

Cereais Matinais à Base de Sorgo Produzidos em Escala Industrial



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria de Alimentos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
37**

**Cereais Matinais à Base de Sorgo
Produzidos em Escala Industrial**

*Melicia Cintia Galdeano
Neuri dos Santos Menezes
Davy William Hidalgo Chávez
Caroline Mellinger Silva
Daniela De Grandi Castro Freitas de Sá
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho
Valéria Aparecida Vieira Queiroz
Cícero Beserra de Menezes*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agroindústria de Alimentos
Avenida das Americas, 29501, Guaratiba
CEP: 23020-470, Rio de Janeiro, RJ
Fone: +55 (21) 3622-9600
Fax: +55 (21) 3622-9713
www.embrapa.br/agroindustria-de-alimentos
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações e Editoração da
Embrapa Agroindústria de Alimentos

Presidente
Esdra Sundfeld

Secretário-Executivo
Virgínia Martins da Matta

Membros
*André Luis do Nascimento Gomes, Celma
Rivanda Machado de Araujo, Daniela De
Grandi Castro Freitas de Sá, Elizabete Alves
de Almeida Soares, Janice Ribeiro Lima, Leda
Maria Fortes Gottschalk, Marcos de Oliveira
Moulin, Melicia Cintia Galdeano e Otniel Freitas
Silva*

Supervisão editorial
Otniel Freitas Silva

Revisão de texto
Marianna Ramos dos Anjos

Normalização bibliográfica
Celma Rivanda Machado de Araújo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Marcos de Oliveira Moulin

Foto da capa
Melicia Cintia Galdeano

1ª edição
Publicação em PDF (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria de Alimentos

Cereais matinais à base de sorgo produzidos em escala industrial / Melicia Cintia Galdeano... [et al.]. – Rio de Janeiro : Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2020. 17 p. : il. color. 21 cm. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agroindústria de Alimentos, ISSN 0101-630X ; 37).

1. Extrusão. 2. Grãos integrais. 3. Compostos bioativos. 4. Tecnologia de alimentos. I. Galdeano, Melicia Cintia. II. Menezes, Neuri dos Santos. III. Hidalgo Chávez, D. W. IV. Silva, Caroline Mellinger. V. Sá, Daniela De Grandi Castro Freitas de. VI. Carvalho, Carlos Wanderlei Piler de. VII. Queiroz, Valéria Aparecida. VIII. Menezes, Cicero Beserra de. IX. Embrapa Agroindústria de Alimentos. X. Título. XI.

Série. CDD 664.762 (23. ed.)

© Embrapa, 2021

Sumário

Resumo	4
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	12
Conclusões.....	16
Agradecimentos.....	17
Referências	17

Cereais Matinais à Base de Sorgo Produzidos em Escala Industrial

Melicia Cintia Galdeano¹

Neuri dos Santos Menezes²

Davy William Hidalgo Chávez³

Caroline Mellinger Silva⁴

Daniela De Grandi Castro Freitas de Sá⁵

Carlos Wanderlei Piler de Carvalho⁶

Valéria Aparecida Vieira Queiroz⁷

Cícero Beserra de Menezes⁸

Resumo – O sorgo é um cereal amplamente cultivado no mundo e apresenta alto teor de fibras e compostos bioativos, no entanto, ainda é pouco utilizado para consumo humano no Brasil. Assim, buscando ampliar seu uso, foi estudada a caracterização de um cereal matinal à base de sorgo produzido industrialmente. O cereal matinal foi produzido a partir de farinha de sorgo integral das cultivares BRS 305 (contendo taninos e alto teor de compostos fenólicos) e BRS 373 (sem taninos), misturadas na proporção 1:1. O processo de fabricação consistiu na extrusão da mistura em equipamento de rosca dupla, secagem e empacotamento do cereal matinal. O produto apresentou boa aceitação sensorial (nota 6,6 e índice de aceitação de 73%), tempo de tigela de 5,74 min, teor de compostos fenólicos totais de 246,05 mg/100g (ácido gálico eq) e atividade antioxidante DPPH e ABTS de 13,41 e 16,53

¹ Farmacêutica-bioquímica, Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.

² Químico, Mestre em Química, analista da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.

³ Engenheiro de alimentos, bolsista da CAPES, pós-doutorando da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

⁴ Bioquímica, Doutora em Ciências Biológicas, pesquisadora da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.

⁵ Engenheira de alimentos, Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.

⁶ Engenheiro agrônomo, Doutor em Ciência de Alimentos, pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.

