

Capítulo 11

Por que utilizar o sorgo na alimentação humana?

*Hércia Stampini Duarte Martino*¹; *Leandro de Moraes Cardoso*²;
*Érica Aguiar Moraes*³; *Helena Maria Pinheiro Sant'Ana*⁴;
*Valéria Aparecida Vieira Queiroz*⁵

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é um cereal da família *Poaceae*, nativo da África e domesticado entre 3.000 e 5.000 anos atrás (U.S. GRAINS COUNCIL, 2004). Ele é o quinto cereal de maior produção no mundo, sendo antecedido pelo trigo, arroz, milho e cevada (FAO, 2010). Em todo o mundo, existem mais de 7.000 genótipos de sorgo (KANGAMA; RUMEI, 2005). O cultivo deste cereal se faz extremamente importante nos continentes Asiático e Africano, além de outras regiões semiáridas do mundo, onde ele é utilizado, principalmente, na alimentação humana (ELKHALIFA et al., 2005; DILLON et al., 2007; AFIFY et al., 2011). Em países ocidentais como os Estados Unidos, Austrália e Brasil, o sorgo é desenvolvido e cultivado essencialmente para alimentação animal (TALEON et al., 2012).

No entanto, no atual cenário de aumento da incidência de doenças crônicas não transmissíveis, novas perspectivas têm se mostrado frente à demanda por alimentos e hábitos de vida que possam auxiliar no tratamento dessas enfermidades (BIGONIYA et al., 2012). A inclusão do sorgo na alimentação humana, principalmente, nos países ocidentais, corresponde a uma dessas novas probabilidades. O aumento do interesse na utilização do sorgo na alimentação é decorrente de suas características de produção/cultivo e seu elevado potencial tecnológico, nutricional e funcional (DYKES et al., 2005).

O cultivo do sorgo apresenta vantagens agronômicas em função de sua resistência à seca, alta produtividade, baixa exigência nutricional e baixo custo de produção (SANCHEZ, 2003; MANUKUMAR et al., 2014). Contudo, estas características não serão tema desse capítulo.

Quanto às propriedades tecnológicas, nutricionais e funcionais, é importante, inicialmente, conhecer estruturalmente os grãos. O sorgo é constituído por três partes distintas: pericarpo, endosperma e gérmen. Além destas, algumas variedades possuem uma

¹ Docente; Universidade Federal de Viçosa (UFV); Viçosa, MG; hercia@ufv.br; ² Docente; Universidade Federal de Juiz de Fora; leandro.cardoso@ufjf.edu.br; ³ Doutoranda em Alimentos e Nutrição; Universidade de Campinas ericaam@fea.unicamp.br; ⁴ Docente; UFF; helena.santana@ufv.br; ⁵ Pesquisadora; Embrapa Milho e Sorgo; valeria.vieira@embrapa.br.

quarta estrutura denominada testa pigmentada, localizada entre o pericarpo e o endosperma, a qual é responsável pela presença de taninos condensados (AWIKA; ROONEY, 2004; EARP et al., 2004). A distinção anatômica da estrutura dos grãos de sorgo é relevante, pois, essas são responsáveis pela qualidade tecnológica, nutricional e funcional do grão. A proporção e a composição química de cada uma dessas partes dependem do genótipo e das condições de cultivo (WANISKA; ROONEY, 2000). De forma geral, no pericarpo (revestimento externo) e na testa encontram-se os polissacarídeos não amiláceos, os compostos fenólicos (3-deoxiantocianidinas, taninos condensados, ácidos fenólicos, entre outros) e ainda os carotenoides. O amido, as proteínas e os minerais localizam-se no endosperma (tecido de armazenamento). No gérmen (embrião) encontram-se os lipídios, as vitaminas lipossolúveis, as vitaminas do complexo B e os minerais (FOOD SECURITY DEPARTMENT, 1999; WANISKA; ROONEY, 2000; EARP et al., 2004; SLAVIN, 2004).

Frente a essa composição nutricional, o sorgo tem sido cada vez mais pesquisado e utilizado na elaboração de uma grande variedade de produtos alimentícios. Dentre esses, destacam-se a fabricação de produtos de panificação, incluindo os isentos de glúten, snacks, farinhas, mingaus, cuscuz, cerveja entre outros (ABOUBACAR et al., 2006; KAYODÉ et al., 2007; SCHOBER et al., 2007; VELÁZQUEZ et al., 2012; YOUSIF et al., 2012; DEVI et al., 2013; VARGAS-SOLÓRZANO et al., 2014; WINGER et al., 2014).

Além do desenvolvimento de produtos com elevado valor nutricional o sorgo é, ainda, uma excelente fonte de compostos bioativos, os quais podem beneficiar a saúde humana. Os resultados de estudos científicos demonstram que compostos isolados do sorgo, principalmente os fenólicos, modulam parâmetros relacionados às doenças crônicas não transmissíveis como a obesidade, o diabetes, as dislipidemias, as doenças cardiovasculares, o câncer e a hipertensão (MURIU et al., 2002; SHIH et al., 2006; KAMATH et al., 2007; SHIH et al., 2007; FARRAR et al., 2008; AWIKA et al., 2009; YANG et al., 2009; KIM; PARK, 2012; MORAES et al., 2012; WOO et al., 2012).

Diante do exposto, neste capítulo são analisadas as informações disponíveis sobre a elaboração de produtos alimentícios com utilização do sorgo, além de evidências científicas que associam a utilização deste cereal aos potenciais benefícios para a saúde humana, em função de sua composição nutricional e dos compostos bioativos.

POTENCIAL DO SORGO NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

Diversos tipos de alimentos são preparados utilizando-se o sorgo como ingrediente, especialmente, na África e na Índia. Na África, o sorgo é consumido, principalmente, após o processo de fermentação ou não, na forma de pães como o *kisra* (Sudão), mingaus como o *kogobe* (África), *ogi* (Nigeria) ou o *to* (África Ocidental), dentre outros tipos de alimentos (ABDELGHAFOR et al., 2011; JADHAV; ANNAPURE, 2013; RATNAVATHI; PATIL, 2013). Na Índia, uma das principais formas de consumo do sorgo é o *roti*, um tipo de pão achatado que não utiliza fermento em sua formulação. Outros alimentos como *annam* (sorgo cozido), *sankati* e *kanji*, mingaus grosso e fino, respectivamente, estão diariamente presentes na alimentação desta população. Entretanto, devido, principalmente, à urbanização e à facilidade de acesso a outros cereais refinados, o consumo do sorgo apresentou ligeiro declínio, contudo, após atribuir a ele o título de alimento saudável, observa-se um recente aumento no consumo deste cereal, nesta população. Assim, o *roti* tornou-se popularmente um alimento saudável (RATNAVATHI; PATIL, 2013).

Por outro lado, diversos países desenvolvidos têm incentivado o uso de fontes alternativas de farinhas em substituição ao trigo (OLAOYE et al., 2006). Neste cenário, associado à busca por alimentos saudáveis, o sorgo pode tornar-se uma alternativa viável, principalmente na substituição do trigo e do milho (RATNAVATHI; PATIL, 2013). Frente a esta nova demanda, além das farinhas, mingaus e cuscuz (ABOUBACAR et al., 2006), estão sendo elaborados e estudados outros alimentos à base de sorgo, como produtos de panificação, massas alimentícias, snacks, barras de cereais, tortilhas e cerveja (ABOUBACAR et al., 2006; KAYODÉ et al., 2007; SCHOBER et al., 2007; VELÁZQUEZ et al., 2012; YOUSIF et al., 2012; DEVI et al., 2013; VARGAS-SOLÓRZANO et al., 2014; WINGER et al., 2014).

Farinhas, mingaus e cuscuz

O mingau e o cuscuz, elaborados a partir da farinha de sorgo, são preparações largamente utilizadas. A qualidade destas preparações foi avaliada por Aoubacar et al. (2006) a partir de diferentes níveis de decorticação dos grãos. Farinhas de grãos decorticados (apenas o endosperma) de coloração mais clara, assim como cuscuz, foram obtidas a partir de uma maior porcentagem de remoção do pericarpo. Do mesmo modo, a firmeza do gel no preparo do mingau também aumentou com o maior nível de decorticação.

