



ELABORAÇÃO DE UMA BARRA DE CEREAL ISENTA DE GLÚTEN, COM ALTO VALOR NUTRICIONAL E PROPRIEDADES FUNCIONAIS

Mariana da Costa Mattos, Luciana Cardoso Nogueira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

RESUMO

Há uma grande demanda por produtos sem glúten prontos ao consumo, que ofereçam alto valor nutricional e propriedades sensoriais atrativas. Este trabalho objetivou produzir barras de cereal isentas de glúten, à base de sorgo e com alto valor nutricional, utilizando delineamento experimental para estudo das formulações e otimizando estas, em comparação com resultados analíticos de uma amostra comercial. A otimização indicou uma formulação com razão 30:70 entre sorgo e os demais grãos utilizados, 60,5% de substituição de xarope de glicose por inulina e 49% de substituição de açúcar por sorbitol. A barra de cereal produzida apresentou alta atividade antioxidante, 54% de índice de aceitação sensorial e alto conteúdo de fibra, possibilitando a alegação de propriedade funcional, de acordo com a legislação vigente.

Palavras chave: sorgo, barra de cereal, inulina, glúten



1. INTRODUÇÃO

A mudança dos hábitos alimentares alterou a rotina de boa parte da população e aumentou a demanda por produtos de conveniência prontos para consumo. Além disso, há uma crescente demanda por alimentos saudáveis (CHÁVEZ et al., 2018), aliada à grande quantidade de informações disponíveis sobre os alimentos e seus benefícios. A exigência dos consumidores começou a alterar o panorama do consumo de alimentos e a aumentar a valorização dos atributos de saudabilidade (RODRIGUES, 2013). Com isso, percebe-se maior busca por produtos com características sensoriais agradáveis, alto valor nutricional e propriedades benéficas aliados à praticidade de produtos de conveniência. As barras de cereais são um dos produtos que podem atender parte desta demanda e têm se tornado destaque entre grupos que buscam aliar os conceitos de dieta/saúde a um estilo de vida saudável.

Além dos que buscam opções saudáveis de alimentos, há o grupo de pessoas que apresentam intolerância ao glúten, os celíacos. Esta doença é desencadeada pela intolerância ao consumo do glúten (formado pelos aminoácidos glutamina e prolina) presente em alimentos como trigo, cevada, centeio entre outros e o tratamento consiste única e exclusivamente em uma dieta rigorosa, excluindo alimentos que contenham glúten (KUPPER, 2005; DERWAN et al., 2004). A disponibilidade de alimentos *gluten-free*, apesar de ter passado por aumento na quantidade de produtos ofertados, ainda esbarra na qualidade sensorial e, principalmente, na baixa qualidade nutricional. Neste contexto, as barras de cereais podem ser uma opção de atendimento ao mercado de alimentos *gluten-free* por ser um produto capaz de reunir, em uma mesma matriz, vários ingredientes saudáveis.



O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um grão nativo da África Central, e pode ser considerado uma boa opção de matéria-prima, pois é livre das proteínas responsáveis pela reação alérgica em celíacos (MESA-STONESTREET et al., 2012; PAIVA et al., 2019), apresenta um valor nutricional semelhante ao milho e ainda é fonte de minerais como fósforo, potássio, ferro e zinco (DICKO et al., 2006), porém no Brasil, ainda é usado em sua maior parte para alimentação animal. Devido à presença de taninos, os grãos de sorgo precisam de tratamentos (térmicos e/ou químicos) para minimizar os efeitos negativos que estes compostos apresentam. Porém, cabe ressaltar a importância de um tratamento térmico rápido para que o calor não interfira de forma negativa, reduzindo os compostos bioativos presentes nos grãos. Para tal, o processamento deste cereal por extrusão termoplástica é uma possibilidade viável.

Seguindo a tendência de saudabilidade e bem-estar, alguns grãos e sementes ganharam destaque na alimentação humana, por serem ricos em nutrientes, fontes de compostos bioativos e apresentarem propriedades funcionais. Destes, podemos destacar a quinoa (*Chenopodium quinoa* W.), o amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) e a semente de linhaça (*Linum usitatissimum*). Segundo Farinazzi-Machado et al. (2012), a quinoa apresenta alto teor de proteínas, carboidratos de baixo índice glicêmico, fitosteróis e ácidos graxos ômega-3 e ômega-6. Além disso, também relaciona o consumo destes grãos à redução de fatores de risco de doenças cardiovasculares. O amaranto, segundo Mendonça et al. (2009), devido à sua composição proteica, está relacionado à redução do colesterol. E, a semente de linhaça, conforme Strandas et al. (2008), também apresenta propriedades funcionais, relacionadas à proteção contra doenças cardiovasculares, câncer e diabetes mellitus.