⁷ Nutricionista, Doutora em Produção Vegetal, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

⁸ Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

$\mu\text{mol Trolox/g}$, respectivamente. O processo de extrusão reduziu o teor de compostos fenólicos (~ 66%) e a atividade antioxidante (~ 70%) originalmente presentes na matéria-prima, no entanto mostrou-se efetivo para melhorar a digestibilidade proteica do sorgo (aumento de 32%). A crocância do cereal matinal foi monitorada por dez meses e os resultados indicaram que o produto empacotado em embalagem plástica flexível de duas camadas (PET e PEAD) apresentou uma vida útil de sete meses. O uso de farinha de sorgo integral para a produção dos cereais matinais permite o aumento da ingestão de cereais integrais na dieta, além da incorporação ao produto de compostos fenólicos com capacidade antioxidante.

Termos para indexação: extrusão, grãos integrais, compostos bioativos.

Sorghum-based Breakfast Cereals Produced on an Industrial Scale

Abstract – Sorghum is a cereal widely cultivated in the world and has a high content of dietary fiber and bioactive compounds, but it is still little used for human consumption in Brazil. Thus, aiming to expand its use, it was studied the characterization of a sorghum-based breakfast cereal produced on industrial scale. The breakfast cereal was produced using whole sorghum flour from cultivars BRS 305 (with tannins and high content of phenolic compounds) and BRS 373 (without tannins), mixed in 1:1 proportion. The process consisted of extruding the mixture in twin screw extruder, drying and packaging. The product showed good sensory acceptance (grade 6.6 and acceptance index of 73%), bowl time of 5.74 min, total phenolic compounds content of 246.05 mg/100g (gallic acid eq) and antioxidant activity of 13.41 and 16.53 μmol Trolox/g for DPPH and ABTS, respectively. The extrusion process reduced the content of phenolic compounds (~ 66%) and the antioxidant activity (~70%) originally present in the raw material, however it was shown to be effective in improving the sorghum protein digestibility (32% increase). The crispness of the breakfast cereal was monitored for ten months and the results showed that the product packaged in flexible two-layer plastic packaging (PET and HDPE) had a shelf-life of seven months. The use of whole sorghum flour for the production of breakfast cereals allows an increase in the intake of whole grains in the diet, in addition to the incorporation in the product of phenolic compounds with antioxidant capacity.

Index terms: extrusion cooking, whole grains, bioactive compounds.

Introdução

O sorgo é o quinto cereal mais importante do mundo, sendo cultivado em áreas muito secas e/ou muito quentes, onde a produtividade de outros cereais é baixa (Chávez et al., 2018). Adapta-se bem às condições de baixa fertilidade do solo que oferecem riscos a outras culturas (Buzo, 2011). No Brasil, ocupa, em volume de produção, a quarta posição entre os grãos. Em 2020 a produção nacional foi de 2,5 milhões de toneladas (CONAB, 2020), visando à produção de grãos para suprir a demanda das indústrias de ração e como forragem para alimentação de ruminantes, aves e suínos (Oliveira, 2016).

Embora o interesse no uso do sorgo para alimentação humana tenha crescido principalmente após alguns estudos relacionarem seu consumo com efeitos benéficos à saúde (redução da incidência de aparecimento de doenças cardiovasculares, diabetes, hipertensão e outras doenças crônicas não transmissíveis) (Awika; Rooney, 2004; Cardoso et al., 2017), o cereal ainda é pouco consumido pela população brasileira, assim como ocorre nos demais países da América do Sul, nos Estados Unidos e na Austrália, onde é utilizado basicamente na alimentação animal. Já na América Central, Ásia e África o sorgo tem sido aplicado como ingrediente na fabricação de pães e biscoitos (Brito, 2016).

Além de boa qualidade nutricional (9,5% de proteína e 19,8% de fibra alimentar), o sorgo integral apresenta alto teor de compostos bioativos com função antioxidante (Oliveira, 2016). Todos os tipos de sorgo (negro, marrom, vermelho e branco) contêm ácidos fenólicos e apresentam boa atividade antioxidante in vitro, contribuindo para os benefícios à saúde associados ao seu consumo, sendo o sorgo do tipo marrom superior aos demais (Vargas-Solórzano et al., 2014).

Assim, buscando ampliar a oferta de produtos de sorgo para alimentação humana, neste trabalho foi realizada a produção, em escala industrial, e a caracterização de um cereal matinal integral à base de sorgo sem adição de conservantes e com elevado teor de compostos bioativos.

Material e Métodos

Matérias-primas e insumos

Os híbridos de sorgo BRS 373 (pericarpo vermelho, sem taninos) e BRS 305 (pericarpo marrom) utilizados foram desenvolvidos e fornecidos pela Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG). Os grãos dos dois híbridos foram encaminhados à empresa no estado do Paraná, local onde os cereais matinais foram produzidos. O açúcar refinado foi comprado em supermercado local. Os reagentes utilizados para as análises químicas foram grau analítico.