Contudo, já com a atenção voltada para a associação dos compostos fenólicos e potenciais benefícios à saúde, diferentes tipos de sorgo e de processamentos foram avaliados quanto ao conteúdo de compostos fenólicos, taninos e atividade antioxidante (AA). Os resultados demonstraram que a presença de taninos nos grãos aumentou significativamente a AA, contrariamente ao processo de decorticação. Além disso, a cocção convencional no preparo de mingau, utilizando-se sorgo integral fermentado ou não, apresentou elevada AA em relação aos que foram cozidos por extrusão (DLAMINI et al., 2007). Por outro lado, o processo de extrusão no preparo de mingau pode quebrar as ligações químicas da molécula de tanino. Assim, aumenta-se a extração de oligômeros de taninos, no entanto, reduz sua concentração. Acredita-se que esta reorganização na estrutura dos taninos possa aumentar a biodisponibilidade destes compostos (DLAMINI et al., 2009).

Desta forma, a utilização do sorgo decorticado reduz a AA do cereal e os benefícios que seriam vinculados ao uso do grão integral. Entretanto, a adequação do processamento pode melhorar as características sensoriais do produto e alterar a biodisponibilidade de seus componentes.

Produtos de panificação

Os produtos de panificação, principalmente os fabricados a partir de farinha de trigo, são largamente consumidos no mundo, tornando-se de grande importância tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento (VELÁZQUEZ et al., 2012; YOUSIF et al., 2012). Por esta razão a utilização do sorgo em substituição ao trigo nestes produtos se faz relevante (HUGO et al., 2003; SCHOBER et al., 2005, 2007; ABDELGHAFOR et al., 2011). Entretanto, o uso do sorgo na panificação requer a aplicação de tecnologias adicionais, pois esse cereal não possui as proteínas gliadina e glutenina que formam o glúten, o qual é responsável pela estrutura e maciez características de produtos fabricados com trigo (SCHOBER et al., 2005; ABDELGHAFOR et al., 2011). Assim, a utilização do sorgo em

substituição parcial à farinha de trigo ou em associação com outros tipos de farinhas pode conferir melhores resultados aos produtos de panificação.

A fermentação é uma tecnologia tradicional capaz de aumentar a qualidade de produtos de panificação elaborados com sorgo (HUGO et al., 2003; SCHOBER et al., 2007). Assim, a farinha de sorgo fermentada tem sido utilizada como ingrediente funcional no preparo de pães, em substituição parcial a farinha de trigo. A adição de 30% de farinha fermentada melhorou o volume do pão, o peso e a firmeza do miolo (HUGO et al., 2003). Este processamento também foi utilizado no preparo de pão de sorgo isento de glúten (SCHOBER et al., 2007). No entanto, para isto foi necessária a adição de 2% de hidroxipropilmetilcelulose e 30% de amido de batata, em 70% de farinha de sorgo fermentada. A associação destes ingredientes preveniu a formação de orifícios no miolo e o achatamento da superfície, garantido assim, um pão de sorgo de melhor qualidade (SCHOBER et al., 2005).

A substituição da farinha de trigo pelas farinhas de sorgo integral e do grão decorticado foi avaliada no preparo de pão francês e de pão tipo sírio. O estudo demonstrou que a maior porcentagem de substituição (20%) produziu pão francês de menor volume e pão tipo sírio com menor circunferência. A aceitação destes produtos foi inversamente proporcional à adição das farinhas de sorgo (ABDELGHAFOR et al., 2011). Em contrapartida, a substituição de farinhas integrais de sorgo branca (30% e 50%) e vermelha (40% e 50%) na formulação de pão tipo sírio, apresentou melhor aceitação em relação à formulado com trigo. Estas preparações ainda apresentaram elevado conteúdo de compostos fenólicos e menor concentração de amido rapidamente digerível, características que podem trazer redução do estresse oxidativo e do índice glicêmico (YOUSIF et al., 2012).

A associação de outras farinhas à de sorgo foi utilizada por Ferreira et al. (2009) no preparo de cookies destinados a indivíduos com a doença celíaca. Cookies de chocolate foram desenvolvidos a partir de diferentes combinações de farinhas de sorgo, de arroz e de milho. Os atributos sensoriais foram satisfatórios nas preparações que continham 58% e 67% de farinha de sorgo, 8% e 17% de farinha de arroz, 33% e 17% de amido de milho, respectivamente. Dentre as características físicas e químicas o cookie não diferiu do produto comercial. Além disso, nas características sensoriais, os únicos atributos que apresentaram diferença foram a cor e o odor. Da mesma forma, Serrem et al. (2011) verificaram boa aceitação de biscoitos elaborados com farinha de sorgo associada à farinha de soja desengordurada. Além da crocância e da textura, semelhantes ao biscoito comum, a associação das farinhas aumentou a qualidade da proteína contida neste tipo produto.

Massas alimentícias

A elaboração de macarrão destinado tanto ao mercado de produtos isentos de glúten quanto ao de alimentos saudáveis tem estimulado a inclusão do sorgo também nesse tipo de produto (SUHENDRO et al., 2000; LIU et al., 2012; KHAN et al., 2013).

A elaboração de macarrão instantâneo, com farinha do endosperma de sorgo, foi avaliada quanto ao tipo de sorgo utilizado e ao método de fabricação (SUHENDRO et al., 2000; LIU et al., 2012). Obteve-se macarrão instantâneo de boa qualidade com farinhas de sorgo mais finas e uma maior concentração de amido danificado, que conferiu o produto maior firmeza e resistência (LIU et al., 2012). Associado a estas características, o pré-aquecimento do macarrão em forno de microondas conferiu melhor qualidade ao produto (SUHENDRO et al., 2000). Desta forma, por meio do controle do grão de sorgo, qualidade

da farinha produzida e otimização das condições de processamento pode-se obter macarrão instantâneo de boa qualidade.

Visando os benefícios à saúde, associados ao consumo de compostos fenólicos e de amido resistente (AR), Khan et al. (2013) produziram macarrão de sorgo à partir de grãos de pericarpo vermelho e de pericarpo branco, nas concentrações de 20%, 30% e 40%. Foi demonstrado que, em todos os níveis de adição de sorgo, houve aumento no conteúdo de AR, ácido fenólico ligado, fenólicos totais e atividade antioxidante em relação ao controle, elaborado com farinha de trigo. Entretanto, a cocção reduziu as concentrações dos compostos fenólicos por lixiviação para água de cocção ou por termodegradação, mas não alterou o conteúdo de AR. Apesar da redução de fenólicos, o uso do sorgo no preparo de macarrão pode auxiliar na redução dos riscos de doenças relacionadas ao estresse oxidativo e ao diabetes.

Snacks

Há um grande interesse no desenvolvimento de produtos extrusados como *snacks* e cereais matinais, devido ao seu mercado em todo o mundo. Usualmente, estes produtos são elaborados a partir da utilização de trigo, milho e arroz. Entretanto, a grande demanda pelo desenvolvimento de novos produtos com associação ao valor nutritivo tem sido alvo da indústria e da pesquisa com alimentos (DEVI et al., 2013). Assim, foi demonstrado que o sorgo além de produzir extrusados de excelente sabor, aparência e textura, vinculou as propriedades bioativas provenientes dos compostos fenólicos (GONZÁLEZ, 2005).

Recentemente Jadhav e Annapure (2013) verificaram que as propriedades físicas e sensoriais de extrusados de sorgo dependem de variáveis do processamento como, por exemplo, tamanho da partícula (2; 0,84 e 0,49 mm), umidade (16 a 24%), taxa de alimentação da extrusora (50-120 g min⁻¹), velocidade de rotação do parafuso (150-270 rpm) e temperatura do tambor (110 a 150 °C). Além disso, os autores afirmaram que sob as condições estudadas obtiveram-se produtos de boa aceitação e de elevado valor nutricional.

Tendo em vista a grande variedade de genótipos de sorgo existentes e suas diferentes propriedades intrínsecas, Vargas-Solórzano et al. (2014) avaliaram o desenvolvimento de extrusados destinados à alimentação humana frente as suas diversidades, como o tipo de amido, os componentes não amiláceos e os compostos fenólicos. Foi observado que a utilização de farinhas integrais com maior conteúdo de compostos não amiláceos, como fibra alimentar e taninos, produziram extrusados com menor índice de expansão seccional. Entretanto, extrusados de baixa expansão seccional conferiram boas propriedades de extensibilidade durante o desenvolvimento da massa, que podem ser utilizadas no desenvolvimento de biscoitos e wafers com elevada qualidade nutricional. Por outro lado, máxima expansão seccional foi obtida com o extrusado de sorgo de pericarpo vermelho, de baixo conteúdo de fibra alimentar e taninos, que expandiu similarmente ao extrusado de pericarpo branco. Estes genótipos de sorgo têm potencial na formulação de bebidas instantâneas devido à sua difusão em água, em temperatura ambiente.

