorgo durante o armazenamento.

		<b>Compostos Fenólicos Totais</b>					
		<b>Tempo de armazenamento</b>					
	<b>Temperatura</b>	<b>0</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>180</b>	<b>Média</b>	<b>Retenção</b>
<b>FARINHA</b>	4°	139,37	136,19	131,43	126,12	133,3	a
	25°	139,37	137,56	127,02	115,31	129,8	a
	40°	139,37	142,90	132,34	124,80	134,9	a
	<b>Média</b>	139,37	A 138,88	A 130,26	AB 122,08	B <b>132,65</b>	<b>87,6%</b>
<b>GRÃO</b>	4°	140,61	136,59	136,87	130,86	136,2	a
	25°	140,61	138,91	136,18	130,69	136,6	a
	40°	140,61	139,64	135,10	130,15	136,4	a
	<b>Média</b>	140,61	A 138,38	AB 136,05	AB 130,57	B <b>136,40</b>	<b>92,9%</b>

Letras iguais maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nos tempos 0 (inicial), 60, 120 e 180 dias, as letras iguais minúsculas na vertical não difere entre si pelo teste de Tukey nas temperatura de 4°C, 25°C e 40°C para o teor compostos fenólicos em amostras de farinhas e grãos de sorgo do genótipo SC 319. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico/ g de amostra em base seca.

As temperaturas de armazenamento refrigerado (4°C), ambiente (25°C) e atmosfera acelerada (40°C) não alteram significativamente os teores de compostos fenólicos totais em grãos e em farinha de sorgo.

Durante o período de armazenamento, tanto para a farinha de sorgo quanto para os grãos, a estabilidade dos compostos fenólicos totais foi mantida do tempo inicial até o 120° dia de armazenamento. No caso da farinha de sorgo, mesmo ocorrendo decréscimo ao final dos 180 dias, a retenção média obtida desses compostos foi de aproximadamente 88%. Os grãos de sorgo apresentaram uma taxa de retenção ainda maior (93%) ao final dos 180 dias, demonstrando uma elevada estabilidade desses compostos durante o armazenamento.

Jaques et al., (2010), estudaram o conteúdo de compostos fenólicos totais em polpa de amora preta congelada e verificaram estabilidade para esse composto durante 4 meses quando armazenadas a -10, -18 e -80°C, temperaturas que demandam grande gasto energético e aumento dos custos em relação às praticadas no presente trabalho.

Dutra, Furtado, Pacheco & Oiano Neto, (2012), estudaram o efeito do tratamento térmico (88 a 100 °C) na concentração de compostos fenólicos em suco de tangerina e constataram que, mesmo não ocorrendo efeito significativo das variáveis do tempo e da temperatura de pasteurização, as menores alterações e maiores retenções para esses compostos, foram obtidas quando submetidos a 94 °C por 16 a 44 segundos.

#### *3.4. Análise de Taninos Condensados*

Os resultados das análises de variância individuais de farinha e de grãos de sorgo do genótipo SC 319 mostraram diferenças do efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação tempo e temperatura (Tabela 4). Dessa forma os tratamentos foram desdobrados e as médias obtidas nos tempos de armazenamento foram analisadas dentro de cada temperatura estudada.

Os teores de taninos condensados das amostras das farinhas de sorgo acondicionadas nas temperaturas de 4°C e 25° C não apresentaram diferenças significativas ao longo do armazenamento. A estabilidade nessas temperaturas foi mantida por 180 dias, com elevada retenção ao final desse período, ou seja, de 85% a 4°C e de 83% a 25°C. O armazenamento da farinha a 40°C implicou em menores teores ao longo do armazenamento, embora tenha sido observada estabilidade do tempo inicial ao 60° dia, com 89% de retenção de taninos. Apesar da diferença significativa que verificada no período compreendido entre 60 e 120 dias, nessa temperatura, ainda assim, houve retenção de 70% do teor desse composto. Após 180 dias de armazenamento a 40°C, a farinha de sorgo apresentou aproximadamente 55% de retenção.