Métodos

Produção da farinha integral de sorgo

Os grãos de sorgo foram moídos, separadamente, em moinho de martelo, com peneira do tipo conidure de 0,55 mm e motor de dois polos para obtenção da farinha integral.

Produção do cereal matinal

Para a produção industrial do cereal matinal (Figura 1), a formulação e as condições de processamento foram definidas de acordo com Chávez (2018), com modificações. As farinhas integrais de sorgo foram pesadas em balança de precisão modelo BL-5040-100 (Alfa Instrumentos, São Paulo, Brasil) e misturadas na proporção 1:1 em misturador de pás de inox modelo Agility (Calibrás Tecnologia, Campinas, Brasil) com açúcar refinado (10%). A mistura foi conduzida por rosca transportadora até a moega de alimentação da extrusora de duplo parafuso modelo BC-45 (Clextral, Firminy, França), na qual foi acoplada uma matriz com quatro aberturas circulares de 3,8 mm de diâmetro cada. O material foi umedecido na zona de alimentação do equipamento para alcançar o teor de umidade de 14%. As condições operacionais foram velocidade de rotação dos parafusos de 310 rpm, vazão de sólidos de 110 kg/h e perfil das quatro zonas de aquecimento (da zona de alimentação à saída da matriz) de 100 °C, 125 °C, 125 °C e 125 °C. Na

saída da matriz foi acoplado um sistema de corte com seis lâminas, com rotação ajustada em 500 rpm, para obtenção de produto em formato esférico. Os extrusados foram transportados por transporte pneumático até o secador do tipo leito fluidizado e secos a 145 °C. Em seguida foram conduzidos por transportadores tubulares a cabo de arraste (Cablevey Conveyors, Iowa, EUA), passando por detector de metal (Loma Systems, Illinois, EUA) até a moega de envase. Os cereais matinais foram acondicionados em embalagem plástica flexível de duas camadas (poliéster transparente laminada (PET) de 12 µm de espessura e polietileno de alta densidade transparente (PEAD) de 30 µm de espessura). O processamento foi realizado em três repetições, em dias consecutivos, seguindo rigorosamente as mesmas condições operacionais. As amostras foram coletadas a cada 15 min para a realização das análises.

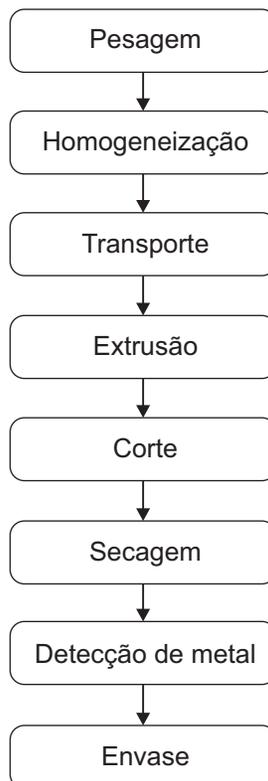


Figura 1. Etapas de produção industrial dos cereais matinais à base de sorgo.

Caracterização físico-química do cereal matinal

- Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

O ISA e o IAA da mistura crua (farinhas de sorgo e açúcar) e do cereal matinal moído foram medidos conforme metodologia descrita por Anderson et al. (1969). A amostra (1 g) foi pesada em tubos de centrifuga, misturada com 10 mL de água destilada, agitada por 30 min e centrifugada a 1400 x g por 10 min. O sobrenadante foi vertido em placas de Petri que foram secas até peso constante. Foram calculados o percentual do resíduo que se solubiliza na água (ISA) e o resíduo úmido (IAA).

- Textura instrumental do cereal matinal

A textura instrumental do cereal matinal foi determinada em texturômetro TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) equipado com célula de carga de 30 kg de acordo com metodologia descrita por Chávez (2018). Foram determinadas a dureza (força máxima em N) e a crocância (adimensional) das amostras, sendo esta última determinada indiretamente pela contagem do número de picos e pela distância linear obtidos do gráfico força (N) x distância (mm). Duas camadas de cereais, organizadas no cilindro acrílico, foram comprimidas usando a sonda circular P36R. As condições operacionais do teste foram: distância 80,0 mm, velocidade de pré-teste 1,0 mm/s, velocidade de teste 5,0 mm/s e de pós-teste de 15,0 mm/s, com 20 repetições para cada amostra.