Produtos extrusados de sorgo com proteínas de melhor qualidade têm sido testados a partir da adição de diferentes fontes de proteínas. As misturas de farinha de sorgo e de milho, na proporção de 6:1 e 5:2, foram consideradas base para adição de 30%, respectivamente, de isolado protéico de soja, farinha de soja desengordurada e farinhas de misturas de leguminosas. A maior expansão dos extrusados ocorreu quando se utilizou maior proporção de farinha de milho em relação às fontes proteicas. Além disto, a inclusão das fontes

proteicas reduziu a crocância e a resistência do produto. Embora a adição destas resultassem em decréscimo na qualidade da textura dos extrusados, houve boa aceitação pelos consumidores e o conteúdo de proteína dos produtos aumentaram de 12% a 30% (DEVI et al., 2013).

A elaboração de produtos extrusados a base de sorgo é uma opção extremamente viável para o incentivo da utilização do sorgo na alimentação humana. Entretanto, há ainda a necessidade de estabelecer as condições de processo e, principalmente, a seleção de genótipos que apresentem características químicas e nutricionais desejáveis. Além disso, é essencial avaliar a retenção de nutrientes e compostos bioativos em diferentes condições de extrusão, visando a escolha daquelas que provoquem menores perdas.

Barra de cereais

As barras de cereais são produtos associados à alimentação saudável, sendo seu consumo elevado (SAMPAIO et al., 2009). Tendo em vista este mercado, foi desenvolvida uma barra de cereal adicionada de 7,2% de pipoca de sorgo, preparada de forma convencional. O produto obteve uma elevada aceitação pelos julgadores (QUEIROZ et al., 2008) e uma vida de prateleira semelhante à aqueles sem aditivos, encontrados no mercado (PAIVA et al., 2012). Mais estudos nesta linha devem ser desenvolvidos, para que se obtenham mais opções de processamento de barras à base de sorgo.

Tortilhas

As tortilhas são o segundo tipo de pão de maior consumo no continente americano, podendo ser consumidas em diversos tipos de preparações. A utilização do sorgo no preparo de tortilhas vem sendo estudado como uma fonte alternativa de compostos antioxidantes, fibra alimentar e em substituição ao trigo em produtos destinados a portadores de doença celíaca (SEBASTIAN, 2005; WINGER et al., 2014).

A adição de 5% de farelo de sorgo com alto conteúdo de taninos no preparo de tortilhas causou pequenas alterações na textura e no sabor do produto e mudança significativa na aparência do mesmo, devido à coloração mais escura do farelo de sorgo. As tortilhas apresentaram-se como fonte de compostos fenólicos, AA e de fibra alimentar (SEBASTIAN, 2005).

Contrariamente, Winger et al. (2014) utilizaram farinhas de grãos sorgo sem taninos, decorticados, no preparo de tortilhas isentas de glúten. Comparando as farinhas dos genótipos avaliados, as que apresentaram menor tamanho de partícula e o maior conteúdo de amido proporcionaram melhor rendimento, maciez e extensibilidade do produto. Além disso, estas farinhas melhoraram a aparência do produto por apresentarem-se mais homogêneas.

Cerveja

Embora a cerveja não seja considerada um alimento, objeto de discussão deste capítulo, a produção desta bebida é proveniente da fermentação de cereais como cevada, centeio e trigo (HAGER et al., 2014). De maneira semelhante à substituição dos cereais nos produtos convencionais, o sorgo também é utilizado na elaboração de bebidas fermentadas como as cervejas, no qual são estudados os tipos de germinação, fermentação e possíveis efeitos destes processos sobre a biodisponibilidade de ferro e de zinco neste tipo de produto

(KAYODÉ et al., 2007; LYUMUGABE et al., 2014). Segundo Zweytick e Berghofer (2009) a cerveja de sorgo é mais viscosa e levemente adocicada, sendo que sua coloração pode variar de amarelada a rosada se o malte de sorgo for adicionado de milho ou milho, respectivamente.

IMPACTO DO POTENCIAL BIOFUNCIONAL DO SORGO NA SAÚDE HUMANA

Em função da diversidade de produtos que podem ser elaborados utilizando-se tanto os grãos de sorgo integral quanto os grãos decorticados ou farelo, este cereal possui um enorme potencial para ser utilizado na alimentação humana, como alternativa aos cereais convencionais. Tendo em vista este potencial do sorgo, Vázquez-Araújo et al. (2012) analisaram quais seriam as principais características que poderiam auxiliar a introdução deste cereal no mercado de alimentos. Os atributos sensoriais como textura e sabor foram importantes e demonstraram a intenção de compra. No entanto, os atributos relacionados aos benefícios à saúde se mostraram mais atraentes aos consumidores.

Os potenciais benefícios funcionais à saúde humana decorrentes do consumo de compostos bioativos isolados de sorgo e do grão integral ainda são desconhecidos. Os resultados de estudos *in vitro* e em animais têm demonstrado que os compostos fenólicos e os lipídios isolados a partir deste cereal podem modular, benéficamente, marcadores relacionados às doenças crônicas não transmissíveis, como obesidade, diabetes, dislipidemia, doenças cardiovasculares, câncer e hipertensão. Os principais mecanismos de ação dos compostos isolados de sorgo em parâmetros relacionados com essas doenças, em animais e em estudos *in vitro* são sumarizados na **Figura 1** (CARDOSO et al., 2014).

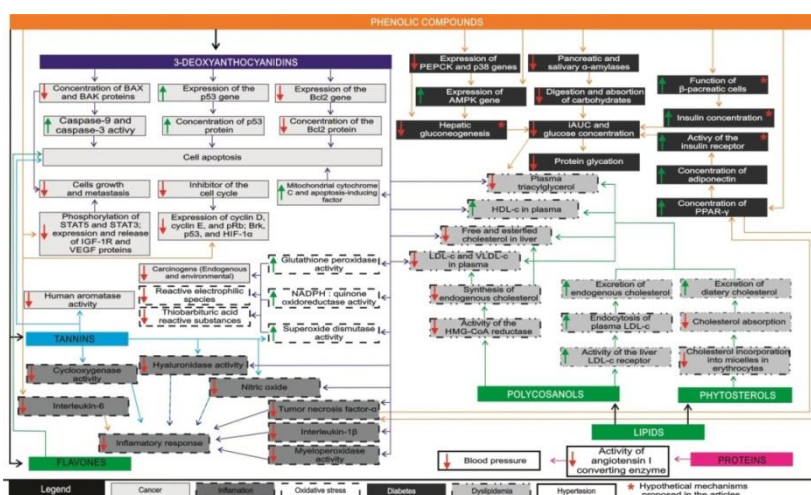


Figura 1 - Principais mecanismos de ação do sorgo em parâmetros relacionados às doenças crônicas não transmissíveis (diabetes, dislipidemia, inflamação, câncer, estresse oxidativo e hipertensão), baseados em resultados de estudos *in vitro* e com animais (CARDOSO et al., 2014).

Estresse oxidativo

A produção crônica e excessiva de radicais livres é crucial para o desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis (HOTAMISLIGIL, 2006; LEE et al., 2011). A ação de compostos isolados de sorgo contra o estresse oxidativo tem sido demonstrada *in vitro*. Esses benefícios funcionais são atribuídos aos compostos fenólicos e são mais evidentes quando extratos de sorgo negro ou vermelho são utilizados (BURDETTE et al., 2010; MORAES et al., 2012).

Os compostos fenólicos isolados de sorgo regulam a expressão de enzimas de fase II (AWIKA et al., 2009; YANG et al., 2009; GONZÁLEZ-MONTILLA et al., 2012). Essas enzimas modulam o sistema de defesa do organismo humano, contra o estresse oxidativo, por meio da contínua conversão de espécies eletrolíticas altamente reativas (RES) em metabólitos não tóxicos e excretáveis (TAKABE et al., 2006; GONZÁLEZ-MONTILLA et al., 2012).