**Tabela 4.** Teor de taninos condensados e % de retenção em farinha e grãos de sorgo durante o armazenamento.

		Taninos Condensados									
		Tempo de armazenamento					% de Retenção				
	Temperatura	0	60	120	180	Média	0 e 60	60 e 120	120 e 180	0 e 180	
FARINHA	4°	16,96 Aa	14,64 Aa	16,22 Aa	14,46 Aa	15,57 A	86,3	110,79	89,15	85,26	
	25°	16,96 Aa	15,65 Aa	14,71 Aa	14,08 Aa	15,35 A	92,3	93,99	95,72	83,02	
	40°	16,96 Aa	15,18 Aa	10,80 Bb	9,60 Bb	13,14 B	89,5	71,15	88,89	56,60	
	<b>Média</b>	16,96 A	15,16 B	13,91 BC	12,71 C	<b>14,69</b>	89,37	91,98	91,25	74,96	
GRÃO	4°	17,22 Aab	17,71 Aa	16,77 Ab	13,62 Ac	16,3 A	102,8	94,69	81,22	79,09	
	25°	17,22 Aa	15,75 Bb	14,86 Bc	13,24 Bd	15,1 B	91,5	94,35	89,10	76,95	
	40°	17,22 Aa	15,26 Bb	14,44 Cc	12,45 Cd	15,0 B	88,6	94,63	86,84	72,85	
	<b>Média</b>	17,2 A	16,2 B	15,4 C	13,1 D	<b>15,49</b>	94,31	94,56	85,72	76,27	

Letras iguais minúsculas na horizontal e maiúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) na interação tempo e temperatura para o teor de taninos condensados em farinha e grãos de sorgo do genótipo SC 319. Os resultados foram expressos em mg equivalente de catequina por grama de amostra em base seca.

Nos armazenamento dos grãos, foi verificado que a temperatura de 4°C preservou melhor o conteúdo de taninos. Nessa temperatura a estabilidade foi mantida por 180 dias, com retenção de 79% ao final do armazenamento, resultado um pouco inferior ao observado para farinha nessa mesma temperatura (85%). As temperaturas de 25°C e de 40°C influenciaram o teor de taninos nos grãos à partir do 60º dia, apresentando decréscimos significativos ao longo do armazenamento. Após 180 dias nessas temperaturas as retenções foram de 76,95% e de 72,85% nas temperaturas de 25 e de 40°C, respectivamente, ou seja, bem superior à retenção apresentada na farinha (55%) na temperatura de 40 °C.

Diante dos resultados para o teor de taninos é possível inferir que as amostras tanto de grãos quanto de farinha de sorgo do genótipo SC 319 apresentaram estabilidade na temperatura de 4°C por 180 dias de armazenamento.

A retenção média de taninos condensados após 180 dias de armazenamento nas três temperaturas foi aproximadamente de 75% para farinha e 76% para grãos, o que mostra ser um composto menos estável que as antocianinas (88,4% e 93,8%, para farinha e grão respectivamente) e os compostos fenólicos totais (87,6% e 92,9% para farinha e grão, respectivamente).

#### **4. Conclusões**

A cor da farinha e grãos de sorgo do genótipo SC319 pode ser mantida durante o armazenamento por 120 dias.

Embora os teores de antocianinas e de compostos fenólicos tenham sido afetados pelo tempo de armazenamento, observou-se retenção superior a 87% desses compostos na farinha e nos grãos de sorgo após 180 dias.

As antocianinas e os compostos fenólicos totais mostraram maior estabilidade durante o armazenamento que os taninos submetidos às mesmas condições, tanto para farinha como para os grãos de sorgo do genótipo SC 319.

