

POTENCIAL FUNCIONAL E TECNOLOGIA DE PROCESSAMENTO DO SORGO [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH], PARA ALIMENTAÇÃO HUMANA*

VALÉRIA APARECIDA VIEIRA QUEIROZ¹, ÉRICA AGUIAR MORAES²,
ROBERT EUGENE SCHAFFERT¹, ANA VLÁDIA MOREIRA²,
SÔNIA MACHADO ROCHA RIBEIRO² e HÉRCIA STAMPINI DUARTE MARTINO²

¹Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil, valeria@cnpmc.embrapa.br, schaffert@cnpmc.embrapa.br

²Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, erica_moraes12@hotmail.com, ana.vladia@ufv.br, sribeiro@ufv.br, hercia@ufv.br

*Este artigo é parte da Dissertação de Mestrado do segundo autor, defendida no Curso de Pós-Graduação em Ciência da Nutrição da Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.10, n.3, p. 180-195, 2011

RESUMO - Este trabalho tem o objetivo de demonstrar o potencial funcional do sorgo para a alimentação humana e revisar os efeitos dos métodos de processamento sobre o teor de compostos fenólicos e a qualidade proteica do cereal. O sorgo destaca-se como o quinto cereal de maior produção no mundo e o conteúdo de fitoquímicos em seus grãos tem despertado interesse na área da saúde, por exercerem atividade antioxidante no organismo, contribuindo, assim, para a redução dos riscos de doenças crônicas não transmissíveis. O processamento dos grãos viabiliza o consumo de cereais pelos humanos. Entretanto, a aplicação de tratamento térmico úmido ou seco, a decorticação e a elaboração de produtos de panificação reduzem a concentração de fenólicos totais e a atividade antioxidante do sorgo. A qualidade proteica do sorgo é largamente prejudicada pela cocção úmida, devido à formação de pontes de dissulfeto em suas proteínas de reserva. No entanto, a digestibilidade não foi alterada significativamente com o calor seco e aumentou com a germinação e a fermentação dos grãos. Estudos que avaliem e desenvolvam processamentos capazes de manter as características nutricionais são imprescindíveis para o incentivo da inserção do sorgo na alimentação humana.

Palavras-chave: antocianinas, compostos fenólicos, doenças crônicas, qualidade proteica, taninos.

PROCESSING TECHNOLOGY AND FUNCTIONAL POTENTIAL OF SORGHUM [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH] FOR HUMAN CONSUMPTION

ABSTRACT - The paper aimed to demonstrate the functional potential of sorghum for human feeding and review the effects of processing methods on the content of phenolic compounds and cereal protein quality. Sorghum is the fifth most produced cereal crop worldwide and the amount of phytochemicals in grains has attracted the interest of health professionals due to their antioxidant activity that could decrease the risks of chronic diseases. Grain processing enables cereal consumption by humans. However, cooking, dry heating, decortication and manufacture of bakery products reduce the concentration of total phenolics and antioxidant activity. Protein quality of sorghum is largely reduced by cooking due to the formation of disulphide-bonds in the storage proteins. However, digestibility was not significantly affected by dry heating and increased with germination and fermentation of grains. Studies aiming to evaluate and develop processes able to maintain the nutritional characteristics are essential for the inclusion of sorghum in human feeding.

Key words: anthocyanins, phenolic compounds, chronic diseases, protein quality, tannins.

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] destaca-se como o quinto cereal de maior produção no mundo e o quarto no *ranking* de produção brasileira (FAOSTAT, 2007; IBGE, 2010). Por sua versatilidade e facilidade de produção, tem sido utilizado como base alimentar de milhões de pessoas, principalmente na África e na Ásia, chegando a suprir cerca de 70% da ingestão calórica diária, exercendo importante papel na segurança alimentar dessas populações (Dicko et al., 2006; Taylor et al., 2006). Nos demais países, o cereal tem sido utilizado basicamente na alimentação animal, com potencial a ser explorado também na alimentação humana.

O aumento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), relacionadas à má nutrição, demanda a exploração de fontes alternativas para a aquisição de hábitos alimentares saudáveis. O hábito de consumir alimentos que contenham concentrações significativas de fitoquímicos e fibra alimentar é correlacionado com benefícios à saúde (Anderson, 2003; Farrar et al., 2008). O sorgo apresenta-se como uma alternativa ao consumo de cereais convencionais, em função da elevada concentração de compostos fenólicos como, por exemplo, os ácidos fenólicos, antocianinas e taninos, além do conteúdo de fibra alimentar (Awika et al., 2005).

A capacidade antioxidante dos compostos fenólicos provenientes do sorgo tem sido comprovada em diversos estudos *in vitro* (Awika et al., 2009; Gülçin et al., 2010), sendo que seu consumo pode estar associado à redução do risco de doenças, como as cardiovasculares (Carr et al., 2005), diabetes (Lakshmi & Vimala, 1996), obesidade (Al-Mamary et al., 2001) e câncer (Awika et al., 2009; Yang et al., 2009). Embora a capacidade antioxidante dos fenólicos do sorgo ainda não tenha sido elucidada na literatura por modelos experimentais *in vivo*,

o prejuízo na absorção de proteínas e minerais é largamente evidenciado, principalmente, pela ingestão de taninos.

Para a viabilização do consumo de cereais pelos humanos, exige-se que a matéria-prima passe pela exposição a algum tipo de processamento, o que pode resultar em alterações na biodisponibilidade de nutrientes e compostos bioativos. Estudos são, ainda, controversos sobre o efeito do tratamento térmico na concentração de fenólicos. Alguns trabalhos relataram a destruição de fenólicos antioxidantes em altas temperaturas (Hamama & Nawar, 1991). Entretanto, o aumento da concentração desses compostos foi relatado após exposição da matéria-prima ao tratamento térmico (Dewanto et al., 2002). Os estudos de digestibilidade proteica, no entanto, são mais elucidados. Vários estudos demonstraram que o processo de cocção úmida do sorgo compromete o aproveitamento desse nutriente, devido à formação de proteínas oligoméricas unidas por ponte de dissulfeto (Hamaker et al., 1986; Duodu et al., 2001; Correia et al., 2010). Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo demonstrar o potencial funcional do sorgo na alimentação humana e revisar os efeitos dos métodos de processamento sobre o teor de compostos fenólicos e qualidade proteica do cereal.

O sorgo

Os cereais têm despertado o interesse de pesquisadores, por existir uma relação de consumo desses alimentos integrais com a redução da incidência de DCNT, o que pode ser associado, em parte, ao teor de compostos bioativos presentes nesses alimentos, destacando-se os fitoquímicos e as fibras alimentares (Farrar et al., 2008).