O principal efeito do sorgo sobre as enzimas de fase II é o aumento da atividade da NADH: quinona oxireductase (NQO) (**Figura 1**). Esse efeito é atribuído às 3-deoxiantocianidinas do sorgo, apigeninidina e luteolinidina, e depende, principalmente, do perfil destes compostos em detrimento do conteúdo (LEWIS, 2008; AWIKA et al., 2009; YANG et al., 2009; SUGANYADEVIA et al., 2011b). Estudos recentes demonstraram que a apigeninidina e a luteolinidina não aumentam a atividade da NQO (AWIKA et al., 2009; YANG et al., 2009). Por outro lado, as suas formas 7-metoxiladas são fortes indutores da NQO (AWIKA et al., 2009; YANG et al., 2009).

As variedades de sorgo negras podem exercer efeitos maiores sobre NQO devido ao rico perfil e alto conteúdo das 3-deoxiantocianidinas (LEWIS, 2008; AWIKA et al., 2009; YANG et al., 2009; SUGANYADEVIA et al., 2011b). No entanto, as variedades de sorgo com diferentes cores de pericarpo também podem induzir a atividade da NQO. Por exemplo, o sorgo branco (KARI-Mtama), que tem baixos níveis de pigmentos, compostos fenólicos extraíveis e capacidade antioxidante, é um forte indutor da NQO (AWIKA et al., 2009; YANG et al., 2009). Esse fato demonstra que o sorgo é fonte de outros fitoquímicos, pigmentados ou não, que podem atuar de forma sinérgica com as 3-deoxiantocianidinas e induzir a atividade da NQO. Por outro lado, os taninos do sorgo tem uma capacidade muito baixa para induzir a NQO e podem até inibir a atividade dessa enzima, resultante da ação de outros compostos fenólicos (AWIKA et al., 2009).

Os efeitos do sorgo sobre o estresse oxidativo *in vivo* são pouco conhecidos. A atividade da superóxido dismutase (SOD) aumentou em ratos normo-lipidêmicos alimentados com farelo de sorgo negro (rico em 3-deoxiantocianidinas) (LEWIS, 2008). Esse aumento parece estar estritamente relacionado à ação das 3-deoxiantocianidinas presentes no farelo. Além disso, farelos de sorgo branco (rico em ácidos fenólicos), marrom (rico em taninos) ou negro (rico em 3-deoxiantocianidinas) suprimiram a atividade da glutathione peroxidase (GPx) (LEWIS, 2008). No entanto, no único estudo animal realizado até o momento que utilizou sorgo integral, os ratos normo-lipidêmicos que consumiram diferentes variedades de sorgo (branco; marrom, rico em tanino; e vermelhos sem tanino) não promoveram nenhuma mudança na atividade da SOD (MORAES et al., 2012).

A ausência de mudanças significativas na atividade da SOD (MORAES et al., 2012) pode refletir o menor conteúdo de compostos bioativos no grão de sorgo integral em comparação ao farelo. Assim, a quantidade de compostos bioativos consumida por ratos alimentados com grãos integrais pode ter sido menor do que os alimentados com farelo de sorgo.

Por outro lado, animais normo-lipidêmicos alimentados com sorgo vermelho, avaliados por (MORAES et al., 2012), apresentaram menores concentrações de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) no fígado. Esta redução sugere que o sorgo integral inibiu os RES e que ele pode reduzir o estresse oxidativo por meio de outros mecanismos não avaliados neste estudo, incluindo o aumento de enzimas antioxidantes como a catalase, a GPx e a SOD, e a capacidade antioxidante total. Além disso, a sub ou super-expressão de genes e proteínas relacionadas ao sistema oxidativo também podem ter contribuído para estes resultados.

A atividade antioxidante de compostos fenólicos do sorgo também foi avaliada por meio do ensaio *in vitro* de estresse oxidativo induzido por azobis amidinopropano (AAPH) em membrana de eritrócitos. Foram avaliados dois extratos, um extrato aquoso e outro aquoso acidificado. Os resultados demonstraram que ambos os extratos protegeram os eritrócitos contra a hemólise induzida por AAPH. No entanto, o extrato acidificado apresentou uma maior proteção em relação ao extrato aquoso. A explicação para este maior efeito protetor é decorrente da maior concentração de compostos fenólicos presentes no extrato acidificado (SHELEMBE et al., 2014).

Obesidade e inflamação

A obesidade é uma pandemia que se correlaciona com várias doenças crônicas não transmissíveis. Os resultados de estudos demonstraram que o sorgo rico em taninos reduziu o ganho de peso em animais (ratos, porcos, coelhos e aves) (AL-MAMARY et al., 2001; MURIU et al., 2002). O menor ganho de peso é indesejável em animais para abate, mas pode trazer benefícios contra a obesidade em seres humanos.

O menor ganho de peso em animais alimentados com sorgo rico em taninos resulta em parte da complexação deste composto com o amido de sorgo, o que ajuda a diminuir a ingestão calórica. O amido é o principal componente e fonte energética em cereais (MARGARETA LEEMAN et al., 2006). Um estudo recente demonstrou que os taninos poliméricos de sorgo podem, naturalmente, interagir fortemente com a amilose, formando o amido resistente (BARROS et al., 2013). Além disso, os taninos de sorgo podem inibir a digestão do amido por meio da inibição das enzimas sacarase e amilase (NYAMAMBI et al., 2000; OSMAN, 2004; MKANDAWIRE et al., 2013).

Outro fator importante que também pode contribuir para diminuir o ganho de peso dos animais é a complexação dos taninos com proteínas, bem como a inibição de enzimas digestivas (tripsina, quimotripsina, e lipases) (NYAMAMBI et al., 2000; OSMAN, 2004; TAYLOR et al., 2007; ALI et al., 2009; FRAZIER et al., 2010; RAHMAN; OSMAN, 2011; BARROS et al., 2013). Apesar das evidências em animais, não se sabe se o sorgo (rico em taninos ou não) modula o peso corporal humano. Ressalta-se que o alto consumo de sorgo rico em taninos pode reduzir a biodisponibilidade de ferro e zinco (TOWO et al., 2006).

A obesidade é caracterizada por baixo grau de inflamação crônica subclínica (GREGOR; HOTAMISLIGIL, 2011). Atualmente, sabe-se que os adipócitos e a obesidade desempenham um papel importante em mediadores que sinalizam o processo inflamatório. A

descoberta de que a obesidade resulta em um estado inflamatório em tecidos metabólicos, abre um campo de investigação para avaliar os mecanismos inflamatórios na obesidade (GREENBERG; OBIN, 2006). Este entendimento permite uma definição mais clara do papel que os adipócitos desempenham na saúde e na obesidade e como os mediadores inflamatórios agem como moléculas de sinalização neste processo (GREGOR; HOTAMISLIGIL, 2011).

Os extratos de sorgo ricos em 3-deoxiantocianidinas inibiram a secreção de interleucina-1 β (IL-1 β), fator de necrose tumoral- α (TNF- α) e de óxido nítrico em células mononucleares humanas ativadas com o lipopolissacarídeo (LPS) bacteriano (BURDETTE et al., 2010) (**Figura 1**). Esses efeitos não foram observados em variedades ricas em taninos. No entanto, em outro estudo, variedades de sorgo ricas em taninos foram mais eficazes do que aquelas ricas em 3-deoxiantocianidinas para inibir a hialuronidase, uma importante enzima associada à inflamação (BRALLEY et al., 2008). O maior efeito inibidor dos taninos pode ser atribuído à sua capacidade para complexar com as enzimas (inibição não competitiva). No entanto, neste estudo, os taninos inibiram a hialuronidase por meio de uma ligação competitiva (BRALLEY et al., 2008), o que indica que os taninos se ligam aos locais de ligação da hialuronidase.