## Referências

- Albarici, T.R., Valeta, A.C, Pessoa, J.D.C. (2007). Efeito da temperatura nas antocianinas do açaí. Comunicado Técnico, Embrapa, São Carlos, SP. 1517-4786.
- Angelo, P. M., & Jorge, N. (2007). Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 66,1, 1-9.
- Awika, J, M., Mcdonough, C.M. & Rooney. (2005). Decortingsorghum to concentrate healthy phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53, 6230-6234.
- Awika, J.M. & Rooney, L.W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65, 1199–1221.
- Awika, J.M., Rooney, L.W., & Waniska, R.D. (2004a). Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. *Food Chemistry* .90, 293–301.
- Awika, J. M., Rooney, L. W., & Waniska, R. D. (2004b). Properties of 3-deoxyanthocyanidins from sorghum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), 4388–4394.
- Barros, F. A., Awika, J.M., & Rooney.L.W. (2012). Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 60, 11609-11617.
- Cardoso, I. M, Montini, A.T, Pinheiro, S.S, Pinheiro-Sant’Ana, H. M, Hércia Stampini Duarte Martino, H.S. D., & Moreira, A.V.B. (2014). Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidante profile of sorghum. *Food Chemistry*, 152:210-217.
- Cardoso, L. M., Montini, A.T., Pinheiro, S.S., Silva, L.L., Menezes. C.B, Carvalho. C.W.P, Tardin, F.D., Queiroz, V.A.V., Martino, H.S.D., Pinheiro-Sant’Ana. H. (2015).

- Tocochromanols and carotenoids in *bicolor* sorghum (*Sorghum L*): Diversity and stability to the heat treatment. *Food Chemistry*, 172: 900-908.
- Campos, F.M., Martino, H.S.D., Sabarense, C.M., & Pinheiro-Sant'Ana, H.M. (2008). Estabilidade de Compostos Antioxidante em hortaliças Processadas: Uma Revisão. *Alim. Nutr. Araraquara*, 19 (4) 481-490.
- Dutra, A. S., Furtado, A.A.L., Pacheco, S., & Oiano Neto, J. (2012). Efeito do tratamento térmico na concentração de carotenóides, compostos fenólicos, ácido ascórbico e capacidade antioxidante de suco de tangerine murcote. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15(3), 198-207.
- Dykes, L. & Rooney, L.W. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 44, 236–251.
- Dykes, L. (2008). Flavonoid composition and antioxidant activity of pigmented sorghums of varying genotypes. Texas E &M Universit- Dissertation.
- Clifford M.N. (2000). Anthocyanin – nature, occurrence and dietary burden. *J. Sci. Food Agric*, 80, 1063-1072.
- Chitarra, M.I.F., & Chitarra, A.B. (2005). Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e manuseio. Lavras: UFLA, 785p.
- Francis, F. J. (1989). Food colorants: anthocyanins. Critical Review B.CEPPA, Curitiba, v. 24, n. 1, Jan. /jun. 2006 78 of *Food Science and Nutrition*, 28, 273-314.
- Ferreira, D.F. (2003). Programa SISVAR: sistema de análise de variância: versão 4,6 (Build6,0). Lavras: DEX/UFLA.
- Jackman. C.H., Gutherie, P.D., & Kaye, J.A. (1987). Reply [to “Comment on ‘An intercomparison of nitrogen-containing species in Nimbus 7 LIMS and SAMS data ‘ by C. H. Jackman, P.D.Gutherie, and Jack A. Kaye’”]. *Journal of Geophysical Research* 92: 0148-0227.
- Jacques, A.C., Pertuzatti, P.B., Barcia, M.T., Zambiasi R.C., & Chim, J.F. (2010). Estabilidade de compostos bioativos em polpa congelada de amora-preta (*Rubus fruticosus*) cv. Tupy. *Quim. Nova*, 33,1720-1725.