Outra alternativa para um produto que atenda ao conceito “saudável” é a substituição de alguns ingredientes usados na formulação, como o açúcar, por outros que apresentem poder edulcorante e menores efeitos negativos no organismo, como, por exemplo, o sorbitol. A inclusão de fibras alimentares na formulação também é uma realidade que vem sendo fortemente observada e, neste contexto, a inulina merece destaque. No caso do sorbitol, além de reduzir o valor calórico do produto, também atua auxiliando a redução do risco do aparecimento de Diabetes Mellitus, que acomete parte da população. No caso das fibras, os efeitos benéficos associados ao consumo regular vêm sendo mostrados e incluem a melhora no trânsito intestinal e estimulação seletiva da microbiota intestinal. Para isto, uma alternativa seria a inclusão de inulina na formulação dos produtos de conveniência de grande aceitação, neste caso as barras de cereais.

Este trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de uma barra de cereal isenta de glúten com bom valor nutricional, produzida a partir de extrusados de sorgo (crispies), linhaça, quinoa, flocos de amaranto e com calda de aglutinação preparada com substituição do xarope de glicose e da sacarose da formulação por inulina e sorbitol, respectivamente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

MATÉRIAS PRIMAS

Foram usados: grãos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. moench) integrais (sorgo vermelho híbrido, sem taninos); sorbitol Polyglobe 0100 (Ingredion Brasil Ltda); inulina (Raftiline® Embrafarma, representante Orafiti-Beneo™ no Brasil); grãos de quinoa, as



sementes de linhaça, os flocos de amaranto e demais insumos foram adquiridos do comércio local.

MÉTODOS

OBTENÇÃO DA FARINHA CRUA DE SORGO INTEGRAL

Os grãos integrais de sorgo foram moídos em moinho de martelo LM3100 (Perten Instruments AB, Huddinge, Suécia) equipado com uma peneira de 0,8 mm de abertura.

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULA

O tamanho de partícula da farinha de sorgo integral foi determinado por análise direta em equipamento a laser modelo S3500 (Microtrac Inc., Montgomery Ville, EUA), utilizando água destilada como dispersante/fluido carreador e adotando índice de refração do amido para os cálculos realizados pelo sistema.

COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL

As matérias-primas sorgo, linhaça e quinoa foram caracterizadas quanto à composição nutricional de acordo com os métodos oficiais da AOAC (*Association of Official Agricultural Chemists*). Foram realizadas as análises de: Umidade – AOAC 925.09(2010); Cinzas – AOAC 923.03 (2005); Extrato etéreo – AOAC 945.38(2005); Nitrogênio total – AOAC método 2001.11(2010), método de Kjeldahl; Fibra alimentar total – AOAC método 2002.04(2010).



DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Foi feito o teste frente ao radical livre ABTS, realizado de acordo com van Overveld et al.(2000), utilizando ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-carboxílico (Trolox®) como padrão. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) em comprimento de onda de 734 nm.

AVALIAÇÃO DA DIGESTIBILIDADE PROTEICA

SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE DIGESTÃO *IN VITRO*

As amostras foram submetidas à simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, de acordo com OHSAWA et al. (2008), com adaptações. As frações digeridas foram liofilizadas e submetidas à caracterização em eletroforese gel SDS/PAGE.

CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL PROTEICO EM ELETROFORESE GEL SDS/PAGE

As amostras digeridas foram solubilizadas em tampão carbonato e acrescidas de tampão de amostra. Foi utilizado o sistema de eletroforese vertical (BioRad) e o método de preparação dos géis, conforme Laemmli (1970). As concentrações de acrilamida foram 12% e 8% nos géis de separação e de empilhamento, respectivamente. A eletroforese foi realizada em cuba pequena (Mini Protean), durante 7 h, sob a tensão de 100V. Os marcadores de baixo peso molecular foram obtidos a partir dos seguintes padrões de proteínas (em kDa): fosforilase B 102,57; albumina de soro bovino 72,52; ovalbumina 47,87; anidrase carbônica 34,14; inibidor de tripsina



de soja 26,89 e lisozima 17,07. Os géis foram corados com o reagente de cor "coomassie blue R250", durante 12h, e descorados com uma solução de metanol/ácido acético/água destilada (40: 10: 50) por 3h.