A avaliação *in vivo* dos efeitos anti-inflamatórios de sorgo ainda é incipiente, mas os resultados são promissores. A adição de grãos integrais com pericarpo vermelho e sem tanino ou da sua fração lipídica a uma dieta hiperlipidêmica reduziu a expressão de TNF- α em ratos (MORAES et al., 2012; PARK et al., 2012). Os benefícios funcionais em seres humanos devido ao consumo do sorgo integral ou de suas frações são ainda desconhecidos, mas podem resultar do aumento da expressão de adiponectina, a qual inibe este marcador inflamatório (PARK et al., 2012). No entanto, o extrato de sorgo rico em taninos reduziu a formação de edema em ratos por meio da redução da expressão de ciclooxigenase-2 (COX-2), resultando em uma menor permeabilidade vascular (BURDETTE et al., 2010; SHIM et al., 2013). Assim, os resultados de estudos *in vitro* e em animais sugerem que os efeitos anti-inflamatórios do sorgo rico em tanino decorrem de sua ação sobre enzimas, enquanto, variedades ricas em 3-deoxiantocianidinas atuam principalmente sobre as citocinas.

Dislipidemias e doenças cardiovasculares

Estudos *in vitro* e em animais demonstram que o sorgo modula parâmetros relacionados às dislipidemias e doenças cardiovasculares (DCV). O principal mecanismo responsável por esses benefícios envolve a absorção, síntese e excreção de colesterol. Um dos primeiros estudos que avaliou estes efeitos demonstrou que os extratos hexânicos de sorgo inibiram a atividade *in vitro* da enzima 3-hidroxi-3-metilglutaril CoA redutase de rato, de modo dose dependente (CHO et al., 2000).

Nos últimos anos, os resultados de estudos com ratos também demonstraram que a suplementação da dieta com lipídios de sorgo aumentou a excreção de colesterol fecal e reduziu o colesterol plasmático e hepático (CARR et al., 2005; HOI et al., 2009). Estes efeitos podem ser resultantes da ação de esteróis, tais como o sitosterol, presentes no sorgo, que reduzem a concentração de colesterol e LDL-c no plasma humano e animal (KATAN et al., 2003). Além dos lipídios, os extratos liofilizados de compostos fenólicos de sorgo (50 a 600 mg/kg, por 14 dias) também reduziram a concentração plasmática de colesterol total e triglicerídios em ratos (CHUNG, KIM, et al., 2011; CHUNG, YEO, et al., 2011; KIM;

PARK, 2012). Em um estudo com ratos, a adição de 30% de sorgo integral à dieta aumentou a excreção fecal de ácido biliar e o HDL-c plasmático (CHO et al., 2000).

A presença e a composição dos compostos fenólicos do sorgo também podem auxiliar na compreensão da relação entre o consumo de sorgo e a redução dos riscos de DCV. Os antioxidantes do sorgo podem diminuir ou inibir a oxidação de moléculas de lipoproteínas de baixa densidade (LDL). A inibição dessa oxidação pode reduzir os riscos associados as DCV. Quando utilizou-se extratos aquoso e aquoso acidificado de farelo de sorgo em moléculas de LDL humana catalisados pelo cobre, *in vitro*, os extratos foram capazes de inibir a formação de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), podendo os compostos fenólicos do farelo de sorgo contribuir com a saúde cardiovascular (SHELEMBE et al., 2014).

Apesar de estudos em animais e *in vitro* demonstrarem a relação entre o consumo do sorgo e a redução do risco das DCV, o conhecimento sobre os mecanismos ainda é incipiente e até o momento inexistente em humanos.

Diabetes

Estudos recentes indicam que os compostos bioativos do sorgo modulam processos biológicos relacionados ao diabetes. Em um estudo *in vitro*, os extratos etanólicos obtidos a partir de farelos de sorgo ricos em compostos fenólicos e com elevada atividade antioxidante inibiram a glicação de proteínas em até 60% (FARRAR et al., 2008). Os produtos da glicação associam-se ao diabetes e a resistência à insulina e podem aumentar a formação de espécies reativas de oxigênio e a ativação do fator nuclear- $\kappa\beta$ (FARRAR et al., 2008).

Em outros estudos, a ingestão de extratos liofilizados de compostos fenólicos de sorgo (100 e 600 mg kg⁻¹, por 14 dias) reduziu a área abaixo da curva de glicose e a glicemia total, e aumentou a insulinemia em ratos diabéticos (CHUNG, KIM, et al., 2011; KIM; PARK, 2012). Nestes estudos, o efeito hipoglicemiante dos extratos foi similar ao medicamento antidiabético, glibenclamida, do grupo controle. Os mecanismos pelos quais o sorgo modula a glicemia ainda são pouco conhecidos. Sugere-se que estes estejam relacionados à gliconeogênese hepática, mas não à absorção de glicose do músculo esquelético (KIM; PARK, 2012).

Entretanto, outros estudos associam a utilização do sorgo no controle do diabetes devido ao seu conteúdo em fibra alimentar. Por exemplo, Lakshmi e Vimala (1996) afirmaram que a redução da glicemia de indivíduos diabéticos que consumiram preparações adicionadas de sorgo integral ocorreu devido ao maior conteúdo de fibra alimentar, comparado às receitas que utilizaram sorgo decorticado. Possivelmente este efeito ocorreu em função do prolongamento do esvaziamento gástrico e da redução da taxa de digestão e absorção dos carboidratos.

Recentemente um estudo avaliou o efeito dos amidos funcionais do sorgo sobre as respostas glicêmica e insulinêmica de homens adultos saudáveis, após o consumo de muffin com 50g do amido total, provenientes da farinha de sorgo integral (39,5% da preparação). Houve redução da glicemia após 45 a 120 minutos de ingestão e redução da área abaixo da curva de glicose. Além disso, também foi observada a redução da insulinemia após 15 a 90 min e redução da área abaixo da curva de insulina, em relação aos indivíduos que consumiram muffin com farinha de trigo. Assim, os autores relacionam estes efeitos sobre a glicemia e insulinemia ao maior conteúdo de amido resistente e amido lentamente digerível e menor conteúdo de amido rapidamente digerível comparado ao muffin elaborado com

farinha de trigo (POQUETTE et al., 2014). No entanto, deve-se ressaltar que a presença de taninos em alguns genótipos de sorgo pode reduzir a atividade da enzima α -amilase e por consequência reduzir a digestão do amido, contribuindo, também, para redução do índice glicêmico e aumento do conteúdo de AR (MKANDAWIRE et al., 2013).

Desta forma, resultados recentes indicam que o sorgo modula o metabolismo glicêmico e insulinêmico de animais e humanos devido à ação dos compostos fenólicos e qualidade das fibras alimentares. No entanto, há a necessidade de estudos que possibilitem desvendar os mecanismos pelos quais os componentes presentes no sorgo agem no controle do diabetes. Principalmente, se os benefícios à saúde são provenientes da ação dos compostos isolados do sorgo ou do uso do sorgo integral.

Câncer

Os compostos fenólicos isolados do sorgo (esteróis, flavonas, taninos e, principalmente, as 3-deoxiantocianidinas) exercem efeito quimiopreventivo contra células de câncer de colo, esôfago, fígado, mama, medula óssea e pele (GÓMEZ-CORDOVÉS et al., 2001; SHIH et al., 2006, 2007; AWIKA et al., 2009; YANG et al., 2009; WOO et al., 2012). As variedades de sorgo negro exercem maior efeito protetor devido ao elevado conteúdo de 3-deoxiantocianidinas (LEWIS, 2008; AWIKA et al., 2009; SUGANYADEVIA et al., 2011b). As 3-deoxiantocianidinas do sorgo são mais citotóxicas às células de câncer do que as respectivas 3-deoxiantocianidinas análogas presentes em outros alimentos (cianidina e pelargonidina) (SHIH et al., 2006). Além disso, esses efeitos são parcialmente dependentes das propriedades antioxidantes do sorgo (LEWIS, 2008; AWIKA et al., 2009).

Os compostos fenólicos do sorgo atuam diretamente contra as células de câncer, reduzindo a formação de colônias e a proliferação celular e, aumentando a apoptose das células (GÓMEZ-CORDOVÉS et al., 2001; SHIH et al., 2006, 2007; AWIKA et al., 2009; YANG et al., 2009; SUGANYADEVIA et al., 2011a,b; WOO et al., 2012). O principal mecanismo de ação do sorgo sobre as células de câncer envolve o aumento da atividade de enzimas de fase II (SHIH et al., 2007; AWIKA et al., 2009; YANG et al., 2009; GONZÁLEZ-MONTILLA et al., 2012). As enzimas de fase II, especialmente a NQO, são as principais facilitadoras da eliminação de carcinógenos endógenos e ambientais (GONZÁLEZ-MONTILLA et al., 2012). Além disso, a apoptose das células cancerígenas decorre da atividade estrogênica das flavonas do sorgo (YANG et al., 2012) e da estimulação do gene p53 e da inibição do gene de Bcl-2 (SUGANYADEVIA et al., 2013).