- Kaluza, W.Z., McGrath, R.M., Roberts, T.C., & Schröder, H.H. (1980). Separation of phenolics of *Sorghum bicolor* (L.) Moench grain. *J. Agric. Food Chem*, 28, 1191-1196.
- Magalhães, P.C., Rodrigues, W.A., & Durães F.O. M. (1997). Tanino no grão de sorgo, base fisiológica e métodos de determinação. *Circular técnica*, 27. Embrapa Milho e Sorgo. ISSN 0100-8013.
- Moraes, E.A., Natal, D.I.G, Queiroz, V.A.V, Schaffert, R.E., Cecon, P.R., Paula, P.S. de, Benjamim.L. dos A., Ribeiro, S.M.R., & Martino, H.S.D.(2012). Sorghum genotype may reduce low-grade inflammatory response and oxidative stress and maintains jejunal morphology of rats fed a hyperlipidic diet. *Food Research International*, 49(1), 553-559.
- Naczki, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal Chromat. A.*, Washington, 1054, n. 1/2, 95-111.
- Price, M.L., Van Scoyoc, S., & Butler, L.G. (1978). A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem*, 26, 1214-1218.
- Rubanza C.D.K., Shem M.N., Otsyina R., & Bakengesa SS. (2005). Ichinohe T and Fujihara T, Polyphenolics and tannins effect on *in vitro* digestibility of selected *Acacia* species leaves. *Anim Feed Sci Technol*, 119:129–14.
- Soares, S. E. (2002). Ácidos fenólicos como antioxidantes, *Revista de Nutrição*, 15,71-81.
- Waniska, R.D., Poe, J.H., & Bandyoadhyay, R. (1989). Effects of growth conditions on grain molding and phenols in sorghum caryopsis. *Jornal of Cereal Science* 10, 217–225.
- Yang, L., Browning, J.D & Awika, J.M. (2009). Sorghum 3-Deoxyanthocyanins possess strong phase II enzyme inducer activity and cancer cell growth inhibition properties. *Journal of agricultural and food Chemistry*, 57,197-1804.
- Yang, L., Dykes, L., & Awika, J.M. (2014). Thermal stability of 3-deoxyanthocyanidin pigments. *Food Chemistry*, 160, 246-254.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sorgo é um cereal que possui grande potencial para o uso na alimentação humana devido a sua importância agronômica, nutricional e funcional.

Os genótipos de sorgo que possuem os compostos fenólicos e flavonóides como os taninos e as 3-deoxiantocianidinas podem ser benéficos à saúde humana devido ao potencial antioxidante que as 3-deoxiantocianidinas oferecem e que são capazes de neutralizar os radicais livres no organismo.

Vários alimentos podem ser preparados com os grãos, farinha e farelo de sorgo como barras de cereais, tortilhas, cookies, farinhas, mingaus, sorvetes dentre outros alimentos.

O estudo da estabilidade térmica do sorgo com altas temperaturas já estão sendo realizados e revelam resultados positivos para a manutenção dos compostos bioativos.

Este estudo, porém, fornece informações úteis sobre o comportamento e preservação de compostos bioativos em grãos, farinha e farelo de sorgo durante o armazenamento além de confirmar a pouca influência das temperaturas de 4°C, 25°C e 40°C na perda dos biocompostos como as 3-deoxiantocianinas, compostos fenólicos totais e taninos.

Os resultados obtidos neste estudo reforçam a vantagem que o sorgo apresenta frente a uma ampla faixa de temperatura, na qual o mesmo pode ser armazenado e transportado para diferentes partes do Brasil sem que altere seus compostos funcionais. Esses resultados tornam o sorgo ainda mais cobiçado para compor a mesa dos brasileiros, uma vez que não há necessidade de gastos energéticos para manutenção da sua funcionalidade.

Devido aos diversos genótipos de sorgo existentes, mais estudos sobre a vida de prateleira de sorgo deverão ser realizados, a fim de auxiliar também programas de melhoramento genético a selecionar cultivares que apresentam teores mais elevados desses compostos e que ofereçam resistência a perdas ao longo do armazenamento.