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRUSADOS DE SORGO

PRODUÇÃO DOS EXTRUSADOS DE SORGO (*CRISPIES*)

A farinha crua de sorgo foi processada em extrusora dupla rosca Clextral Evolum EV25 (Firminy, França), equipada com matriz de 0,8mm de diâmetro, com: alimentação de 9 kg/h; temperatura das 10 zonas de aquecimento de 30,30,60,90,100,100,120,120,150 e 150°C (da alimentação à saída do material), 500 rpm de rotação dos parafusos e 14% de umidade.

ÍNDICE DE EXPANSÃO DOS EXTRUSADOS DE SORGO

Foi feita determinação do índice de expansão radial, de acordo com Alvarez-Martinez et al. (1988) e Solórzano (2013).

PRODUÇÃO DAS BARRAS DE CEREAIS

Para elaboração das barras a formulação foi feita com os ingredientes: sorgo extrusado, linhaça tostada (120°C por 30 minutos), quinoa expandida (90°C por 5 minutos em panela), flocos de amaranto, sacarose (açúcar comercial), xarope de



glicose e água. A proporção entre calda ligante e ingredientes secos foi fixada em 50:50, definida a partir de testes preliminares.

A partir desta formulação, foi empregado o delineamento fatorial incompleto 3^3 (BOX & BEHNKEN, 1960) tendo como variáveis independentes a proporção de sorgo na mistura de grãos (X_1), o percentual de substituição de xarope de glicose por inulina (X_2) e o percentual de substituição de sacarose por sorbitol (X_3). Foram realizados 16 ensaios, dos quais 4 foram as repetições no ponto central.

Os ingredientes da calda foram previamente pesados, de acordo com as respectivas proporções, e aquecidos sob agitação até que fosse observado desprendimento das primeiras bolhas. A partir deste momento, foi mantida a agitação e o aquecimento por 2 minutos.

A mistura de grãos e sorgo extrusado foi adicionada e misturada à calda ainda quente (temperatura de aproximadamente 95°C) de uma só vez, sendo a mistura homogeneizada para distribuição adequada da calda e recobrimento dos grãos. Em seguida, a mistura resultante foi enformada e prensada, por 24 horas, sob peso de 10 kg. Após este período, as barras foram cortadas em formato retangular com dimensões de 3 cm x 10 cm, a altura das barras variou de acordo com cada formulação produzida.

CARACTERIZAÇÃO DAS BARRAS DE CEREAIS

DETERMINAÇÃO DA TEXTURA INSTRUMENTAL

A textura instrumental das barras de cereais foi determinada texturômetro modelo TA XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra), de acordo com



Rodrigues (2013), Kim et al. (2009) e orientações disponíveis no guia do equipamento. Foram realizados os testes resistência à flexão (tensão), utilizando a sonda Three Point Bending (HDP/3PB) (pré teste 1,0mm/s; velocidade de teste 3,0mm/s) e resistência ao corte (cisalhamento), utilizando a sonda Blade Set Knife (HDP/BSK) (pré teste 1,0mm/s; velocidade de teste 3,0mm/s), ambos com 20 repetições para todas as formulações do delineamento, a formulação controle e uma barra comercial.

DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA

A atividade de água foi determinada, em quintuplicata a 25°C, por medida direta em analisador AquaLab modelo Lite (Pullman, EUA), em todas as formulações, incluindo a formulação controle e a amostra comercial.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Foi feita análise de variância (ANOVA), ao nível 5% de probabilidade, utilizando-se o software Statistica 7.0 (Statsoft, Oklahoma, EUA). E a influência das variáveis foi visualizada através dos gráficos de superfície de resposta, elaborados a partir dos modelos, pelo mesmo programa.