O efeito quimiopreventivo do sorgo *in vivo* foi pouco estudado. Os resultados de um dos poucos estudos realizados até o momento demonstraram que a ingestão de variedades de sorgo afetou o desenvolvimento dos colonócitos de ratos (LEWIS, 2008). As variedades de sorgo negro (rico em 3-deoxiantocianidinas) e marrom (rico em taninos), reduziram o número de criptas aberrantes de ratos *Wistar* (LEWIS, 2008). Além disso, o sorgo marrom aumentou a apoptose dos colonócitos e o sorgo negro aumentou a concentração da superóxido dismutase (LEWIS, 2008).

Até o momento, não é possível inferir sobre os efeitos do sorgo na prevenção de câncer em humanos. No entanto, evidências epidemiológicas indicam o potencial do sorgo

para modular esta doença. A substituição do sorgo por milho, como alimento básico da dieta, aumentou a incidência de câncer de esôfago em negros sul-africanos (ISAACSON, 2005). Os mecanismos pelos quais o sorgo reduziu o risco para o câncer de esôfago ainda são desconhecidos.

Hipertensão

Até o momento existe um indício na literatura científica de que o sorgo pode reduzir a pressão arterial. Em um estudo *in vitro*, foi verificado que um isolado de α -karfirinas de sorgo inibiu de forma competitiva e não competitiva a atividade da enzima conversora da angiotensina I (KAMATH et al., 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sorgo é um cereal de elevado valor nutritivo que apresenta características tecnológicas favoráveis ao desenvolvimento de novos produtos, além de sua incorporação às preparações alimentícias, as quais são usualmente elaboradas com o trigo e o milho. Além destas características, alguns genótipos de sorgo possuem compostos fenólicos, como as 3-deoxiantocianidinas e os taninos, especialmente aqueles que apresentam pericarpo de coloração vermelha, marrom e negra, que podem beneficiar a saúde humana. Acredita-se também, que o conteúdo de fibra alimentar e o tipo de amido presente neste cereal possam potencializar os efeitos benéficos do sorgo.

Os resultados de estudos *in vitro* demonstraram que compostos isolados a partir de sorgo, particularmente as 3-deoxiantocianidinas, os taninos e os lipídios, desempenham um forte efeito modulador em processos relacionados a doenças crônicas não transmissíveis (obesidade, diabetes, dislipidemia, doenças cardiovasculares, câncer, e hipertensão). No entanto, tanto a aplicação deste cereal na indústria de alimentos, quanto os possíveis benefícios decorrentes do consumo de compostos isolados e, principalmente, do grão integral de sorgo, ainda necessitam ser detalhadamente avaliados.

REFERÊNCIAS

- ABDELGHAFOR, R.; MUSTAFA, A.; IBRAHIM, A.; KRISHNAN, P. G. Quality of bread from composite flour of sorghum and hard white winter wheat. **Advance Journal of Food Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 9-15, 2011.
- ABOUBACAR, A.; YAZICI, N.; HAMAKER, B. R. Extent of decortication and quality of flour, couscous and porridge made from different sorghum cultivars. **International Journal of Food Science & Technology**, Londres, v. 41, n. 6, p. 698-703, 2006.
- AFIFY, A. E.-M. M. R.; EL-BELTAGI, H. S.; ABD EL-SALAM, S. M.; OMRAN, A. A. Bioavailability of iron, zinc, phytate and phytase activity during soaking and germination of white sorghum varieties. **PLoS One**, San Francisco, v. 6, n. 10, p. 255-12, 2011.
- AL-MAMARY, M.; MOLHAM, A.-H.; ABDULWALI, A.-A.; AL-OBEIDI, A. *In vivo* effects of dietary sorghum tannins on rabbit digestive enzymes and mineral absorption. **Nutrition Research**, v. 21, n. 10, p. 1393-1401, 2001.

- ALI, N. M. M.; EL TINAY, A. H.; ELKHALIFA, A. E. O.; SALIH, O. A.; YOSIF, N. E. Effect of alkaline pretreatment and cooking on protein fractions of a high-tannin sorghum cultivar. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 646-648, 2009.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199-1221, 2004.
- AWIKA, J. M.; YANG, L.; BROWNING, J. D.; FARAJ, A. Comparative antioxidant, antiproliferative and phase II enzyme inducing potential of sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 6, p. 1041-1046, 2009.
- BARROS, F.; AWIKA, J.; ROONEY, L. W. Effect of molecular weight profile of sorghum proanthocyanidins on resistant starch formation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 6, p. 1212-1217, 2013.
- BIGONIYA, P.; NISHAD, R.; SINGH, C. S. Preventive effect of sesame seed cake on hyperglycemia and obesity against high fructose-diet induced Type 2 diabetes in rats. **Food Chemistry**, v. 133, n. 4, p. 1355-1361, 2012.
- BRALLEY, E.; GREENSPAN, P.; HARGROVE, J. L.; HARTLE, D. K. Inhibition of hyaluronidase activity by select sorghum brans. **Journal of Medicinal Food**, v. 11, n. 2, p. 307-312, 2008.
- BURDETTE, A.; GARNER, P. L.; MAYER, E. P.; HARGROVE, J. L.; HARTLE, D. K.; GREENSPAN, P. Anti-inflammatory activity of select sorghum (*Sorghum bicolor*) brans. **Journal of Medicinal Food**, v. 13, n. 4, p. 1-9, 2010.
- CARDOSO, L. M. P. S. S.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO SANT'ANA, H. M. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): nutrients, bioactive compounds and potential impact on the human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2014. No prelo.
- CARR, T. P.; WELLER, C. L.; SCHLEGEL, V. L.; CUPPETT, S. L.; GUDERIAN JR., D. M.; JOHNSON, K. R. Grain sorghum lipid extract reduces cholesterol absorption and plasma non-HDL cholesterol concentration in hamsters. **The Journal of Nutrition**, v. 135, n. 9, p. 2236-2240, 2005.
- CHO, S. H.; CHOI, Y.; HA, T. Y. In vitro and in vivo effects of proso millet, buckwheat and sorghum on cholesterol metabolism. **FASEB J**, v. 14, p. 249-249, 2000.
- CHUNG, I.-M.; KIM, E.-H.; YEO, M.-A.; KIM, S.-J.; SEO, M.-C.; MOON, H.-I. Antidiabetic effects of three Korean sorghum phenolic extracts in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. **Food Research International**, v. 44, n. 1, p. 127-132, 2011.
- CHUNG, I.-M.; YEO, M.-A.; KIM, S.-J.; KIM, M. J.; PARK, D. S.; MOON, H. I. Antilipidemic activity of organic solvent extract from *Sorghum bicolor* on rats with diet-induced obesity. **Human & Experimental Toxicology**, v. 30, n. 11, p. 1865-1868, 2011.
- DEVI, N. L.; SHOBHA, S.; TANG, X.; SHAUR, S. A.; DOGAN, H.; ALAVI, S. Development of protein-Rich Sorghum-Based Expanded Snacks sing Extrusion Technology. **International Journal of Food Properties**, v. 16, n. 2, p. 263-276, 2013.
- DILLON, S. L.; SHAPTER, F. M.; HENRY, R. J.; CORDEIRO, G.; IZQUIERDO, L.; LEE, L. S. Domestication to crop improvement: genetic resources for sorghum and saccharum (*Andropogoneae*). **Annals of Botany**, v. 100, n. 5, p. 975-989, 2007.