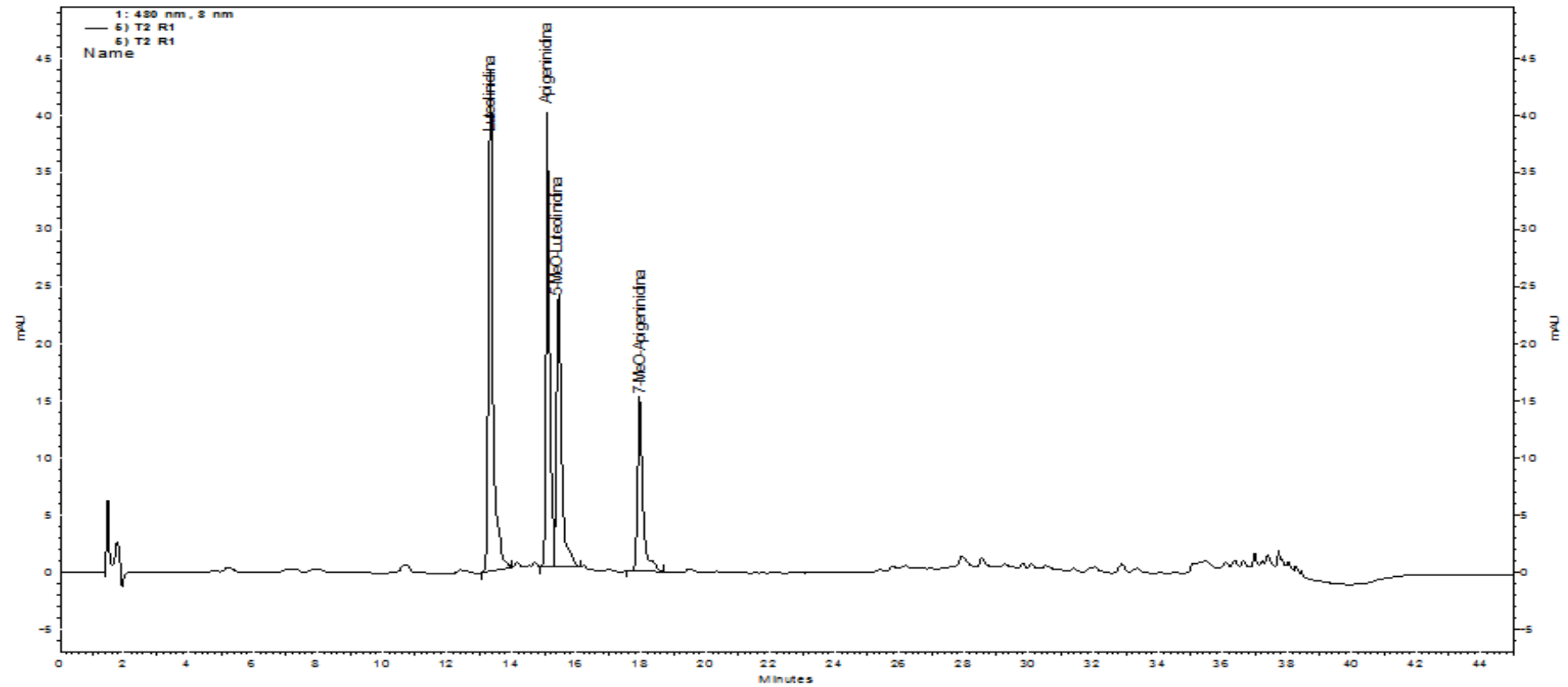
## REFERÊNCIAS

- Angelo, P. M., & Jorge, N. (2007). Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 66,1, 1-9.
- Awika, J. M., & Rooney, L. W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65( 9), 1199-1221.
- Awika, J. M., Rooney, L. W., & Waniska, R. D. (2004). Properties of 3-deoxyanthocyanidins from sorghum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), 4388–4394.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99, 191-203.
- Barros, F. A, Awika, J.M., & Rooney, L.W. (2012). Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 60, 11609-11617.
- Broillard, R. (1982). Chemical structure of anthocyanins. IN: Anthocyanins as Food Colors” (P. Markakis, Ed), Academic Press, New York.1-40.
- Cardoso, L. M, Montini, A.T, Pinheiro, S.S, Pinheiro-Sant’Ana, H. M, Duart, H.S., Martini, H.S. D., & Moreira, A.V.B. (2014). Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidante profile of sorghum. *Food Chemistry*, 152, 210-217.
- Castaneda-Ovando, A, Pacheco-Hernandez, M. del., Páez-Hernandez, M.E., Rodrigues, J.A, & Galan-Vidal, C.A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: a review. *Food Chemistry*,113.
- Dicko, M. H.; Gruppen, H., Traoré, A. S., Voragen, A. G. J. & Berkel, W. J. H. (2006 ). Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of Biotechnology*, Nairobi, 5(5), 384-395.
- Gous, F. (1989). Tannins and phenols in black sorghum. Ph.D. Dissertation. Texas A& M University: College Station, TX.

- Kamath, V. G., Chandrashekar, A., & Rajini, P. S. (2004). Antiradical properties of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) flour extracts. *Journal of Cereal Science* 40, 283-288.
- Moraes, E.A., Natal,D.I.G,Queiroz, V.A.V, Schaffert, R.E.,Cecon, P.R.,Paula,P.S. de,Benjamim,L. dos A.,Ribeiro, S.M.R.,Martino,H.S.D.(2012). Sorghum genotype may reduce low-grade inflammatory response end oxidative stress and maintains jejunum morphology of rats fed a hyperlipidic diet. *Food Research International*, 49(1), 553-559.