OTIMIZAÇÃO DO EXPERIMENTO (FUNÇÃO DESEJABILIDADE)

Foi feita otimização dos tratamentos experimentais utilizando a função desejabilidade (Derringer & Suich, 1980; Ávila et al., 2012; Silva et al., 2013), com base nas respostas (variáveis dependentes). Para esta otimização, foram feitas as restrições, tomando-se como referência as respostas obtidas para a amostra comercial (barra de cereal light). O resultado obtido na otimização (desejabilidade), foi adotado como a formulação final para o presente estudo. A partir destes, foram produzidas novas barras com a formulação indicada e estas encaminhadas para composição nutricional, determinação da atividade antioxidante, digestibilidade proteica e teste sensorial de aceitação do produto. Os métodos analíticos utilizados para estas determinações seguiram o mesmo apresentado para as análises nas matérias primas.

ANÁLISE SENSORIAL

O teste sensorial de aceitação global e de intenção de compra (Meilgaard et al., 1991) da formulação otimizada da barra de cereal foi conduzido com a participação de 82 provadores (Hough et al., 2006), utilizando escala hedônica estruturada de 9 pontos para a aceitação global, variando de desgostei extremamente a gostei extremamente e de 7 pontos para a intenção de compra, variando de certamente não compraria a certamente compraria. A formulação controle (sem substituição dos ingredientes da calda e com a mesma proporção de flocos de sorgo que a amostra avaliada) foi usada como *dummy*, a fim de minimizar o efeito de primeira amostra. O cálculo do índice de aceitação foi realizado de acordo com Peuckert et al., 2010 e Feddern et al., 2011. O projeto que compreende o presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em



Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), registrado sob o número CAEE 03591312.0.0000.5149.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULA

A moagem dos grãos integrais resultou em uma farinha fina e, segundo Altan et al. (2009), a distribuição granulométrica é um fator de qualidade da matéria prima para extrusão. Foi observado diâmetro médio volumétrico ($D[4,3]$) de $55,22\mu\text{m}$ e 90% das partículas ($D[v,0,9]$) apresentaram tamanho inferior a $140\mu\text{m}$. Solórzano (2013), estudando a mesma cultivar de sorgo, obteve partículas com tamanhos maiores que variaram de 106 a $1680\mu\text{m}$. Além da diferença no método de moagem realizado, os estudos apresentavam objetivos diferentes, assim como no processamento, principalmente, pela diferença de diâmetro entre as matrizes utilizadas na extrusão.

COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL

Os valores de composição das matérias-primas estão apresentados na Tabela 1. Os valores encontrados estão próximos aos reportados na literatura. As pequenas diferenças observadas podem ser atribuídas à safra, condição climática e/ou de solo.



Tabela 1. Composição nutricional das matérias-primas.

Amostra	Resultados (g/100g)						Valor calórico (kcal/100g)
	Umidade	Cinzas	Proteínas	Lipídios	Carboidratos	Fibra Alimentar	
Sorgo BRS310	10,98	1,02	9,81	2,55	76,30	10,3	327,11
Linhaça	5,66	3,25	18,59	40,13	11,07	26,96	452,66
Quinoa	10,49	2,50	13,88	4,92	70,56	8,14	341,92
Amaranto*	-	2,05	13,55	6,88	64,40	4,00	373,33

* as informações referentes aos flocos de amaranto foram obtidas do fabricante/distribuidor.

ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Os resultados da atividade antioxidante da farinha de sorgo crua e extrusada, frente ao radical ABTS estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Atividade antioxidante do sorgo cru e extrusado

Amostra	Atividade antioxidante – ABTS ($\mu\text{molTrolox/g}$)
Farinha de sorgo crua	14,33 ^a
Sorgo extrusado	10,23 ^b

Letras diferentes representam diferença significativa (teste de média Tukey, $p \geq 0,05$)

O resultado de atividade antioxidante na farinha crua foi inferior ao valor apresentado na literatura para grãos vermelhos, 53 $\mu\text{molTrolox/g}$ (Awika e Rooney, 2004). Porém, pode-se atribuir esta diferença à ausência de taninos na cultivar avaliada, uma vez que a relação entre o grau de taninos e a atividade antioxidante é



diretamente proporcional (Awika e Rooney, 2004). Observa-se, também, que o processo de extrusão reduziu a atividade antioxidante, porém ainda mantendo 70% da atividade antioxidante inicial. Este comportamento também foi relatado por Chavez (2014) que estudou o processamento de sorgo por extrusão.

CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRUSADOS DE SORGO

A extrusão da farinha de sorgo integral resultou em extrusados amorfos com coloração uniforme. E estes foram caracterizados quanto à atividade antioxidante, conforme apresentado anteriormente e índice expansão radial. Os extrusados apresentaram índice de expansão radial de 13,14, resultado maior do que aqueles obtidos por Solórzano (2013) (7,89), para a mesma cultivar, e por Chávez (2014) (4,42 a 7,69) para outras cultivares de sorgo. Apesar de o processamento ter sido feito nas mesmas condições (temperatura, rotação e umidade) e usando a mesma cultivar de sorgo (BRS 310), a diferença observada entre os índices de expansão observados por Solórzano (2013) e neste trabalho pode estar relacionada aos diferentes tamanhos das matrizes utilizadas. Neste caso, o menor tamanho da matriz de saída do material usada no presente trabalho (0,8 mm) em comparação ao estudo de Solórzano (2013) (3,8 mm) implicou no aumento da pressão do material no interior do equipamento, resultando em maior expansão radial.

BARRAS DE CEREAIS

Na Figura 1. estão as imagens das 16 barras formuladas, a formulação controle e a barra comercial utilizada para comparação. Todas as barras formuladas

apresentaram aspecto homogêneo e coesão, porém, diferiram entre si quanto à altura devido às diferentes densidades dos ingredientes, em especial aos da mistura de grãos.

Figura 1. Barras de cereais



TEXTURA INSTRUMENTAL E ATIVIDADE DE ÁGUA

Os resultados dos dois testes de textura instrumental realizados ofereceram duas respostas distintas:

Firmeza 1 - tensão, dada pela força máxima (N), correspondendo ao momento de fratura/quebra da amostra; Firmeza 2 - cisalhamento ou corte, dada pela força máxima (N) requerida para corte/rompimento da amostra.



FIRMEZA 1 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO /TENSÃO

Os resultados de firmeza 1 variaram de 1,55 a 15,03N. Rodrigues (2013), estudando barras comerciais da cidade de Campinas, obteve resultados entre 9,27e 66,30 N, para a mesma análise. Enquanto que Dutcosky et al. (2007), obtiveram resultados mais próximos dos encontrados no presente trabalho, com valores de 4,28a 17,73 N.

A análise de variância (ANOVA) apontou influência significativa apenas do efeito linear do sorbitol na formulação. O que também foi apontada pela análise dos efeitos, indicando influência significativa direta. Apesar de o sorbitol ser um agente plastificante, isto é, apresenta efeito da redução da força necessária para flexionar e/ou romper a barra, no presente trabalho, foi observado um efeito contrário. Tal influencia pode se dar pela possibilidade de comportamento anti-plastificante do sorbitol, sob determinadas condições. Shimazu et al. (2007) apontam que o efeito antiplastificante do sorbitol é um indicativo de que forte interação entre este e outros biopolímeros esteja ocorrendo. Esta interação reduz a mobilidade molecular e a capacidade de ligação com a água.

FIRMEZA 2 - RESISTÊNCIA AO CORTE / CISALHAMENTO

Os resultados de firmeza 2 variaram de 0,66a 7,36N. Rodrigues (2013) obteve resultados de 24,84 a 39,87 N para barras de cereais com prebióticos e resultados de 27,39 a 55,52 N para barras comerciais. Valores maiores do que os obtidos no presente



estudo. Já Dutcosky et al. (2007) encontraram valores de 2,57 a 11,14 N, mais próximos do que os resultados aqui apresentados.

A estrutura de uma barra de cereais é resultado do tipo e da concentração dos ingredientes que a compõem, além do tamanho e da granulometria destes que, quanto menores resultarão em maior compactação das barras e, conseqüentemente, exigirão maior força necessária ao corte (Silva, 2009). Isto explica a relação inversa observada entre a proporção de extrusado de sorgo e a Firmeza 2, onde a maior quantidade de sorgo, e, por conseqüência, menor quantidade dos demais ingredientes secos, levou a menores valores de força para o corte.

Além disso, como já comentado, observou-se, também, uma relação inversa entre o percentual de sorbitol e a Firmeza 2, ou seja, quanto maior o teor de sorbitol, menor a força necessária para a perfuração da barra. Tal fato que pode ser justificado, também, pela atividade inibidora da cristalização e pela alta umectância apresentadas pelo sorbitol (Damodaran et al., 2010).