- DLAMINI, N. R.; DYKES, L.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D.; TAYLOS, J. R. N. Condensed tannins in traditional wet cooked and modern extrusion cooked sorghum porridges. **Cereal Chemistry**, v. 86, n. 2, p. 191-196, 2009.
- DLAMINI, N. R.; TAYLOR, J. R. N.; ROONEY, L. W. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. **Food Chemistry**, v. 105, n. 4, p. 1412-1419, 2007.
- DYKES, L.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D.; *et al.* Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 17, p. 6813-6818, 2005.
- EARP, C. F.; MCDONOUGH, C. M.; ROONEY, L. W. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 1, p. 21-27, 2004.
- ELKHALIFA, A. E. O.; SCHIFFLER, B.; BERNHARDT, R. Effect of fermentation on the functional properties of sorghum flour. **Food Chemistry**, v. 92, n. 1, p. 1-5, 2005.
- FARRAR, J. L.; HARTLE, D. K.; HARGROVE, J. L.; GREENSPAN, P. A novel nutraceutical property of select sorghum (*Sorghum bicolor*) brans: inhibition of protein glycation. **Phytotherapy Research**, v. 22, n. 8, p. 1052-1056, 2008.
- FERREIRA, S. M. R.; LUPARELLI, P. C.; SCHIEFERDECKER, M. E. M.; VILELA, R. M. Cookies sem glúten a partir da farinha de sorgo. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 59, p. 433-440, 2009.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**. Rome, 2010.
- FOOD SECURITY DEPARTMENT. **Sorghum**: post-harvest operations. United Kingdom: Natural Resources Institute, 1999.
- FRAZIER, R. A.; DEAVILLE, E. R.; GREEN, R. J.; STRINGANO, E.; WILLOUGHB, I.; PLANT, J.; MUELLER-HARVEY, I. Interactions of tea tannins and condensed tannins with proteins. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 51, n. 2, p. 490-495, 2010.
- GÓMEZ-CORDOVÉS, C.; BARTOLOMÉ, B.; VIEIRA, W.; VIRADOR, V. M. Effects of wine phenolics and sorghum tannins on tyrosinase activity and growth of melanoma cells. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 3, p. 1620-1624, 2001.
- GONZÁLEZ-MONTILLA, F. M.; CHÁVEZ-SANTOSCOY, R. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Isolation and identification of phase II enzyme inducers obtained from black Shawaya sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] bran. **Journal of Cereal Science**, v. 55, n. 2, p.126-131, 2012.
- GONZÁLEZ, A. J. P. **Specialty sorghums in direct-expansion extrusion**. College Station: Texas A&M University, 2005. 103 p.
- GREENBERG, A. S.; OBIN, M. S. Obesity and the role of adipose tissue in inflammation and metabolism. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 83, n. 2, p. 461-465, 2006.
- GREGOR, M. F.; HOTAMISLIGIL, G. S. Inflammatory mechanisms in obesity. **Annual review of immunology**, v. 29, p. 415-445, 2011.

HAGER, A.-S.; TAYLOR, J. P.; WATERS, D. M.; AREDNDT, E. K. Gluten free beer: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 36, n. 1, p. 44-54, 2014.

HOI, J. T.; WELLER, C. L.; SCHLEGEL, V. L.; CUPPETT, S. L.; LEE, J.-Y. Sorghum distillers dried grain lipid extract increases cholesterol excretion and decreases plasma and liver cholesterol concentration in hamsters. **Journal of Functional Foods**, v. 1, n. 4, p. 381-386, 2009.

HOTAMISLIGIL, G. S. Inflammation and metabolic disorders. **Nature**, v. 444, n. 7121, p. 860-867, 2006.

HUGO, L. F.; ROONEY, L. W.; TAYLOR, J. R. Fermented sorghum as a functional ingredient in composite breads. **Cereal chemistry**, v. 80, n. 5, p. 495-499, 2003.

ISAACSON, C. The change of the staple diet of black South Africans from sorghum to maize (corn) is the cause of the epidemic of squamous carcinoma of the oesophagus. **Medical Hypotheses**, v. 64, n. 3, p. 658-660, 2005.

JADHAV, M. V.; ANNAPURE, U. S. Effect of extrusion process parameters and particle size of sorghum flour on expanded snacks prepared using different varieties of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). **Journal of Agricultural Science and Technology B**, v. 3, p. 71-85, 2013.

KAMATH, V.; NIKETH, S.; CHANDRASHEKAR, A.; RAJINI, P. S. Chymotryptic hydrolysates of α -kafirin, the storage protein of sorghum (*Sorghum bicolor*) exhibited angiotensin converting enzyme inhibitory activity. **Food Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 306-311, 2007.

KANGAMA, C. O.; RUMEI, X. Introduction of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) into China. **African Journal of Biotechnology**, v. 4, n. 7, p. 575-579, 2005.

KATAN, M. B.; GRUNDY, S. M.; JONES, P.; LAW, M.; MIETTINEN, T.; PAOLETTI, R. Efficacy and safety of plant stanols and sterols in the management of blood cholesterol levels. **Mayo Clinic Proceedings**, v. 78, n. 8, p. 965-978, 2003.

KAYODÉ, A. P. P.; HOUNHOUGAN, J. D.; NOUT, M. J. R. Impact of brewing process operations on phytate, phenolic compounds and in vitro solubility of iron and zinc in opaque sorghum beer. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 5, p. 834-841, 2007.

KHAN, I.; YOUSIF, A.; JOHNSON, S. K.; GAMLATH, S. Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 578-586, 2013.

KIM, J.; PARK, Y. Anti-diabetic effect of sorghum extract on hepatic gluconeogenesis of streptozotocin-induced diabetic rats. **Nutrition & metabolism**, v. 9, n. 1, p. 1-7, 2012.

LAKSHMI, K. B.; VIMALA, V. Hypoglycemic effect of selected sorghum recipes. **Nutrition Research**, v. 16, n. 10, p. 1651-1658, 1996.

LEE, S.; PARK, Y.; ZUIDEMA, M. Y.; HANNINK, M.; ZHANG, C. Effects of interventions on oxidative stress and inflammation of cardiovascular diseases. **World J Cardiology**, v. 3, n. 1, p. 18-24, 2011.

- LEWIS, J. B. **Effects of bran from sorghum grains containing different classes and levels of bioactive compounds in colon carcinogenesis**. College Station: Texas A&M University, 2008. 107 p.
- LIU, L.; HERALD, T. J.; WANG, D.; WILSON, J. D.; BEAN, S. R.; ARAMOUNI, F. M. Characterization of sorghum grain and evaluation of sorghum flour in a Chinese egg noodle system. **Journal of Cereal Science**, v. 55, n. 1, p. 31-36, 2012.
- LYUMUGABE, F.; UYISENGA, J. P.; SONGA, E. B.; THONART, P. Production of traditional sorghum beer “ikigage” using *saccharomyces cerevisiae*, *lactobacillus fermentum* and *issatckenkia orientalis* as starter cultures. **Food and Nutrition Sciences**, v. 5, n. 6, p. 507-515, 2014.
- MANUKUMAR, H.; PRATHIMA, V.; GURU, C.; KURINJI, V. Impact of germination time on protein solubility, digestibility and in-vitro antioxidant, anti-inflammatory activity of sorghum grains. **International Journal of PharmTech Research**, v. 6, n. 1, p. 117-128, 2014.
- MARGARETA LEEMAN, A.; KARLSSON, M. E.; ELIASSON, A.-C.; BJÖRCK, I. M. E. Resistant starch formation in temperature treated potato starches varying in amylose/amylopectin ratio. **Carbohydrate Polymers**, v. 65, n. 3, p. 306-313, 2006.
- MKANDAWIRE, N. L.; KAUFMAN, R. C.; BEAN, S. R.; WELLER, C. L.; JACKSON, D. S.; ROSE, D. J. Effects of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tannins on α -amylase activity and in vitro digestibility of starch in raw and processed flours. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 61, n. 18, p. 4448-4454, 2013.
- MORAES, É. 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. Sorghum genotype may reduce low-grade inflammatory response and oxidative stress and maintains jejunum morphology of rats fed a hyperlipidic diet. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 553-559, 2012.
- MURIU, J. I.; NJOKA-NJIRU, E. N.; TUITOEK, J. K.; NANUA, J. N. Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor*) as replacement for maize in the diet of growing rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). **Asian-Australasian Jjournal of Animal Sciences**, v. 15, n. 4, p. 565-569, 2002.
- NYAMAMBI, B.; NDLOVU, L. R.; READ, J. S.; REED, J. D. The effects of sorghum proanthocyanidins on digestive enzyme activity in vitro and in the digestive tract of chicken. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 15, p. 2223-2231, 2000.
- OLAOYE, O.; ONILUDE, A.; IDOWU, O. Quality characteristics of bread produced from composite flours of wheat, plantain and soybeans. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 11, p. 1102-1106, 2006.
- OSMAN, M. A. Changes in sorghum enzyme inhibitors, phytic acid, tannins and in vitro protein digestibility occurring during Khamir (local bread) fermentation. **Food Chemistry**, v. 88, n. 1, p. 129-134, 2004.
- PAIVA, C. L.; QUEIROZ, V. A. V.; RODRIGUES, J. A. D. S. Estudos sensoriais para determinação da vida de prateleira de barra de cereais com pipoca de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 3, p. 302-311, 2012.
- PARK, J. H.; LEE, S. H.; CHUNG, I.M.; PARK, Y. Sorghum extract exerts an anti-diabetic effect by improving insulin sensitivity via PPAR- γ in mice fed a high-fat diet. **Nutrition research and practice**, v. 6, n. 4, p. 322-327, 2012.