- Queiroz, V. A. V., Moraes, E.A., Schaffert, R.E., Moreira, A.V., Ribeiro, S.M.R., Martino H.S.D.M. (2011). Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench, na alimentação humana. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 10(3), 180-195.
- Rubanza, C.D.K., Shem, M.N., Otsyina, R., & Bakengesa, S.S. (2005). Ichinohe T and Fujihara T, Polyphenolics and tannins effect on *in vitro* digestibility of selected *Acacia* species leaves. *Anim Feed Sci Technol* ,119:129–14.
- USDA. National Nutrient Database for Standard Reference. Disponivel em: <[http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list\\_nut\\_edit.pl](http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl). Acesso 05 /08/2013.
- Waniska, R.D., Poe, J.H., & Bandyopadhyay, R. (1989). Effects of growth conditions on grain molding and phenols in sorghum caryopsis. *Journal of Cereal Science* 10, 217–225.
- Wu, X., & Prior, R.L. (2005). Identification and characterization of anthocyanins by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry in common foods in the United States: vegetables, nuts, and grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3101–3113.
- Yang, L., Browing, J. D., & Awika, J. M. (2009). Sorghum 3-Deoxyanthocyanins possess strong phase II enzyme inducer activity and cancer cell growth inhibition properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 1797-1804.

## Anexos

### CROMATOGRAMA DAS 3-DEOXIANTOCIANIDINAS



**Figura 1-** Cromatograma das 3-DXAs (luteolinidina, apigeninidina, 5-metoxiluteolinidina e 7-metoxiapigeninidina) quantificadas na farinha de sorgo do genótipo Tx 430 na temperatura de 4°C aos 60 dias de armazenamento avaliados por CLAE.