- Tempo de tigela instrumental do cereal matinal

O tempo de tigela do cereal matinal foi determinado segundo metodologia descrita em Oliveira (2016). Os cereais foram imersos em leite semidesnatado (razão sólido/líquido de 1/4 (m/m)) a 10 °C por diferentes tempos (0 a 15 min) para se obter a cinética de perda de dureza e calcular a meia-vida do produto. Os cereais foram drenados por 15 segundos antes das medidas. Foram usadas a mesma sonda e as mesmas condições de análise do teste de textura. Dez medidas foram tomadas em cada tempo de imersão. O valor médio da dureza em cada tempo de imersão foi ajustado para determinar o tempo médio de tigela conforme descrito em Chávez (2018).

- Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante

A mistura crua (farinhas de sorgo e açúcar) e o cereal matinal moído foram avaliados quanto ao teor de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante

pelos métodos DPPH e ABTS. A extração do material foi conduzida pela mistura de 1 g da amostra moída com 5 mL de metanol (50%), homogeneizada em vórtex, deixada em repouso por 30 min, centrifugada a 9000 g por 15 min e filtrada. Uma segunda extração foi realizada usando o resíduo sólido e adicionando 5 mL de acetona (70%), conforme Georgé et al. (2005). Os sobrenadantes foram combinados em balão volumétrico de 10 mL e o volume foi completado com água ultrapura. O extrato obtido foi usado para quantificar fenólicos totais e atividade antioxidante da amostra. Os compostos fenólicos totais foram determinados com o reagente Folin Ciocalteu conforme descrito em Ludwig et al. (2012). O ácido gálico foi usado como padrão (concentração variou de 0,03 a 1,50 mg/mL). A absorbância foi lida a 760 nm usando um espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). A atividade antioxidante foi determinada usando os métodos dos radicais livres DPPH e ABTS descritos em Brand-Williams et al. (1995) e Re et al. (1999). A absorbância da reação após 30 min foi lida em espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) a 734 nm e 515 nm, respectivamente. Foi usada a curva de Trolox como padrão. Três replicatas foram analisadas e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol Trolox equivalente/grama de amostra}$ ($\mu\text{mol Trolox/g}$).

Digestibilidade proteica (proteínas solúveis e aminoácidos aromáticos)

Para a simulação do processo de digestão humana, as amostras (mistura crua e cereal matinal moído) foram submetidas às três fases da digestão: oral, gástrica e intestinal (intestino delgado), seguindo o modelo harmonizado de digestão humana INFOGEST (Minekus et al., 2014). A digestão foi realizada em triplicata com o uso de um tubo controle (branco), contendo os fluidos digestivos que simulam o processo de digestão humana. As três fases da digestão foram realizadas a 37 °C. A digestão salivar foi de 30 segundos, seguida da digestão gástrica por duas horas e intestinal por mais duas horas. Após a fase intestinal, as amostras foram centrifugadas (6000 x g, 20 min) e os sobrenadantes foram congelados até o uso. Para a análise de proteínas solúveis, os sobrenadantes das amostras digeridas foram analisados pelo método descrito por Bradford (1976), baseando-se na mudança de coloração do reagente Comassie Blue G250, a 595 nm. Para a análise do teor de aminoácidos aromáticos, os sobrenadantes foram analisados pelo método descrito por Goodwin e Morton (1946), em que as amostras foram lidas por espectrofotometria, em 280 nm. A diminuição da quantificação de proteínas e aumento da identificação dos aminoácidos aromáticos indicam o processo de digestão.

Análise sensorial

A análise foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial da Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, RJ) e foi aprovada pelo Comitê de Ética da Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ/IOC sob o número CAAE 04088512.9.0000.5248. O cereal matinal foi avaliado por 89 consumidores adultos não treinados (66% mulheres), com idades variando entre 18 e 65 anos. A aceitação global das amostras foi avaliada através de escala hedônica de 9 pontos, variando de 1 (desgostei extremamente) a 9 (gostei extremamente) (Macfie et al., 1989). O índice de aceitação foi calculado pela divisão da nota média pela nota máxima obtida multiplicado por 100.

Avaliação da crocância durante o armazenamento

A crocância do cereal matinal, mensurada através da textura instrumental conforme metodologia descrita anteriormente, foi monitorada durante dez meses. Os cereais matinais embalados ficaram armazenados a 25 °C e, a cada mês, três embalagens eram abertas e as amostras eram avaliadas.

Análise estatística

Os resultados foram analisados por ANOVA e pelo teste de média Tukey ($p=0,05$) usando o software Statistica 7.0 (StatSoft, Tulsa, EUA).