- POQUETTE, N. M.; GU, X.; LEE, S.-O. Grain sorghum muffin reduces glucose and insulin responses in men. **Food & Function**, v. 5, n. 5, p. 894-899, 2014.
- QUEIROZ, V. A. V. Q.; CARNEIRO, H. L.; VASCONCELLOS, J. H.; RODRIGUES, J. A. S. **Análise sensorial de um protótipo de barra de cereais elaborada com pipoca de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 8 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 164).
- RAHMAN, I. E. A.; OSMAN, M. A. W. Effect of sorghum type (*Sorghum bicolor*) and traditional fermentation on tannins and phytic acid contents and trypsin inhibitor activity. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 9, n. 3, p. 163-166, 2011.
- RATNAVATHI, C.; PATIL, J. Sorghum utilization as food. **Journal Nutrition and Food Science**, v. 4, n. 247, p. 2, 2013.
- SAMPAIO, C. R. P.; FERREIRA, S. M. R.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Perfil sensorial e aceitabilidade de barras de cereais fortificadas com ferro. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 20, n. 1, p. 95-106, 2009.
- SANCHEZ, D. A. **White food-type sorghum in direct-expansion extrusion applications**. 2003. 132 p. Dissertação (Mestrado) - Texas A&M University, College Station, 2013.
- SCHOBER, T. J.; BEAN, S. R.; BOYLE, D. L. Gluten-free sorghum bread improved by sourdough fermentation: biochemical, rheological, and microstructural background. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 13, p. 5137-5146, 2007.
- SCHOBER, T. J.; MESSERSCHMIDT, M.; BEAN, S. R.; PARK, S.-H.; ARENDT, E. K. Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids. **Cereal chemistry**, v. 82, n. 4, p. 394-404, 2005.
- SEBASTIAN, G. C. **Nutraceutical tortillas and tortilla chips prepared with bran from specialty sorghums**. 2005. 95 p. Dissertação (Mestrado) - Texas A&M University, College Station, 2005.
- SHELEMBE, J. S.; CROMARTY, D.; BESTER, M.; MINNAAR, A.; DUODU, K. G. Effect of acidic condition on phenolic composition and antioxidant potential of aqueous extracts from sorghum (*Sorghum bicolor*) Bran. **Journal of Food Biochemistry**, v. 38, n. 1, p. 110-118, 2014.
- SHIH, C.-H.; SIU, N. G. R.; NG, R.; WONG, E.; CHIU, L. C.; CHU, I. K.; LO, C. Quantitative analysis of anticancer 3-deoxyanthocyanidins in infected sorghum seedlings. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 2, p. 254-259, 2006.
- SHIH, P.-H.; YEH, C.-T.; YEN, G.-C. Anthocyanins induce the activation of phase ii enzymes through the antioxidant response element pathway against oxidative stress-induced apoptosis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 23, p. 9427-9435, 2007.
- SHIM, T.; KIM, T.; JANG, K.; KO, J. Y.; KIM, D. J. Toxicological evaluation and anti-inflammatory activity of a golden gelatinous sorghum bran extract. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, v. 77, n. 4, p. 697-705, 2013.
- SLAVIN, J. Whole grains and human health. **Nutrient Research Reviews**, v. 17, n. 1, p. 99-110, 2004.

SUGANYADEVIA, P.; SARAVANAKUMARA, K. M.; MOHANDASB, S. Evaluation of antiproliferative activity of red sorghum bran anthocyanin on a human breast cancer cell line (MCF-7). **International Journal of Breast Cancer**, v. 2011, p. 1-6, 2011a.

_____. Identification of 3- deoxyanthocyanins from red sorghum (*Sorghum bicolor*) bran and its biological properties. **African Journal of Pure and Applied Chemistry**, v. 5, n. 7, p. 181-193, 2011b.

_____. The antiproliferative activity of 3-deoxyanthocyanins extracted from red sorghum (*Sorghum bicolor*) bran through P53-dependent and Bcl-2 gene expression in breast cancer cell line. **Life Sciences**, v. 92, n. 6/7, p. 379-382, 2013.

SUHENDRO, E.; KUNETZ, C.; MCDONOUGH, C.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Cooking characteristics and quality of noodles from food sorghum. **Cereal chemistry**, v. 77, n. 2, p. 96-100, 2000.

TAKABE, W.; MATSUKAWA, N.; KODAMA, T.; TANAKA, K.; NOGUCHI, N. Chemical structure–dependent gene expression of proteasome subunits via regulation of the antioxidant response element. **Free Radical Research**, v. 40, n. 1, p. 21-30, 2006.

TALEON, V.; DYKES, L.; ROONEY, W. L.; ROONEY, L. W. Effect of genotype and environment on flavonoid concentration and profile of black sorghum grains. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 470-475, 2012.

TAYLOR, J.; BEAN, S. R.; IOERGER, B. P.; TAYLOR, J. R. N. Preferential binding of sorghum tannins with γ -kafirin and the influence of tannin binding on kafirin digestibility and biodegradation. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 46, p. 22-31, 2007.

TOWO, E.; MATUSCHEK, E.; SVANBERG, U. Fermentation and enzyme treatment of tannin sorghum gruels: effects on phenolic compounds, phytate and in vitro accessible iron. **Food Chemistry**, v. 94, n. 3, p. 369-376, 2006.

U.S. GRAINS COUNCIL. **Sorghum handbook**: white sorghum, the new food grain. Washington, 2004.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W.; CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ASCHERI, J. R. L.; QUEIROZ, V. A. P. Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, v. 55, p. 37-44, 2014.

VÁZQUEZ-ARAÚJO, L.; CHAMBERS IV, E.; CHERDCHU, P. Consumer input for developing human food products made with sorghum grain. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 10, p. S384-S389, 2012.

VELÁZQUEZ, N.; SÁNCHEZ, H.; OSELLA, C.; SANTIAGO, L. G. Using white sorghum flour for gluten-free breadmaking. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 63, n. 4, p. 491-497, 2012.

WANISKA, R. D.; ROONEY, L. W. Structure and chemistry of the sorghum caryopsis. In: SMITH, W.; FREDERIKSEN, R. A. (Ed.). **Sorghum**: production, agronomy, chemistry and utilization. New York: Wiley & Sons, 2000. p. 649-688.

WINGER, M.; KHOURYIEH, H.; ARAMOUNI, F.; HERALD, T. Sorghum flour characterization and evaluation in gluten-free flour tortilla. **Journal of Food Quality**, v. 37, n. 2, p. 95-106, 2014.

WOO, H. J.; OH, I. T.; LEE, J. Y.; JUN, D. Y.; SEU, M. C.; WOO, K. S.; NAM, M. H.; KIM, Y. H. Apigeninidin induces apoptosis through activation of Bak and Bax and subsequent mediation of mitochondrial damage in human promyelocytic leukemia HL-60 cells. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 12, p.1861-1871, 2012.

YANG, L.; ALLRED, K. F.; GEERA, B.; ALLRED, C. D.; AWIKA, J. M. Sorghum phenolics demonstrate estrogenic action and Induce apoptosis in nonmalignant colonocytes. **Nutrition and Cancer**, v. 64, n. 3, p. 419-427, 2012.

YANG, L.; BROWNING, J. D.; AWIKA, J. M. Sorghum 3-deoxyanthocyanins possess strong phase II enzyme inducer activity and cancer cell growth inhibition properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 5, p. 1797-1804, 2009.

YOUSIF, A.; NHEPERA, D.; JOHNSON, S. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. **Food Chemistry**, v. 134, n. 2, p. 880-887, 2012.

ZWEYTICK, G.; BERGHOFER, E. Production of gluten-free beer. In: GALLAGHER, E. (Ed.). **Gluten-free food science and technology**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2009. p. 181-199.