## CROMATOGRAMA DAS FLAVONAS

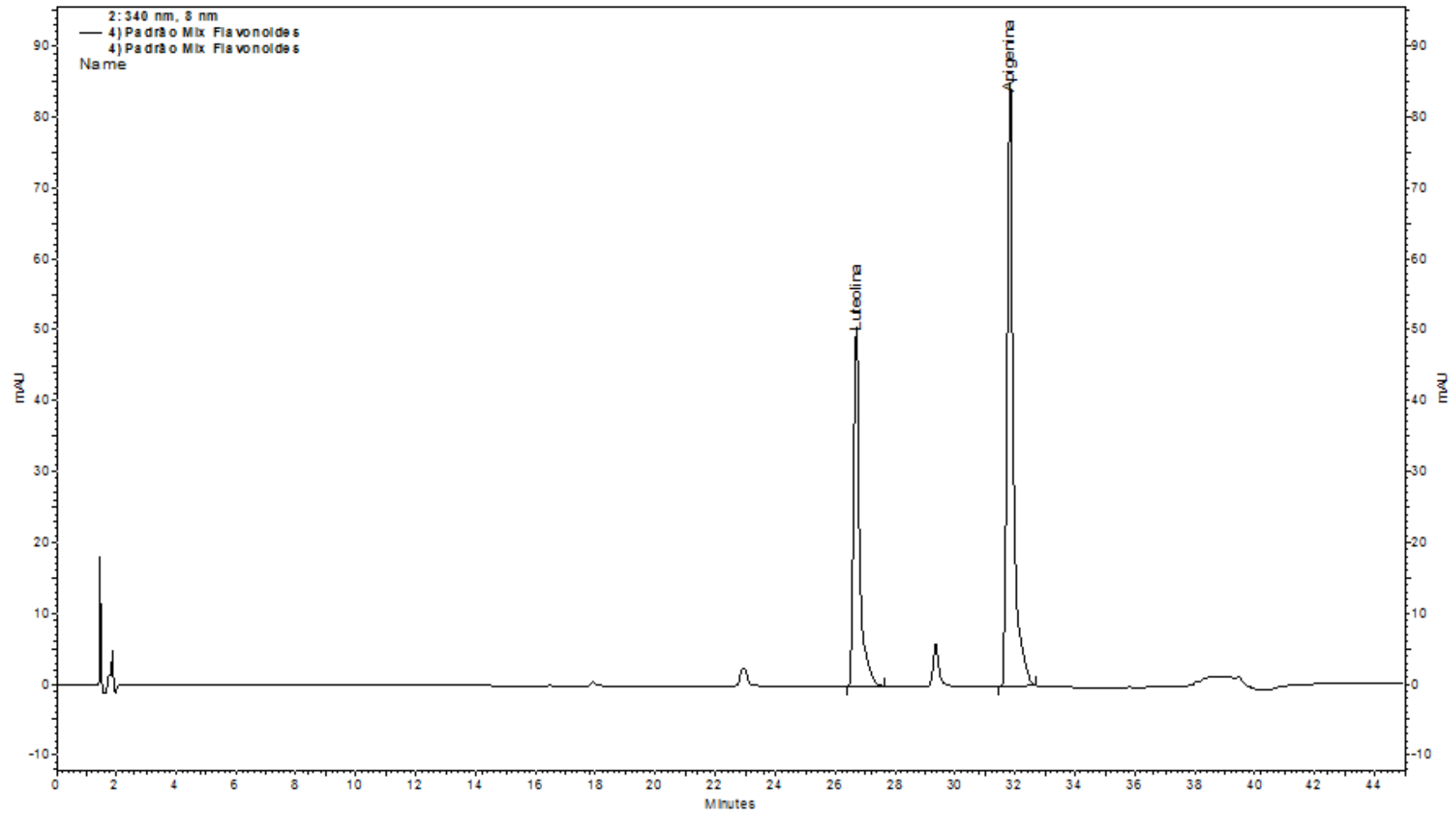


Figura 2- Cromatograma padrão das flavonas, luteolina e apigenina, avaliadas por CLAE.