Resultados e Discussão

Caracterização físico-química do cereal matinal

- Índices de absorção e de solubilidade em água (IAA e ISA)

O IAA e o ISA são índices que avaliam as propriedades de hidratação dos produtos e permitem interpretar as modificações ocorridas no grânulo de amido durante a extrusão devido ao efeito da temperatura e cisalhamento, que ocasionam rompimento parcial das interações intermoleculares permitindo maior interação entre as ligações de hidrogênio da molécula e a água (Ascheri, 2009). Conforme esperado, houve aumento nas propriedades

de hidratação do cereal matinal moído em comparação com a mistura crua (farinhas de sorgo e açúcar) (Tabela 1). O IAA e o ISA do cereal matinal à base de sorgo foram de 4,62 g de água/g de amostra e 17,17%, respectivamente. Nos cereais matinais, valores elevados de IAA resultam em produtos que se encharcam rapidamente e se tornam amolecidos e pegajosos quando imersos em líquidos, característica desagradável do ponto de vista sensorial. Do mesmo modo, alto valor de ISA é relacionado à elevada degradação da matriz amilácea durante extrusão e tem relação direta com a diminuição do tempo de tigela do cereal matinal (Pupalla, 1998; Levine et al., 2004). O IAA do cereal matinal de sorgo foi ligeiramente menor do que o valor obtido no trabalho de Pupalla (1998), que avaliou seis marcas comerciais de cereal matinal e relatou valores de 5,43 a 6,23 g água/g amostra. Cereais matinais à base de sorgo produzidos em escala laboratorial (Chávez, 2018) apresentaram valores de ISA maiores (23,37%) do que o do presente trabalho.

Tabela 1. Caracterização da mistura crua¹ e do cereal matinal produzido industrialmente.

Análise	Mistura crua	Cereal matinal
Índice de solubilidade em água (ISA) (%)*	10,69±0,83 ^a	17,17±1,00 ^b
Índice de absorção de água (IAA) (g/g)*	2,51±0,12 ^a	4,62±0,18 ^b
Proteínas solúveis (%)*	2,73±0,01 ^a	3,03±0,02 ^b
Aminoácidos aromáticos (%)*	2,36±0,01 ^a	2,51±0,03 ^b
Fenólicos totais (mg equivalente de ácido gálico/100 g)*	722,32±82,02 ^a	246,05±33,12 ^b
Atividade antioxidante por DPPH (µmol Trolox/g)*	44,53±1,38 ^a	13,41±1,14 ^b
Atividade antioxidante por ABTS (µmol Trolox/g)*	58,17±1,47 ^a	16,53±0,28 ^b
Dureza (N)	-	380,06±11,58
Crocância por contagem de picos	-	62,70±1,56
Crocância por distância linear	-	1628,10±48,93
Tempo de tigela (1/2 vida) (min)	-	5,74±0,35
Aceitação sensorial (nota média)	-	6,6
Índice de aceitação sensorial (%)	-	73

Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença significativa (teste de Tukey, $p \leq 0,05$). ¹ Farinha de sorgo (BRS 305/BRS 307 na proporção 1/1) e 10% de açúcar antes da extrusão.

- Textura instrumental (dureza) do cereal matinal

A textura é um dos mais importantes atributos de produtos extrusados, sendo a dureza e a crocância os atributos relacionados à qualidade do produto do ponto de vista sensorial (Chaunier et al., 2005). O valor para a força máxima do cereal matinal à base de sorgo, que é considerado como indicação da dureza global da amostra, foi de 380 N (Tabela 1), sendo inferior ao encontrado em cereais matinais à base de farinha de trigo integral e casca de jabuticaba (479 N) (Oliveira et al., 2018). A composição do produto e as condições de processamento interferem nos valores de dureza do produto. A fibra alimentar impacta negativamente na dureza, resultando em produtos mais duros, o que pode explicar esta diferença. A distância linear e a contagem de picos, que são indicações da crocância, foram de 1628 e 62 (adimensionais), respectivamente, indicando alta crocância dos cereais matinais à base de sorgo. Quanto maior o número de picos e maior a distância linear, maior é a crocância do produto. A crocância obtida no presente trabalho está próxima aos valores encontrados por Araújo (2010), que relatou número de picos entre 64 e 95 para cereais matinais à base de milho e inferior ao valor apresentado por Oliveira et al. (2018) em cereais matinais à base de farinha integral de trigo e casca de jabuticaba (número de picos de 125). Em geral, a dureza e a crocância apresentam comportamentos opostos, isto é, quanto mais alta a dureza, menor é a crocância do produto. Assim como para a dureza, a composição do material, as condições de processamento e a metodologia analítica afetam os valores da crocância do produto. Quanto maior o teor de amido (que é responsável pela formação de células de ar de grandes tamanhos e de paredes celulares espessas) e menor o teor de fibras (que afeta o mecanismo de expansão), maior será a crocância do produto (Oliveira et al., 2018).