Nesse contexto, o sorgo apresenta-se como uma cultura alternativa ao consumo dos cereais de maior produção, como arroz, milho, trigo e cevada. O cultivo desse cereal tem maior expressão em regiões tropicais e subtropicais do mundo, como Ásia, África, Oriente Médio e América Central (Sanchez, 2003). Essas regiões apresentam deficiência hídrica, irregularidade de chuvas, calor excessivo ou baixa fertilidade do solo, onde plantações de trigo e milho não apresentam boa produtividade (Silva et al., 2009; Mokrane et al., 2010).

Embora largamente utilizado na alimentação animal (Ítavo et al., 2009; Menezes et al., 2009), o sorgo é considerado alimento básico para milhões de pessoas no mundo, suprimindo cerca de 70% da ingestão calórica diária (Souza et al., 2005; Taylor et al., 2006). É utilizado na elaboração de mingaus, bebidas alcoólicas e produtos de panificação (Anglani, 1998; Sanchez, 2003; Méndez-Albores et al., 2009), apresentando, dessa forma, excelente potencial no processamento e desenvolvimento de novos produtos.

Conforme dados de produção do ano de 2009, a Food and Agriculture Organization (FAO) demonstrou como maiores produtores de sorgo os Estados Unidos da América, a Índia e a Nigéria (FAOSTAT, 2009). Na América Latina, a produção desse cereal apresenta algumas vantagens em relação a outros cereais, como, por exemplo, sua adaptação às condições agrícolas variadas, permitindo o seu cultivo tanto em climas úmidos quanto em climas áridos, além do baixo custo de produção (Martínez & Pau, 1992; Sanchez, 2003). No Brasil, a cultura compreende uma alternativa de plantio para diversas regiões. Na região Nordeste do Brasil, por exemplo, o uso do sorgo na alimentação humana tem grandes potencialidades e pode contribuir consideravelmente para a economia

de divisas, com a diminuição da importação do trigo (Souza et al., 2005). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o sorgo foi o quarto cereal mais produzido no país no ano de 2009, com uma produção de 1.840.819 toneladas e rendimento médio de 2.338 kg.ha⁻¹, ficando atrás apenas da cultura do milho, do arroz e do trigo (IBGE, 2010).

Composição química do sorgo

Os carboidratos correspondem ao principal macronutriente do sorgo, com aproximadamente 75% do cereal (USDA, 2010). O carboidrato deste cereal está presente, principalmente, na forma de amido, que corresponde ao polissacarídeo de reserva das plantas. Em trabalho sobre as propriedades físico-químicas e tecnológicas do amido de duas cultivares de sorgo, encontrou-se para a cultivar branca um teor de 66,8% e, para a cultivar vermelha, de 65,3% (Boudries et al., 2009). Evidenciou-se, também, significativa diferença na concentração de amilose e amilopectina entre as cultivares. A concentração de amilose e amilopectina foi de 27,1 e 72,9%, respectivamente, para a cultivar de coloração branca, e de 24,8 e 75,2%, na cultivar vermelha, destacando-se a influência genética e do ambiente no teor e na qualidade desse nutriente (Boudries et al., 2009). Dos carboidratos do sorgo, o teor de fibra alimentar compreende mais de 6% (USDA, 2010).

Os lipídios correspondem a cerca de 3% do cereal (USDA, 2010). Mehmood et al. (2008) identificaram teor de lipídio de 5 a 8,4%, em dez cultivares. A maioria das cultivares apresentou maior teor de ácidos graxos polinsaturados do que monoinsaturados. As concentrações dos principais ácidos graxos variaram de 31,1 a 48,9%, para o ácido oleico; 0,4 a 0,6% de palmitoleico; 27,6 a 50,7% de

linoleico; 1,7 a 3,9% de linolênico; 1,0 a 2,6% de esteárico e 11,7 a 20,2% de palmítico.

O teor de proteínas do sorgo corresponde a 11,3% (USDA, 2010); no entanto, esse teor e o perfil de aminoácidos podem variar largamente, em função da característica genética e do local de plantio. Proteínas do sorgo são deficientes em arginina, lisina, glicina, tirosina e metionina. Esse desequilíbrio de aminoácidos pode ocasionar efeitos negativos ao aproveitamento da proteína (Maclean et al., 1981).

A baixa qualidade proteica do sorgo também pode ser associada aos compostos fenólicos como, por exemplo, os taninos. Esses compostos complexam-se com as proteínas, impedindo sua digestão e subsequente absorção (Dykes & Rooney, 2006). No entanto, outros componentes do cereal também são associados ao baixo aproveitamento das proteínas. Estudos demonstraram que as kafirinas, principal proteína de reserva, tornam-se menos solúveis e indigeríveis com a cocção úmida, em função da formação de ligações de dissulfeto (Hamaker et al., 1986).

O grão de sorgo também pode ser considerado uma boa fonte de vitaminas lipossolúveis e do complexo B, como tiamina, riboflavina e piridoxina. O cereal é fonte de minerais como o fósforo, o potássio e o zinco (Dicko et al., 2006). Tomaz et al. (2009) relataram concentrações de minerais, em mg.100g⁻¹, variando entre 135 e 250, para fósforo, de zinco, entre 1,3 e 2,7, magnésio entre 65,7 e 147,8, enxofre, entre 66,9 e 100,9, e de cobre, entre 0,29 e 1,00.

A composição química do sorgo é semelhante à do milho e do trigo e as tecnologias de processamento para a obtenção de produtos alimentícios desses cereais são aplicáveis ao sorgo, com a finalidade de explorar seu potencial como matéria-prima para a elaboração de diversos produtos de panificação,

incluindo produtos sem glúten destinados aos portadores de doença celíaca (Martínez & Pau, 1992; Neumann et al., 2004; Dicko et al., 2006; Ciacci et al., 2007; Souza et al., 2009).

Fenólicos do sorgo

Cultivares de sorgo destacam-se no meio científico por apresentarem concentrações significativas de compostos fenólicos, que correspondem a produtos secundários do metabolismo das plantas ou integram os componentes celulares. O conteúdo de fitoquímicos no sorgo tem despertado interesse de profissionais de diversas áreas da saúde, por exercerem atividade antioxidante no organismo, contribuindo, assim, para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis como as cardiovasculares, diabetes, obesidade e câncer (Awika & Rooney, 2004; Bralley et al., 2008; Farrar et al., 2008; Dykes et al., 2009).

Os principais fenólicos normalmente encontrados em cultivares de sorgo compreendem os derivados do ácido hidrobencóico e do ácido hidrocínamico e os flavonoides, que englobam as antocianinas e os taninos (Awika & Rooney, 2004).