### CROMATOGRAMA DAS FLAVANONAS

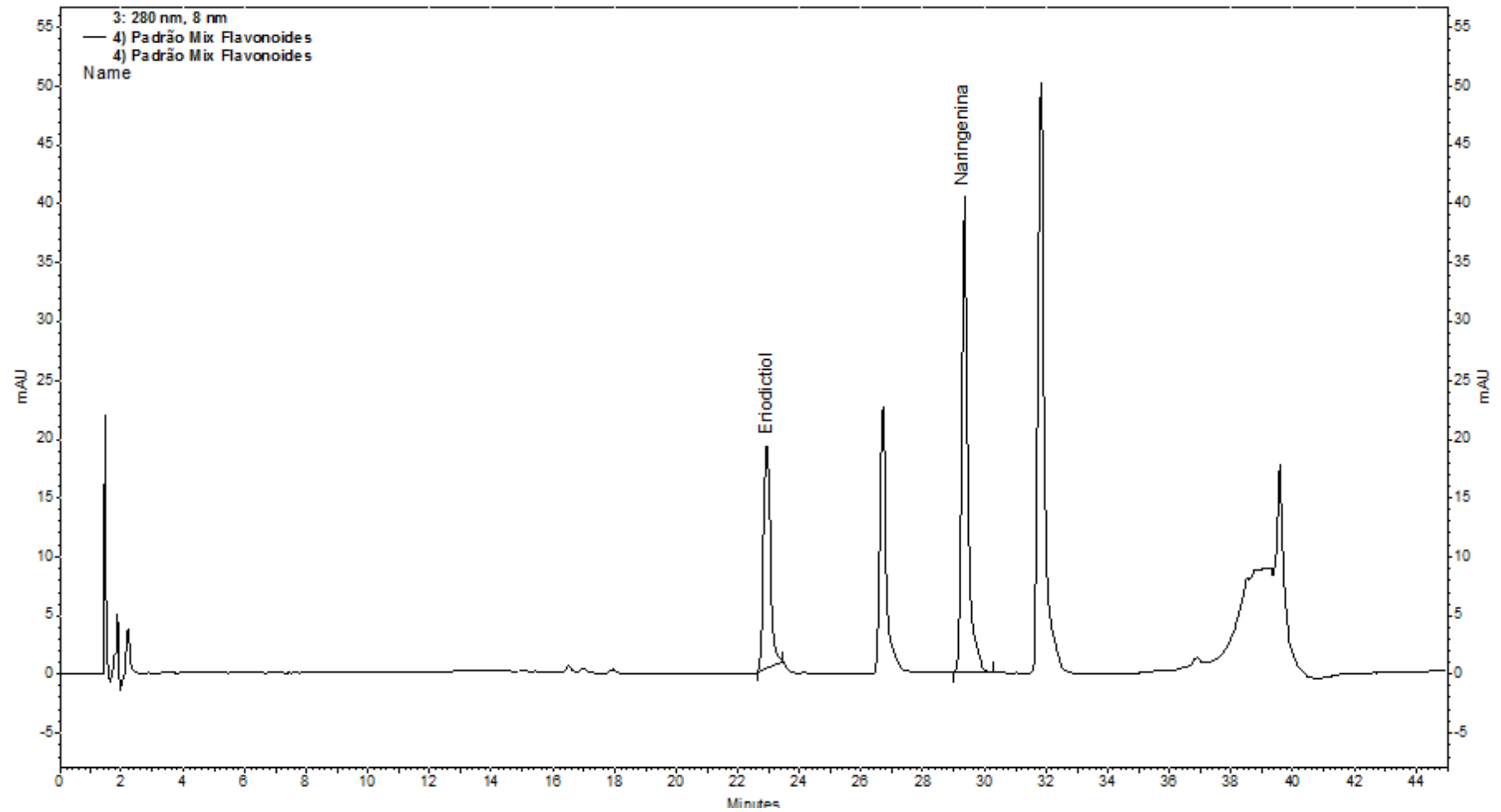


Figura 3- Cromatograma padrão das flavanonas, eriodictiol e naringenina avaliadas por CLAE.