ATIVIDADE DE ÁGUA

A influência negativa observada para a quantidade de sorgo pode ser explicada pela maior absorvidade de água deste insumo frente aos demais ingredientes secos usados na formulação, principalmente por estes serem, em sua maioria, grãos íntegros. Outro ponto importante de se observar é o alto teor lipídico (hidrofobicidade) da linhaça, maior componente da mistura dos grãos.



Em relação à influência quadrática direta atribuída ao percentual de sorbitol pode ser, então, justificada pela alta atividade umectante que este poliol apresenta (Damodaran et al., 2010). Além disso, há que se considerar o efeito antiplastificante desempenhado por este poliol, devido a sua interação com um polímero, possivelmente o amido. Tal interação diminui sua capacidade de interação com a água (SHIMAZU et al., 2007).

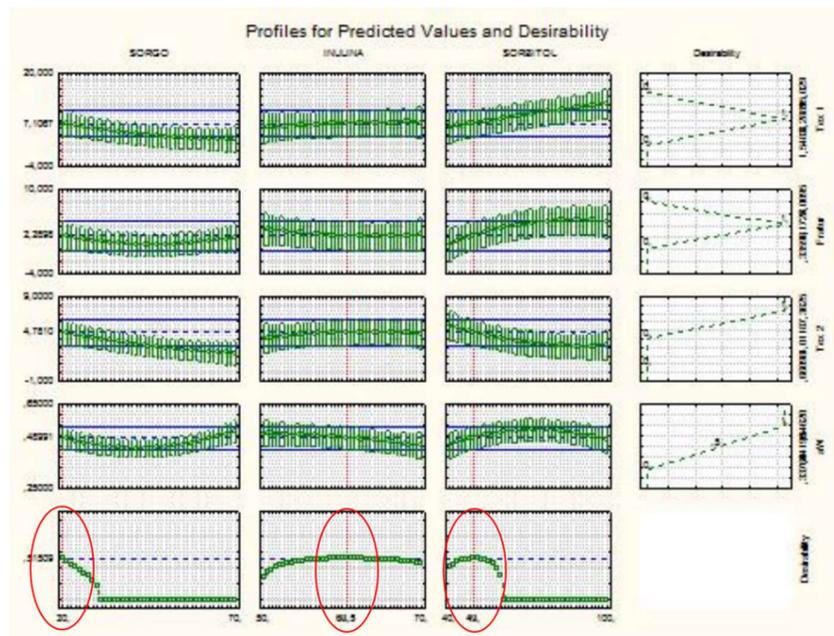
Os resultados para atividade de água variaram de 0,34 a 0,55. Todas as amostras apresentaram atividade de água inferior a 0,60, o que indica estabilidade ao crescimento de microrganismos. Valores de atividade de água acima de 0,60 indicam possibilidade de multiplicação/crescimento de bactérias e fungos (Evangelista, 2003). Rodrigues (2013), estudando barras de cereais comerciais da cidade de Campinas, encontrou valores de atividade de água entre 0,39 e 0,62. A mesma autora, estudando a elaboração de barras com ingredientes prebióticos (inulina e frutooligosacarídeos), encontrou valores de atividade de água entre 0,51 e 0,54.

OTIMIZAÇÃO DO EXPERIMENTO – FUNÇÃO DESEJABILIDADE

Adotando-se como referência os valores das respostas para a barra comercial, a função desejabilidade indicou como formulação otimizada a que apresentasse proporção de 30:70 entre sorgo e mistura de grãos, 60,5% de substituição de xarope de glicose por inulina e 49% de substituição de sacarose por sorbitol, conforme o perfil dos valores preditivos e desejabilidade apresentados na Figura 5.



Figura 2. Perfil dos valores preditivos e desejabilidade das barras de cereais



A nova barra produzida (formulação otimizada) foi avaliada quanto a composição nutricional, atividade antioxidante e aceitação sensorial global e intenção de compra.

COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DA BARRA DE CEREAL

A barra de cereal, formulação otimizada, foi analisada quanto à composição nutricional e os resultados estão apresentados na Tabela 3. Os resultados indicaram um alto teor de fibras.