O ácido fenólico hidrobencóico é derivado do ácido benzóico, que inclui o ácido gálico, *p*-hidroxibencóico, vanílico, siringico e o ácido protocatequínico, entre outros. O ácido hidroxicinâmico possui uma estrutura C6-C3 e inclui o ácido cumárico, cafeico, felúrico e sinápico. Esses ácidos fenólicos presentes no sorgo auxiliam as plantas na defesa contra pragas e fitopatógenos. Entretanto, esses compostos também apresentam elevada atividade antioxidante *in vitro* e podem contribuir significativamente com benefícios à saúde associados ao consumo do grão integral (Kamath et al., 2004). No sorgo, as concentrações de ácidos

fenólicos não são correlacionadas com a presença de outros compostos fenólicos, como antocianinas e taninos. Geralmente, os níveis de ácidos fenólicos do sorgo são compatíveis com os dos demais cereais (Awika & Rooney, 2004).

Dentre os flavonoides, a antocianina mais comumente encontrada em cultivares de sorgo é denominada de 3-deoxiantocianina, compreendendo as luteolinidinas e apigeninidinas. Essas antocianinas possuem baixa distribuição na natureza (Clifford, 2000), apresentando-se distintas das demais, devido à inexistência de uma molécula de oxigênio na posição C-3 (Mazza & Brouillard, 1987). Essa conformação da molécula de antocianina atribui maior estabilidade quando comparada a outras antocianinas encontradas nas frutas e hortaliças (Awika et al., 2004b; Awika, 2008; Dykes et al., 2009).

O sorgo é a única fonte de 3-deoxiantocianina que está presente em grandes quantidades em alguns cultivares (Shih et al., 2006). Awika et al. (2004a) compararam o teor de antocianinas de cultivares de sorgo negro com as fontes atualmente disponíveis desse pigmento, sendo quantificadas as concentrações de 4,0 a 9,8 mg.g⁻¹ para o sorgo, enquanto que os demais alimentos avaliados apresentaram concentrações entre 0,2 e 10 mg.g⁻¹. Esse fato possibilita a exploração comercial da antocianina do sorgo como fonte de corante natural para alimentos. Foi observado, ainda, que existe boa correlação ($R^2 = 0,94$) entre os teores de antocianinas e a atividade antioxidante das amostras de sorgo, confirmando a maior contribuição das antocianinas para a atividade antioxidante.

Dykes et al. (2009) demonstraram o efeito do genótipo sobre a composição dos flavonóides, em cultivares de sorgo, verificando que aqueles genótipos com coloração secundária de planta vermelha

apresentaram maior proporção de apigeninidina, indicando que a coloração secundária da planta afetou a composição das 3-deoxiantocianinas. No entanto, as concentrações mais elevadas de 3-deoxiantocianinas foram encontradas em genótipos com grãos de pericarpo negro. Cultivares de sorgo com grãos de pericarpo vermelho e coloração secundária de planta palha obtiveram os maiores níveis de flavonas. As concentrações de flavanonas foram detectadas em todos os genótipos com pericarpo vermelho e a coloração secundária de planta não afetou os níveis desses compostos.

Outro importante flavonoide do sorgo é o tanino do tipo condensado, conhecido como proantocianinas ou procianidinas. Ácidos tânico hidrolisáveis não foram identificados em cultivares de sorgo (Dykes & Rooney, 2006). Esses compostos estão presentes em diversas bebidas, como vinho tinto, cerveja, café, chá preto, chá verde e em muitos outros alimentos, como banana, pera, lentilhas, chocolates e também no sorgo (Chung et al., 1998). Compostos fenólicos são conhecidamente responsáveis pelo sabor amargo e adstringente de alguns alimentos (Drewnowski & Gomez-Carneros, 2000). Kobue-Lekalake et al. (2007), em estudo sobre as propriedades sensoriais de cultivares de sorgo, verificaram que tanto as cultivares com tanino quanto as sem tanino apresentaram sabor amargo e adstringência, embora essas características fossem mais perceptíveis nas cultivares com tanino.

Além das características sensoriais, os taninos podem, ainda, se ligar às moléculas proteicas e quelar minerais, dificultando a ação das enzimas e, por fim, reduzir a taxa de digestão de proteínas (Dykes & Rooney, 2006). Como resultado, o tanino presente no sorgo reduz o valor nutricional e calórico dos alimentos, diminui o consumo de ração por animais e leva a uma

baixa eficiência alimentar (Jambunathan & Mertz, 1973; Al-Mamary et al., 2001; Restle et al., 2004).

De acordo com Dlamini et al. (2007), a concentração de taninos nas cultivares de sorgo varia largamente, em função das características genéticas. Genótipos de sorgo que possuem grãos com a testa pigmentada apresentam taninos, assim como maiores concentrações de fenólicos totais e, subsequentemente, maior atividade antioxidante. Esses autores demonstraram que o teor de taninos nos grãos de três cultivares de sorgo com testa pigmentada variaram entre 33,6 e 49,1 mg equivalentes de catequina por grama, enquanto, nas cultivares sem essa camada, não foi possível a detecção desse fenólico.

Numerosos genes controlam o tipo e a quantidade de fenólicos no sorgo, os quais variam de acordo com a cultivar (Awika & Rooney, 2004; Dykes & Rooney, 2006). A presença de testa pigmentada, a qual determina a presença dos taninos, é controlada por ambos os genes dominantes B1 e B2. A coloração do pericarpo, por exemplo, é controlada pelos genes R e Y. A cultivar apresenta pericarpo branco quando Y é homocigoto recessivo (rryy ou R_yy), a coloração amarelada ocorre na presença do gene R homocigoto recessivo e Y como homocigoto dominante (rYY). Quando ambos os genes são dominantes (R_Y_), o pericarpo é vermelho. Alguns genótipos vermelhos podem se tornar negros em função da maturação em presença de luz solar (Dykes et al., 2005). Dykes et al. (2009) sugeriram a necessidade de uma nova classificação, em termos de pericarpo, para as cultivares de grãos negros, pois, embora possuam genes para pericarpo vermelho, produzem quantidades elevadas de 3-deoxiantocianina, diferentemente das cultivares típicas.

A coloração da planta do sorgo é controlada pelos genes P e Q, que produzem planta de coloração

palha, vermelha e púrpura. Plantas com gene P dominante são de cor púrpura (PPQQ) ou vermelha (PPqq), enquanto o gene p recessivo (ppqq ou ppQQ) é para coloração palha (Dykes et al., 2009). Dykes et al. (2005) relataram que cultivares com coloração de planta púrpura ou vermelha possuíam maiores teores de compostos fenólicos do que aquelas de coloração palha.