- Tempo de tigela instrumental do cereal matinal

A análise do tempo de tigela é importante para cereais matinais uma vez que estes são produtos consumidos imersos em meio líquido e, se absorverem muito rapidamente o líquido, se tornam encharcados e pegajosos, que são características indesejáveis sensorialmente (Puppala, 1998). O tempo de tigela do cereal matinal, que corresponde ao tempo em que o cereal matinal perde metade de sua crocância quando imerso em meio líquido, mas ainda se

mostra adequado sensorialmente para o consumo, foi de 5,74 min (Tabela 1). Chávez (2018) relatou tempo de tigela menor (4,05 min) do que o verificado no presente trabalho para cereais matinais de sorgo produzidos em escala laboratorial. Considerando que o tempo médio de consumo de um cereal matinal é de 5 min (Takeuchi et al., 2005), o tempo de tigela obtido para o cereal matinal do presente trabalho é considerado adequado.

- Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante

A extrusão resultou em redução dos níveis de fenólicos totais originalmente presentes (cerca de 66%) conforme é apresentado na Tabela 1. O mesmo comportamento foi verificado para os valores de atividade antioxidante (redução de cerca de 70%). O teor de fenólicos totais do cereal matinal foi de 246,05 mg equivalente de ácido gálico/100g de amostra e os valores de capacidade antioxidante foram de 13,41 $\mu\text{mol Trolox/g}$ e 16,53 $\mu\text{mol Trolox/g}$ para DPPH e ABTS, respectivamente. A aplicação de temperatura por um determinado tempo pode reduzir o teor dos compostos bioativos. Taylor e Taylor (2002), Awika e Rooney (2004) e Dlamini et al. (2007) também observaram que a extrusão reduziu o teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante de extrusados de sorgo. Awika (2003) verificou que os extrusados apresentaram retenção de 89% da atividade antioxidante original, valor superior ao encontrado no presente trabalho. Essa diferença pode ser devida às condições de processamento (temperatura, tempo de retenção e umidade) empregadas. Apesar da redução dos compostos antioxidantes ocasionada pelo processamento térmico, os cereais matinais ainda aportam uma quantidade importante de fenólicos e de atividade antioxidante na dieta.

Digestibilidade proteica (proteínas solúveis e aminoácidos aromáticos)

Os resultados referentes à quantificação de proteínas solúveis, avaliados no sobrenadante das matrizes testadas após digestão, mostraram que a mistura crua das farinhas de sorgo adicionada de açúcar (matéria-prima) apresentou teor de proteínas solúveis de 2,73% e o valor médio no cereal produzido foi de 3,03%, o que significa que o processamento por extrusão termoplástica aumentou a digestibilidade proteica do cereal em aproximadamente 11%. Ainda, tendo em vista que os cereais apresentam 9,55% de proteínas na composição, estima-se que essas proteínas estejam em torno de 32% bioacessíveis no sistema

reacional. Para os resultados da concentração de aminoácidos aromáticos houve aumento de 6% do valor médio no cereal extrusado quando comparado à matéria-prima. A determinação dos aminoácidos aromáticos refere-se aos aminoácidos que estão sendo “liberados” da estrutura proteica ao longo do processo de digestão, dando um indicativo da ação das enzimas proteolíticas no sistema reacional (Goodwin & Morton, 1946). Esse leve aumento na quantidade de aminoácidos aromáticos pode ser devido ao aumento das proteínas presentes no meio reacional. Com base nessas informações, confirma-se a maior digestibilidade proteica do produto extrusado. A melhora da digestibilidade proteica dos grãos de sorgo extrusados já foi demonstrada por Taylor e Taylor (2002) e Mesa-Stonestreet et al. (2012). Apesar do efeito negativo sobre os compostos fenólicos e a atividade antioxidante, já discutidos acima, o uso de calor é importante para melhorar a digestibilidade (ou bioacessibilidade) proteica, bem como a palatabilidade do sorgo.

Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada com consumidores cujo perfil foi, em sua maioria (57%), de indivíduos adultos com pós-graduação completa e incompleta, por isso, a frequência de consumo de cereais matinais mais registrada pelos participantes foi “raramente” (48%), enquanto cerca de 25% dos indivíduos registraram consumo frequente de cereais matinais. Os consumidores receberam o cereal matinal de sorgo em porções individuais, sem acompanhamento, e registraram suas notas de aceitação e intenção de compra. Os resultados demonstraram que o cereal matinal de sorgo teve nota de aceitação sensorial média de 6,6, o que corresponde ao índice de aceitação de 73% (Tabela 1), mostrando boa aceitação pelos consumidores. Segundo Teixeira, Meinert e Barbeta (1987), o valor de referência de corte que determina a aceitação é de 70%. Cerca de 40% dos consumidores registraram que certamente ou provavelmente comprariam o cereal matinal de sorgo, no entanto 31% registraram incerteza quanto a comprar ou não o produto. Este índice pode ser devido à baixa frequência de consumo dos participantes e a outros fatores que interferem na decisão de compra como, por exemplo, a precificação do produto.