Para uma melhor observação e avaliação destes resultados, foram feitos os cálculos para uma porção de 20 g, o que corresponde a uma barra de cereal (tamanho e peso comercial). E, para fins de comparação (Tabela 4), foram feitos os cálculos



teóricos da composição nutricional da formulação controle e compilados os dados informados na rotulagem da barra comercial.

Tabela 3. Composição nutricional da barra de cereais

Item	Resultados (g/100g)
Carboidratos*	45,96
Proteínas	8,94
Lipídios	9,36
Cinzas	1,42
Fibra alimentar**	25,49
Valor calórico	318 kcal

*calculado por diferença; **cálculo teórico.

Tabela 4. Composição nutricional da barra de cereais – avaliação comparativa

	Resultados/ porção de 20g = uma barra		
	Barra de cereal	Barra controle*	Barra comercial**
Carboidratos (g)	9,91	14,54	15
Proteínas (g)	1,79	1,43	0,9
Lipídios (g)	1,87	1,69	0,6
Cinzas (g)	0,28	0,22	-
Fibra alimentar (g)	5,09	1,47	0,6
Valor calórico	63,63 kcal	79,03 kcal	69 kcal

*Dados teóricos, calculados em função dos resultados das matérias-primas; **valores obtidos da informação nutricional de rotulagem do produto.

Os resultados observados para fibras 5,09 g/20 g apontam para a possibilidade da Informação Nutricional Complementar (INC) “alto teor de fibras”, uma vez que o valor encontrado é superior ao preconizado pela RDC nº54, mínimo de 5 g por porção (BRASIL, 2012). Além disso, a porção de 20 g da barra de cereal otimizada oferece 3,63 g de inulina, o que permite a alegação de propriedade funcional, de acordo com a RDC nº18, ANVISA (BRASIL, 1999). Assim, a embalagem de uma barra elaborada com esta formulação poderia trazer os dizeres: “A inulina contribui para o equilíbrio da flora intestinal. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.



ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Os resultados da atividade antioxidante da barra de cereais, frente ao radical ABTS, está apresentado na Tabela 5. Para fins de comparação, o resultado de atividade antioxidante do sorgo extrusado, já apresentados anteriormente, está repetido na mesma tabela.

Tabela 5. Atividade antioxidante do sorgo cru, sorgo extrusado e da barra de cereais

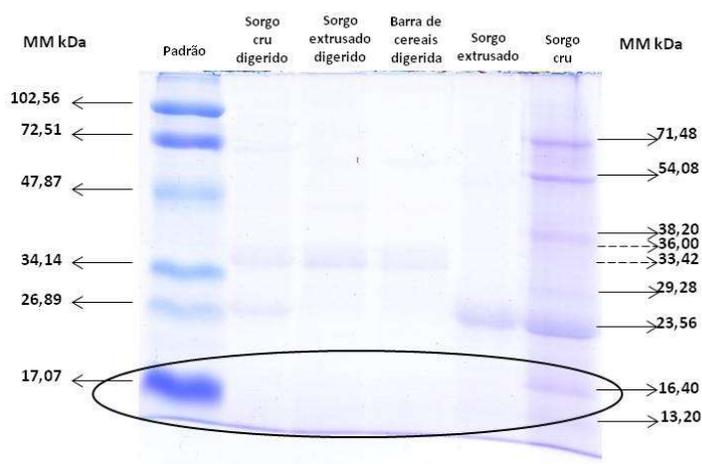
Amostra	Atividade antioxidante ($\mu\text{molTrolox/g}$)
Sorgo extrusado	10,23
Barra de cereais	6,05

Foi obtido resultado de 6,05 $\mu\text{molTrolox/g}$ de atividade antioxidante na barra de cereais elaborada a partir da formulação otimizada. Comparando-se com o sorgo extrusado utilizado no preparo das barras e considerando a quantidade de sorgo (15%) na barra de cereais, o referido resultado indica atividade antioxidante desta quatro vezes maior que a do sorgo. Isto indica que houve contribuição das demais matérias primas utilizadas (linhaça, quinoa e amaranto), para a atividade antioxidante no produto final.

DIGESTIBILIDADE PROTÉICA

Foi realizada análise da digestibilidade das proteínas no sorgo cru, no sorgo extrusado na barra de cereais, após a simulação da digestão e, para fins de comparação, no sorgo cru e extrusado sem simular a digestão *in vitro*. Os resultados (gel) de todas as amostras estão apresentados na Figura 6.