A espessura do pericarpo é controlada pelo gene Z, sendo espesso sob gene homocigoto recessivo (zz) e delgado quando o gene é dominante (Z_) (Dykes & Rooney, 2006). Em estudo sobre variabilidade genética e compostos fenólicos de cultivares de sorgo, foi demonstrado que cultivares que apresentavam coloração secundária de planta púrpura ou vermelha, grãos com pericarpo espesso de coloração negra ou vermelha e que possuíam a testa pigmentada apresentaram elevadas concentrações de compostos fenólicos e maior atividade antioxidante, quando comparados com cultivares de outros genótipos (Dykes et al., 2005).

Atividade antioxidante do sorgo

Alguns estudos demonstraram que, em comparação com o sorgo, outros cereais como, por exemplo, aveia, arroz e trigo, possuem menores concentrações de compostos fenólicos, os quais possuem baixa atividade antioxidante (Farrar et al., 2008).

Diversos estudos *in vitro* têm sido conduzidos com a finalidade de relatar a atividade antioxidante do sorgo (Kamath et al., 2004; Awika et al., 2005, 2009). Dlamini et al. (2007) demonstraram correlação entre a atividade antioxidante de grãos de cultivares de sorgo com a presença de fenólicos totais e também de taninos, ou seja, cultivares que possuíam taninos apresentaram maior atividade antioxidante. Essa

atividade dos taninos deve-se à proximidade de muitos anéis aromáticos e grupos hidroxila que impedem que esse fenólico aja como pró-oxidante (Hagerman et al., 1998; Awika & Rooney, 2004). Entretanto, uma preocupação é que taninos possam não ser eficazes biologicamente em função do tamanho de sua molécula e da sua tendência em se ligar às moléculas dos alimentos, formando compostos insolúveis (Awika & Rooney, 2004). Contudo, Riedl & Hagerman (2001) demonstraram que mesmo complexados com proteínas, os taninos ainda possuíam pelo menos 50% de sua capacidade antioxidante.

Recentemente, Gülçin et al. (2010) demonstraram elevada e efetiva atividade antioxidante dos taninos, sugerindo, ainda, a utilização desse composto para minimizar ou prevenir a oxidação lipídica em produtos alimentares, mantendo a qualidade nutricional, prolongando a vida de prateleira de alimentos, assim como apresentaram sua importância como componente nutracêutico da alimentação.

As antocianinas também contribuem de forma significativa para a atividade antioxidante apresentada pelas cultivares de sorgo. Estudo em cultivares de sorgo de grãos negros evidenciou elevada concentração de antocianinas, no qual cerca de 50% deste composto correspondiam a luteolinidinas e apigeninidinas. Ressaltou-se, também, que os farelos dessas cultivares apresentaram alta atividade antioxidante, que variaram de 52 a 400 μmol equivalente de trolox por grama de amostra comparada a outros cereais, podendo oferecer benefícios à saúde humana quando incorporados aos alimentos (Awika, 2004a).

Embora diversos estudos *in vitro* sobre a atividade antioxidante dos grãos de sorgo apresentem semelhança de resultados (Awika et al., 2009; Gülçin et al., 2010), ressalta-se que são escassos os estudos

na literatura relacionando essa atividade antioxidante em modelos experimentais *in vivo*.

Potencial funcional do sorgo

Dislipidemias e doenças cardiovasculares

Poucos estudos relatam os efeitos da adição do sorgo na dieta sobre as doenças cardiovasculares. No entanto, Klopfenstein et al. (1981) demonstraram redução das concentrações plasmáticas de colesterol em porcos da Índia alimentados com adição de 58% de farinha de sorgo com baixo teor de taninos, ressaltando, ainda, que esse efeito foi maior que o encontrado nas dietas a base de outros cereais, como trigo integral, aveia e milho. Uma possível explicação para a ocorrência desse efeito sobre os níveis plasmáticos de colesterol é devido à capacidade de as fibras alimentares reduzirem a absorção de colesterol e reabsorção dos ácidos biliares no lúmen intestinal (Erkkilä & Lichtenstein, 2006). A fermentação das fibras no intestino resulta na produção de ácidos graxos de cadeia curta, como, por exemplo, acetato, propionato e butirato. Esses ácidos são absorvidos no cólon e, principalmente, o propionato inibe a síntese hepática de colesterol (Wong et al., 2006).

Carr et al. (2005) propuseram outro mecanismo para o benefício do sorgo na redução de doenças cardiovasculares, concentrando seus estudos na extração lipídica do cereal. Camundongos foram alimentados durante um período de quatro semanas com dietas AIN-93M suplementadas com 0,5, 1,0 e 5,0% de lipídios extraídos do sorgo. O estudo demonstrou redução significativa, dose-dependente, nas concentrações plasmáticas de colesterol não HDL, lipídios hepáticos e manutenção

da concentração de HDL-colesterol. Os autores afirmaram que a redução nos níveis de colesterol não HDL ocorreu, provavelmente, em função da concentração de fitoesteróis e policosanóis no extrato lipídico, confirmados por meio das metodologias de cromatografia de camada delgada e gás líquida. Destacou-se, ainda, a capacidade desses compostos em reduzir a inflamação, a oxidação da HDL, melhorar a função endotelial e inibir a agregação plaquetária, fatores que auxiliam no tratamento e prevenção das doenças cardíacas.

Diabetes mellitus

Cultivares de sorgo com tanino são digeridas lentamente pelo organismo. Algumas tribos da África consomem preferencialmente sorgo com tanino, por contribuir para um maior período de saciedade e plenitude gástrica, em comparação a outros cereais (Awika & Rooney, 2004). Essa característica pode ser potencialmente aplicada aos alimentos destinados a pacientes portadores de diabetes (Dykes & Rooney, 2006) no qual o retardo do esvaziamento gástrico permite mais lenta absorção de glicose.

O sorgo integral como um alimento rico em fibra alimentar, pode contribuir para a ingestão de amido resistente, tendo em vista as vantagens fisiológicas desse nutriente sobre a resposta glicêmica. Niba & Hoffman (2003) encontraram teor de 6,46 g.100 g⁻¹ de amido resistente em uma cultivar de sorgo, sendo que essa concentração pode aumentar até 10,1 g.100 g⁻¹ com a imersão dos grãos em água a 37 °C. Este é um teor significativo, tendo em vista que grãos especialmente desenvolvidos, como o milho com alto teor de amido resistente, contêm 16,5 g.100 g⁻¹ desse composto (Ferguson et al., 2000).