Crocância do cereal matinal no armazenamento

A crocância do cereal matinal medida pela contagem de picos e pela distância linear do gráfico força (N) x distância (mm) foi acompanhada durante 300 dias de armazenagem (Tabela 2). Em geral, ocorreu perda de crocância ao longo do tempo, sendo que a perda foi mais acentuada a partir de 210 dias. Neste período de armazenamento, o produto perdeu cerca de 30% da sua crocância original baseado na contagem de picos e 16% em relação ao valor da distância linear. A migração de umidade é umas das principais causas de alterações físicas deteriorantes em alimentos secos, como os cereais matinais, resultando em perda da crocância pela absorção de umidade. Estudos sugerem que alteração na crocância menor que 20-30% faz com que o consumidor não a perceba e, portanto, pode-se dizer que a qualidade do produto não é afetada (Bravin et al., 2006; Chididi, 2016). Considerando a manutenção da principal qualidade física dos cereais matinais, o tempo de 210 dias (ou sete meses) foi definido no presente trabalho como o tempo de vida útil do cereal matinal de sorgo armazenado em embalagem plástica flexível de duas camadas (PET e PEAD).

Tabela 2. Contagem de picos (CP) e distância linear (DL) dos cereais matinais de sorgo durante armazenamento.

Tempo (dias)	CP	DL
0	62,7±1,6 ^a	1628,1±48,9 ^a
30	64,4±3,1 ^a	1643,2±61,6 ^a
120	55,4±2,3 ^b	1504,2±62,0 ^{a,b}
150	49,7±1,0 ^{b,c}	1578,8±40,6 ^a
210	43,7±1,3 ^c	1366,1±33,8 ^b
240	32,1±0,4 ^d	780,9±23,4 ^{c,d}
270	22,4±0,2 ^e	837,1±78,4 ^c
300	23,5±0,7 ^e	617,5±42,9 ^d

Letras diferentes minúsculas, na mesma coluna, indicam diferença significativa entre lotes (teste de Tukey, p<0,05).

Conclusões

Os cereais matinais obtidos a partir das farinhas integrais de sorgo, em escala industrial, mostraram potencial alimentício e representam uma

alternativa promissora para a incorporação do sorgo na dieta humana. O processo de produção reduziu o teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante, mas se mostrou efetivo para melhorar a digestibilidade proteica do sorgo. O produto apresentou características tecnológicas adequadas, incluindo boa aceitação sensorial e vida útil de sete meses em relação à perda de crocância, que é o principal atributo de qualidade de um cereal matinal.

Agradecimentos

Agradecemos à Adriana Paula da Silva Minguita e Mariana da Costa Mattos da Embrapa Agroindústria de Alimentos, pela realização das análises laboratoriais.

Referências

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 9th ed. St. Paul, Minn.: AACC, 1995. 2 v.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN, E. L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, v. 4, n. 1, p. 4-7, 1969.
- ARAÚJO, M. S. Desenvolvimento de extrudado para cereal matinal enriquecido com fruto-oligossacarídeos. 2010. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Seropédica.
- ASCHERI, J. L. R. Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal. Rio de Janeiro Embrapa Agroindústria de Alimentos, abril 2009, 89 p.
- AWIKA, J.M. Antioxidant properties of sorghum assessed by three methods. Ph.D. Dissertation. Texas A&M University: College Station, TX. Texas, 2003.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, v. 65, n. 9, p.1199-1221, 2004.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v. 72, n. 1/2, p. 248-254, 1976.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Science and Technology*, v. 28, n.1, p.25-30, 1995.
- BRITO, S. Sorgo é rico em nutrientes e antioxidantes, aponta pesquisa. In: Embrapa. Agroindústria Segurança alimentar, nutrição e saúde. Notícias. Notícias, 7 jun. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/13242210/sorgo-e-rico-em-nutrientes-e-antioxidantes-aponta-pesquisa>. Acesso em: 12 ago. 2020.