Lakshmi & Vimala (1996) demonstraram que a ingestão, por indivíduos diabéticos, de receitas típicas indianas, acrescidas de sorgo integral, proporcionou redução dos níveis séricos de glicose, quando comparadas à ingestão das receitas padrão ou com sorgo decorticado. Os autores relacionaram a redução do pico de glicemia com o maior conteúdo de fibra alimentar das receitas a base de sorgo integral, em função do prolongamento de esvaziamento gástrico, reduzindo a taxa de digestão e utilização dos carboidratos.

Obesidade

A incorporação do sorgo na alimentação humana pode, também, servir de estratégia para o controle da obesidade (Awika & Rooney, 2004). Estudos conduzidos em ratos (Jambunathan & Mertz, 1973) e porcos (Al-Mamary et al., 2001) demonstraram menor ganho de peso dos animais alimentados com dietas a base de sorgo com elevados teores de tanino. Maclean et al. (1981), em estudo sobre a qualidade proteica do sorgo em crianças de idade pré-escolar, verificaram que o ganho de peso durante o período de consumo do sorgo foi de 1,0 g.kg⁻¹ de peso dia, enquanto o grupo controle de caseína obteve ganho de peso de 4,9 g.kg⁻¹ de peso dia. Dessa forma, o sorgo foi associado a um drástico retardo no ganho de peso em crianças. O mecanismo pelo qual o sorgo pode ser associado ao menor ganho de peso deve-se à formação de complexos insolúveis de tanino com as proteínas (Duodu et al., 2002; Ali et al., 2009).

Câncer

Propriedades anticarcinogênicas também estão sendo atribuídas a alguns nutrientes constituintes

do sorgo. Estudos *in vitro* demonstraram que grãos de sorgo de pericarpo negro induziram enzimas detoxificantes e aqueles com teores a presença de taninos inibiram a proliferação de células de câncer de esôfago e cólon. Os extratos de sorgo apresentaram forte potencial quimiopreventivo, independente da sua atividade antioxidante (Awika et al., 2009).

Turner et al. (2006) demonstraram redução de câncer de colón em ratos alimentados com cultivares de sorgo de grãos negros com tanino. Foi relatado que ratos alimentados com esse tipo de sorgo apresentaram menores alterações nas criptas intestinais, quando comparados a ratos alimentados com celulose ou sorgo branco. Esta redução foi atribuída à atividade antioxidante dessa cultivar de sorgo.

Em estudo *in vitro* de cultura de células, com extrato de cultivares de sorgo negro, vermelho e branco contendo 3-deoxiantocianina, verificou-se que os extratos do sorgo negro foram mais eficientes, ao induzirem a atividade da enzima de fase II por meio do ensaio NAD(P)H: quinase oxidoreductase, na inibição do crescimento de células humanas de câncer de colón. A atividade da enzima de fase II é um indicador de proteção de células animais contra a carcinogênese (Yang et al., 2009).

Gómez-Cordovés et al. (2001) analisaram o efeito dos taninos condensados extraídos de cultivar de sorgo sobre melanogênese das células normais e crescimento de células de melanoma humano. Os taninos do sorgo aumentaram a atividade melanogênica. No entanto, não houve modificação na concentração de melanina total. Ademais, a incubação de células de melanoma humano com esse fenólico reduziu a formação de colônias. Esses resultados sugeriram potencial efeito terapêutico desses compostos em auxiliar no tratamento de melanoma humano. No entanto, ainda são necessárias pesquisas

que possam determinar quais componentes desse cereal são responsáveis por esses benefícios.

Tecnologias de processamento dos grãos de sorgo

Embora a concentração de compostos fenólicos do sorgo seja determinada por fatores genéticos, métodos de processamento da matéria-prima podem alterar essas concentrações (Awika et al., 2003; Awika & Rooney, 2004). Estudos são, ainda, controversos sobre o efeito do tratamento térmico sobre a concentração de fenólicos nas matérias-primas. Hamama & Nawar (1991) relataram a destruição de fenólicos antioxidantes em altas temperaturas (185 °C por 1 hora). Entretanto, relatou-se aumento da concentração desses compostos com a exposição da matéria-prima ao tratamento térmico a 115 °C, durante 25 minutos (Dewanto et al., 2002).

Compostos fenólicos podem ser encontrados no sorgo na forma livre ou em associação com outros componentes, como, por exemplo, os aminoácidos e carboidratos (Dykes & Rooney, 2006). Segundo Dewanto et al. (2002), o processamento térmico pode liberar esses compostos fenólicos associados com o rompimento dos constituintes celulares. Embora a destruição das paredes celulares libere, na maioria das vezes, enzimas oxidativas e hidrolíticas que degradam os antioxidantes, o processamento térmico pode desativar essas enzimas, evitando-se, assim, a perda dos compostos fenólicos (Dewanto et al., 2002).

Processamentos como a extrusão e o preparo de mingau fermentado ou não fermentado, utilizando-se grão de sorgo, geralmente reduzem os compostos fenólicos e a atividade antioxidante desse cereal. A redução dessa atividade pelo processamento do sorgo com tanino pode ser atribuída à forte interação dos

taninos com as prolaminas. A desnaturação proteica gerada pelo processo de cocção abre as estruturas proteicas que facilitam a interação entre as mesmas e os taninos (Dlamini et al. 2007).

O efeito do processamento térmico sobre a estabilidade antioxidante de cultivar de sorgo com grãos marrons foi demonstrado na elaboração de produtos de panificação. Pães e biscoitos preparados com farelo dessa cultivar mantiveram 60 e 78%, respectivamente, da atividade antioxidante inicial do farelo após o tratamento. Além disso, o produto extrusado de cultivar com tanino manteve 21% do teor desse fenólico e 89% da atividade antioxidante. Isso indica que processamentos podem alterar a estrutura do tanino, sem prejudicar o seu potencial antioxidante (Awika, 2003).

Dlamini et al. (2007) demonstraram que a decorticação reduz a atividade antioxidante de cultivares com e sem tanino em cerca de 83%, devido à remoção do pericarpo e da testa, onde concentram-se os fenólicos. Redução de até 95% no teor de fenólicos totais de sorgo decorticado foi relatada por Martínez & Pau (1992). Mesmo que a decorticação reduza os fenólicos e as fibras alimentares do sorgo, esse processo melhora suas características sensoriais, como adstringência e também a digestibilidade (Dlamini et al., 2007). No entanto, a fração retirada do grão de sorgo com a decorticação pode ser utilizada como ingrediente em preparações funcionais e conferir atributos desejáveis, sem afetar as outras propriedades sensoriais em alimentos como biscoito, pão e salgadinhos extrusados (Mitre-Dieste et al., 2000; Acosta et al., 2003).