- BUZO, W. H. D.; MORGADO, H. S.; SILVA, L. B.; FRANÇA, A. F. S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. *Pubvet*, v. 5, n.23, p. 1145, 2011.
- BRAVIN, B.; PERESSINI, D.; SENSIDONI, A. Development and application of polysaccharide-lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products. *Journal of Food Engineering*, v. 76, n. 3, p. 280-290, 2006.
- CARDOSO, L. M.; PINHEIRO, S. S.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 57, n. 2, p. 372-390, 2017.
- CHAUNIER, L.; COURCOUX, P.; VALLE, G. D.; LOURDIN, D. Physical and sensory evaluation of cornflakes crispness. *Journal of Texture Studies*. v. 36, p. 93-118, 2005.
- CHÁVEZ, D. *Elaboração e caracterização físico-química e sensorial de cereal matinal de sorgo por extrusão*. 2018. 98 f. Tese (Ciência de Tecnologia e Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Seropédica.
- CHÁVEZ, D.; ASCHERI, J.; MARTINS, A.; CARVALHO, C.; BERNARDO, C.; TELES, A. Sorghum, an alternative cereal for gluten-free product. *Revista Chilena de Nutrición*. v. 45, n. 2, p.169-177, 2018.
- CHIDIDI, C. C. L. *Efeito do armazenamento sobre as características químicas e sensoriais do biscoito de coco sem glúten*. 2016. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Nutrição) – Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Nutrição, Niterói.
- CONAB. Boletim da Safra de Grãos – 11º levantamento – safra 2019/2020, disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 17 ago. 2020.
- 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.
- GEORGÉ, S.; BRAT, P.; ALTER, P.; AMIOT, M. J. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, n. 5, p. 1370-1373, 2005. DOI <https://doi.org/10.1021/jf048396b>
- GOODWIN, T. W.; MORTON, R. A. The spectrophotometric determination of tyrosine and tryptophan in proteins. *Biochemical Journal*, v. 40, n. 5/6, p. 628-632, 1946. DOI <https://doi.org/10.1042/bj0400628>
- LEVINE, L.; CAMPANELLA, O. H.; OKOS, M. R.; ROSS, K. Observations on physicochemical changes with flaking. *American Association of Cereal Chemists*, v.49, n.2, p.65-70, 2004.
- LUDWIG, I. A.; SANCHES, L.; CAEMMERER, B.; KROH, L.W.; DE PEÑA, M. P.; CONCEPCIÓN, C. Extraction of coffee antioxidants: Impact of brewing time and method. *Food Research International*, v. 48, n. 1, p.57-64, 2012.
- MACFIE, H. J.; N., BRATCHELL; GREENHOFF, K.; VALLIS, L. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. *Journal of Sensory Studies*, v. 4, n. 2, p. 129-148, 1989.
- MESA-STONESTREET, N. J.; ALAVI, S.; GWIRTZ, J. Extrusion-enzyme liquefaction as a method for producing sorghum protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, v.108, p. 365-375, 2012.
- MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALLANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIEU, C.; CARRIÈRE, F.; BOUTROU, R.; CORREDIG, M.; DUPONT, D.; DUFOUR, C.; EGGER,

L.; GOLDING, M.; KARAKAYA, S.; KIRKHUS, B.; LE FEUNTEUN, S.; LESMES, U.; MACIERZANKA, A.; MACKIE, A.; MARZE, S.; Mc CLEMENTS, D. J.; MENARD, O.; RECIO, I.; SANTOS, C. N.; SINGH, R. P.; VEGARUD, G. E.; WICKHAM, M. S. J.; WEITSCHIES, W.; BRODKORB, A. A standardized static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. *Food Functional*, v. 5, p. 1113-1124, 2014. DOI <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2014/fo/c3fo60702j>

OLIVEIRA, G. T. de. Caracterização de farinhas de diferentes genótipos de sorgo e efeito da panificação nos teores de amido resistente e antioxidantes. 2016. 102 f. Dissertação (Nutrição Humana) – Universidade de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Brasília, DF.

OLIVEIRA, L. C.; ALENCAR, N. M. M.; STEEL, C. J. Improvement of sensorial and technological characteristics of extruded breakfast cereals enriched with whole grain wheat flour and jacobinca (*Myrciaria cauliflora*) peel. *LWT Food Science and Technology*, v. 90, p.207-214, 2018.

PUPPALA, V. Texture comparison of traditional and extruded cornflakes. *Cereal Foods World*. v. 43, n. 8, p. 650-652, 1998.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANALLA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 26, n. 9/10, p. 1231-1237, 1999. DOI [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

TAKEUCHI, K. P.; SABARDINE, E.; CUNHA, R. L. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.25, n. 1, p.78-85, 2005.

TAYLOR, J.; TAYLOR, J. R. N. Alleviation of the adverse effects of cooking on protein digestibility in sorghum through fermentation in traditional African porridges. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 37, p.129-138, 2002.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W.; CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ASCHERI, J. L. R.; QUEIROZ, V. A. V. Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. *Food Research International*, v. 55, p. 37-44, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.023>



Agroindústria de Alimentos