Além de os processamentos afetarem o conteúdo fenólico e a atividade antioxidante do sorgo, eles podem, ainda, alterar a qualidade desse cereal. O cozimento de sorgo para a elaboração de mingau é o

processamento mais comumente utilizado em países da África e da Ásia (Duodu et al., 2003). No entanto, estudos *in vitro* demonstraram que o cozimento do sorgo faz com que sua digestibilidade seja menor quando comparada a de outros cereais (Mertz et al., 1984; Hamaker et al., 1986). Os resultados de estudos *in vitro* foram confirmados *in vivo* (Maclean et al., 1981).

A explicação mais aceita para a qualidade proteica inferior desse cereal cozido é em função da polimerização das proteínas de reserva do sorgo, kafirinas e prolaminas, por meio da ligação de dissulfeto (Hamaker et al., 1986; Duodu et al., 2002), que também ocasionam mudanças na estrutura secundária da proteína, da forma α -helicoidal para β -laminar (Emmambux & Taylor, 2009).

Ali et al. (2009) propuseram um pré-tratamento com hidróxido de sódio a concentrações de 0,05, 0,1 e 0,2%, com imersão em água durante oito horas, seguindo para cocção em água em ebulição por 20 minutos. A imersão em 0,2% combinada com a cocção, reduziu o teor de taninos em 84% e gerou um aumento nas frações de albumina e globulina, acompanhada de redução significativa da glutelina. Os autores inferiram que esse reajuste nas frações proteicas poderia ocasionar melhora na qualidade de proteínas do sorgo.

Foram estudados os efeitos de diferentes tipos de processamento sobre a digestibilidade *in vitro* das proteínas do sorgo. O cozimento em ebulição foi, mais uma vez, responsável pela redução da digestibilidade. A aplicação de calor seco indireto reduziu apenas 4% e não afetou a extração das proteínas. A extrusão do sorgo para obtenção de pipoca não alterou a digestibilidade das proteínas. No entanto, a fermentação e a germinação promoveram aumento de 39,6 e 20,8%, respectivamente. Dessa forma, verificou-se que o calor seco manteve a digestibilidade e a utilização da água de

cozção reduziu a qualidade proteica do cereal (Correia et al., 2010).

Conclusões

O sorgo apresenta-se como uma cultura alternativa ao consumo dos cereais convencionais. A concentração de fibra alimentar, a quantidade e a qualidade dos compostos fenólicos permitem relacionar o consumo do sorgo à redução dos riscos de doenças como a obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares e câncer. O processamento viabiliza o consumo de cereais pelos humanos. Entretanto, a aplicação de térmico úmido ou seco, a decorticação e a elaboração de produtos de panificação reduzem a concentração de fenólicos totais e a atividade antioxidante do sorgo. Além disso, a qualidade proteica do sorgo é largamente prejudicada pela cozção úmida, devido à formação de pontes de dissulfeto em suas proteínas de reserva. No entanto, a digestibilidade não é alterada significativamente com o calor seco e aumenta com a germinação e a fermentação dos grãos. Estudos que avaliem e desenvolvam processamentos capazes de manter as características nutricionais são imprescindíveis para o incentivo da inserção do sorgo na alimentação humana.

Referências

- ACOSTA, D.; BARRON, M.; RIAZ, M.; WANISKA, R.; ROONEY, L. W. Factors affecting extrusion of white sorghum to produce whole grain snacks. In: **AACC ANNUAL MEETING**, 2003, Portland. **Meeting abstracts...** St. Paul: AACC, 2003 Disponível em: <<http://www.aaccnet.org/meetings/2003/abstracts/a03ma305.htm>>. Acesso em: 10/02/2011.
- 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**, Tarrytown, v. 21, n. 10, p. 1393-1401, 2001.
- ALI, N. M. M.; EL TINAY, A. H.; ELKHALIFA, A. E. O.; SALIH, O. A.; YOUSIF, N. E. Effect of alkaline pretreatment and cooking on protein fractions of a high-tannin sorghum cultivar. **Food Chemistry**, London, v. 114, n. 2, p. 646-648, 2009.
- ANDERSON, J. W. Whole grains protect against atherosclerotic cardiovascular disease. **Proceedings of the Nutrition Society**, Cambridge, v. 62, n.1, p. 135-42, 2003.
- ANGLANI, C. Sorghum for human food - A review. **Qualitas Plantarum - Plant Foods for Human Nutrition**, The Hague, v. 52, n. 1, p. 85-95, 1998.
- AWIKA, J. M. **Antioxidant properties of sorghum**. Texas: Texas A & M University College Station, 2003.
- AWIKA, J. M. Behavior of 3-deoxyanthocyanidins in the presence of phenolic copigments. **Food Research International**, Barking, v. 41, n. 5, p. 532-538, 2008.
- AWIKA, J. M.; DYKES, L.; GU, L.; ROONEY, L. W.; PRIOR, R. L. Processing of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products alters procyanidin oligomer and polymer distribution and content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 18, p. 5516-5521, 2003.
- AWIKA, J. M.; MCDONOUGH, C. M.; ROONEY, L. W. Decorticating sorghum to concentrate healthy phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, n. 16, p. 6230-6234, 2005.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, New York, v. 65, n. 9, p. 1199-1221, 2004.

- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, London, v. 90, n. 1-2, p. 293-301, 2004a.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Properties of 3-Deoxyanthocyanins from Sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 14, p. 4388-4394, 2004b.
- 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**, London, v. 42, n. 6, p. 1041-1046, 2009.
- BOUDRIES, N.; BELHANECHÉ, N.; NADJEMI, B.; DEROANNE, C.; MATHLOUTHI, M.; ROGER, B.; SINDIC, M. Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 78, n. 3, p. 475-480, 2009.
- BRALLEY, E.; GREENSPAN, P.; HARGROVE, J. L.; HARTLE, D. K. Inhibition of Hyaluronidase Activity by Select Sorghum Brans. **Journal of Medicinal Food**, New Rochelle, v. 11, n. 2, p. 307-312, 2008.
- CARR, T. P.; WELLER, C. L.; SCHLEGEL, V. L.; CUPPETT, S. L.; GUDERIAN, D. M.; JOHNSON, K. R. Grain Sorghum Lipid Extract Reduces Cholesterol Absorption and Plasma Non-HDL Cholesterol Concentration in Hamsters. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 135, n. 9, p. 2236-2240, 2005.
- CHUNG, K.-T.; WONG, T. Y.; WEI, C.-I.; HUANG, Y.-W.; LIN, Y. Tannins and Human Health: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 38, n. 6, p. 421 - 464, 1998.
- CIACCI, C.; MAIURI, L.; CAPORASO, N.; BUCCI, C.; DEL GIUDICE, L.; RITA MASSARDO, D.; PONTIERI, P.; DI FONZO, N.; BEAN, S. R.; IOERGER, B.; LONDEI, M. Celiac disease: In vitro and in vivo safety and palatability of wheat-free sorghum food products. **Clinical Nutrition**, Edinburgh, v. 26, n. 6, p. 799-805, 2007.
- CLIFFORD, M. N. Anthocyanins - nature, occurrence and dietary burden. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 80, n. 7, p. 1063-1072, 2000.
- CORREIA, I.; NUNES, A.; BARROS, A. S.; DELGADILLO, I. Comparison of the effects induced by different processing methods on sorghum proteins. **Journal of Cereal Science**, London, v. 51, n. 1, p. 146-151, 2010.
- DEWANTO, V.; WU, X.; LIU, R. H. Processed Sweet Corn Has Higher Antioxidant Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, n. 17, p. 4959-4964, 2002.
- DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORÉ, A. S.; VORAGEN, A. G. J.; BERKEL, W. J. H. 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, 2006.
- 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**, Barking, v. 105, n. 4, p. 1412-1419, 2007.
- DREWNOWSKI, A.; GOMEZ-CARNEROS, C. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 72, n. 6, p. 1424-1435, 2000.
- DUODU, K. G.; NUNES, A.; DELGADILLO, I.; PARKER, M. L.; MILLS, E. N. C.; BELTON, P. S.; TAYLOR, J. R. N. Effect of grain structure and cooking on sorghum and maize in vitro protein digestibility.

- Journal of Cereal Science**, London, v. 35, n. 2, p.161-174, 2002.
- DUODU, K. G.; TANG, H.; GRANT, A.; WELLNER, N.; BELTON, P. S.; TAYLOR, J. R. N. FTIR and Solid State¹³C NMR spectroscopy of proteins of wet cooked and popped sorghum and maize. **Journal of Cereal Science**, London, v. 33, n. 3, p. 261-269, 2001.
- DUODU, K. G.; TAYLOR, J. R. N.; BELTON, P. S.; HAMAKER, B. R. Factors affecting sorghum protein digestibility. **Journal of Cereal Science**, London, v. 38, n. 2, p. 117-131, 2003.
- DYKES, L.; ROONEY, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, London, v. 44, n. 3, p. 236-251, 2006.
- DYKES, L.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D.; ROONEY, W. L. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Sorghum Grains of Varying Genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 17, p. 6813-6818, 2005.
- DYKES, L.; SEITZ, L. M.; ROONEY, W. L.; ROONEY, L. W. Flavonoid composition of red sorghum genotypes. **Food Chemistry**, Barking, v. 116, n. 1, p. 313-317, 2009.
- EMMAMBUX, M. N.; TAYLOR, J. R. N. Properties of heat-treated sorghum and maize meal and their prolamin proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, n. 3, p. 1045-1050, 2009.
- ERKKILA, A. T.; LICHTENSTEIN, A. H. Fiber and Cardiovascular Disease Risk: How Strong Is the Evidence? **Journal of Cardiovascular Nursing**, Hagerstown, v. 21, n. 1, p. 3-8, 2006.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. 2010. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=en> p. 2007>. Acesso em: 12/02/2011.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. 2011. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> p. 2009>. Acesso em: 20/02/2011.
- 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**, London, v. 22, n. 8, p. 1052-1056, 2008.
- FERGUSON, L. R.; TASMAN-JONES, C.; ENGLYST, H.; HARRIS, P. J. Comparative effects of three resistant starch preparations on transit time and short-chain fatty acid production in rats. **Nutrition and Cancer**, Hillsdale, v. 36, n. 2, p. 230-237, 2000.
- GÓMEZ-CORDOVÉS, C.; BARTOLOMEÉ, 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**, Washington, v. 49, n. 3, p. 1620-1624, 2001.
- GÜLÇİN, I.; HUYUT, Z.; ELMASTAS, M.; ABOUL-ENEIN, H. Y. Radical scavenging and antioxidant activity of tannic acid. **Arabian Journal of Chemistry**, Riyadh, v. 3, n. 1, p. 43-53, 2010.
- HAGERMAN, A. E.; RIEDL, K. M.; JONES, G. A.; SOVIK, K. N.; RITCHARD, N. T.; HARTZFELD, P. W.; RIECHEL, T. L. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 46, n. 5, p. 1887-1892, 1998.
- HAMAKER, B. R.; KIRLEIS, A. W.; MERTZ, E. T.; AXTELL, J. D. Effect of cooking on the protein profiles and in vitro digestibility of sorghum and maize. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 34, n. 4, p. 647-649, 1986.

- HAMAMA, A. A.; NAWAR, W. W. Thermal decomposition of some phenolic antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 39, n. 6, p. 1063-1069, 1991.
- IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa_201001_5.shtm>. Acesso em: 15/01/2010.
- ÍTAVO, C. C. B. F.; MORAIS, M. G.; ÍTAVO, L. C. V.; SOUZA, A. R. D. L.; DAVY, F. C. A.; BIBERG, F. A.; ALVES, W. B.; SANTOS, M. V. Consumo e digestibilidade de nutrientes de dietas com silagens de grãos amidos de milho ou sorgo, em ovinos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, p. 452-459, 2009.
- JAMBUNATHAN, R.; MERTZ, E. T. Relation between tannin levels, rat growth, and distribution of proteins in sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 21, n. 4, p. 692-696, 1973.
- KAMATH, V. G.; CHANDRASHEKAR, A.; RAJINI, P. S. Antiradical properties of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) flour extracts. **Journal of Cereal Science**, London, v. 40, n. 3, p. 283-288, 2004.
- KLOPFENSTEIN, C. F.; VARRIANO-MARSTON, E.; HOSENEY, R. C. Cholesterol-lowering effect of sorghum diet in guinea pigs. **Nutrition Reports International**, Palo Alto, v. 24, p. 621-627, 1981.
- KOBUE-LEKALAKE, R. I.; TAYLOR, J. R. N.; DE KOCK, H. L. Effects of phenolics in sorghum grain on its bitterness, astringency and other sensory properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Washington, v. 87, n. 10, p. 1940-1948, 2007.
- LAKSHMI, K. B.; VIMALA, V. Hypoglycemic effect of selected sorghum recipes. **Nutrition Research**, Tarrytown, v. 16, n. 10, p. 1651-1658, 1996.
- MACLEAN, W. C.; ROMANA, G. L. D.; PLACKO, R. P.; GRAHAM, G. G. Protein quality and digestibility of sorghum in preschool children: balance studies and plasma free amino acids. **Journal of Nutrition**, Tarrytown, v.111, n. 11, p. 1928-1936, 1981.
- MARTÍNEZ, B. F.; PAU, C. L. Extrusión de sorgo integral y decortinado. **Agronomía Mesoamericana**, Alajuela, v. 3, p. 40-44, 1992.
- MAZZA, G.; BROUILLARD, R. Color stability and structural transformations of cyanidin 3,5-diglucoside and four 3-deoxyanthocyanins in aqueous solutions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 35, n. 3, p. 422-426, 1987.
- MEHMOOD, S.; ORHAN, I.; AHSAN, Z.; ASLAN, S.; GULFRAZ, M. Fatty acid composition of seed oil of different *Sorghum bicolor* varieties. **Food Chemistry**, Barking, v. 109, n. 4, p. 855-859, 2008.
- MÉNDEZ-ALBORES, A.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; VÉLES-MEDINA, J. J.; MORENO-RAMOS, C.; RÍO-GARCÍA, J. C. D.; MORENO-MARTÍNEZ, E. Efecto de la adición de ácido cítrico sobre la degradación de las aflatoxinas y las propiedades funcionales de productos extrudidos de sorgo. **Interciencia**, Caracas, v. 34, n. 4, p. 252-258, 2009.
- MENEZES, L. F. G.; SEGABINAZZI, L. R.; BRONDANI, I. L.; RESTLE, J.; ARBOITTE, M. Z.; KUSS, F.; PACHECO, P. S.; ROSA, J. R. P. Silagem de milho e grão de sorgo como suplementos para vacas de descarte terminadas em pastagem cultivada de estação fria. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, p. 182-189, 2009.
- MERTZ, E. T.; HASSEN, M. M.; CAIRNS-WHITTERN, C.; KIRLEIS, A. W.; TU, L.; AXTELL, J. D. Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. **Proceedings of the National Academy**

- of Sciences of the United States of America, Washington, v. 81, n. 1, p. 1-2, 1984.
- MITRE-DIESTE, C. M.; GORDON, L. A.; AWIKA, J.; SUHENDRO, E. L.; ROONEY, L. W. Cookies made with sorghum brans high in phenols and catechins. In: **AACC ANNUAL MEETING**, 2000, Portland. **Meeting abstracts...** St. Paul: AACC, 2000. Disponível em: < <http://www.aaccnet.org/meetings/2000/abstracts/a00ma203.htm>>. Acesso em: 15/05/2010.
- MOKRANE, H.; AMOURA, H.; BELHANECH-BENSEMRA, N.; COURTIN, C. M.; DELCOUR, J. A.; NADJEMI, B. Assessment of Algerian sorghum protein quality [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using amino acid analysis and in vitro pepsin digestibility. **Food Chemistry**, Barking, v. 121, n. 3, p. 719-723, 2010.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; BRONDANI, I. L. Avaliação de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) ou milho (*Zea mays*, L.) na produção do novilho superprecoce. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 3, p. 438-452, 2004.
- NIBA, L. L.; HOFFMAN, J. Resistant starch and [beta]-glucan levels in grain sorghum (*Sorghum bicolor* M.) are influenced by soaking and autoclaving. **Food Chemistry**, Barking, v. 81, n. 1, p. 113-118, 2003.
- RESTLE, J.; FATURI, C.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; SILVA, J. H. S. D.; KUSS, F.; SANTOS, C. V. M. D.; FERREIRA, J. J. Substituição do grão de sorgo por casca de soja na dieta de novilhos terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1009-1015, 2004.
- RIEDL, K. M.; HAGERMAN, A. E. Tannin - Protein complexes as radical scavengers and radical sinks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 49, n. 10, p. 4917-4923, 2001.
- SANCHEZ, D. A. **White food-type sorghum in direct-expansion extrusion applications master of science**. 2003. 132 f. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Texas A & M University, Texas.
- SHIH, C. H.; SIU, S. O.; NG, R.; WONG, E.; CHIU, L. C. M.; CHU, I. K.; LO, C. Quantitative analysis of anticancer 3-deoxyanthocyanidins in infected sorghum seedlings. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, n. 2, p. 254-259, 2006.
- SILVA, A. G.; BARROS, A. S.; SILVA, L. H. C. P.; MORAES, E. B.; PIRES, R.; TEIXEIRA, I. R. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 168-174, 2009.
- SOUZA, C. C. D.; DANTAS, J. P.; SILVA, S. D. M.; SOUZA, V. C. D.; ALMEIDA, F. A. D.; SILVA, L. E. D. Produtividade do sorgo granífero cv. sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, p. 512-517, 2005.
- SOUZA, G. F. M. V.; SANTOS, C. M.; SANTANA, D. G.; JÚNIOR, A. S. Armazenamento de sementes de sorgo submetidas a diferentes graus de umidade de colheita. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 4, p. 745-752, 2009.
- TAYLOR, J. R. N.; SCHÖBER, T. J.; BEAN, S. R. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. **Journal of Cereal Science**, London, v. 44, n. 3, p. 252-271, 2006.
- TOMAZ, P. A.; QUEIROZ, V. A. V.; MARTINO, H. S. D.; RIBEIRO, S. M. R.; TARDIN, F. D.; SILVA, C. O. Determinação de minerais em diferentes cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor*). In: **Simpósio de Iniciação Científica**

- da Universidade Federal de Viçosa, 9.; SEMANA DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 7.; SEMANA DE ENSINO, 3., 2009, Viçosa, MG. [Resumos]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- TURNER, N.; DIAZ, A.; TADDEO, S. S.; VANAMALA, J.; MCDONOUGH, C. M.; DYKES, L.; MURPHY, M. E.; CARROLL, R. J.; ROONEY, L. W. Bran from black or brown sorghum suppresses colon carcinogenesis. **FASEB Journal**, Bethesda, v. 20, n. A599, 2006.
- USDA. National Nutrient Database for Standard Reference. Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl>. Acesso em: 15/05/2010.
- WONG, J. M. W.; SOUZA, R.; KENDALL, C. W. C.; EMAM, A.; JENKINS, D. J. A. Colonic Health: fermentation and short chain fatty acids. **Journal of Clinical Gastroenterology**, New York, v. 40, n. 3, p. 235-243, 2006.
- 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**, Washington, v. 57, n. 5, p. 1797-1804, 2009.