Figura 3. Caracterização do perfil proteico em eletroforese gel SDS/PAGE



A região da figura destacada pela elipse indica a região característica das α -kafirinas, caracterizadas em SDS/PAGE por bandas entre 25,00 e 23,00 MM (Belton et al. 2006). Verificando-se a referida região, é possível observar a presença das bandas nas amostras de sorgo cru e sorgo extrusado sem a digestão *in vitro* e na amostra de sorgo cru após a digestão *in vitro*. As amostras de sorgo extrusado e barra de cereais após a digestão *in vitro* não apresentaram as bandas características das kafirinas, indicando que o processamento por extrusão auxiliou na digestibilidade dessas proteínas. É importante ressaltar que este grupo de proteínas recebe atenção especial nas pesquisas com sorgo, justamente por apresentarem dificuldade em serem digeridas.

ANÁLISE SENSORIAL

O índice de aceitação calculado com base nas respostas de aceitação global, 54,74%, foi inferior ao valor reportado na literatura para que a amostra seja



considerada aceita, 70% (Santos et al., 2010). Apesar disso, pode-se considerar a amostra como satisfatória, visto que cerca de 50% dos provadores declararam ter “gostado” a “gostado muitíssimo” da barra de cereal. Dos 82 provadores, 50% responderam positivamente (5 a 7 da escala) à intenção de compra da barra de cereal. Os percentuais de aceitação global e intenção de compra observados no teste podem ser atribuídos ao fato de o produto não apresentar similares no mercado, principalmente quanto ao sabor apresentado pelo sorgo. Outro fator que pode ser considerado é o menor dulçor apresentado pela amostra.

4. CONCLUSÕES

Para otimização da produção das barras, obteve-se uma formulação com proporção 30:70 entre extrusados de sorgo e mistura de grãos, 60,5% de substituição de xarope de glicose por inulina e 49% de substituição de sacarose por sorbitol, considerando a formulação base definida neste estudo. A barra de cereal produzida com esta formulação apresentou alto teor de fibras e possibilidade de alegação de propriedade funcional (dados teóricos da inulina), em atendimento às legislações vigentes.

Devido as matérias primas utilizadas em adição ao sorgo, a barra de cereais formulada apresentou atividade antioxidante quatro vezes maior do que se fossem usadas outras que não apresentassem esta atividade, considerando as proporções de mistura utilizadas.

O processamento por extrusão contribuiu para melhoria da digestibilidade das proteínas do sorgo, em especial as α -kafirinas.



O teste sensorial de aceitação global e intenção de compra apresentou índice de aceitação de 54%. Dos 82 provadores participantes, 50% responderam terem gostado da amostra e que a comprariam.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altan, A., McCarthy, K.L., Maskan, M. (2009) Effect of Extrusion Cooking on Functional Properties and *in vitro* Starch Digestibility of Barley-Based Extrudates from Fruit and Vegetable By-Products *Journal of Food Science*, 74, 77 – 86.

Alvarez Martinez, L., Kondury, K.P., Harper, J.M. (1988) A general mode for expansion of extrudate products *Journal of Food Science*, v 58.

AOAC (2009) Official methods of analysis AOAC.18 ed. Maryland: Gaithersburg.

Ávila, R., Ascheri, D.P.R., Ascheri, J.L.R. (2012) Caracterização dos rizomas filhos e da fécula do mangarito e *Xanthosoma mafaffa Schott* elaboração de filmes biodegradáveis. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v.30, p. 35-52.

Awika, J.M.; Rooney, L.W. (2004) Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, v. 65, p. 1199-1221.

Belton, P.S., Delgadillo, I., Halford, N.G., Shewry, P.R. (2006) Kafirin structure and functionality. *Journal of Cereal Science* n. 44, p. 272–286.

Box, G. E. P., Behnken D. W. (1960) Some New Three Level Designs for the Study of Quantitative Variables *Technometrics* Vol. 2, No. 4.



Brasil (2012). Resolução RDC nº 54 dispõe sobre Regulamento técnico sobre informação nutricional complementar. Disponível em <http://portal.anvisa.gov.br>

Brasil. (1984) Ministério da Agricultura, Portaria nº268. Normas de identidade, qualidade, apresentação e embalagem do Sorgo. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=141972274>

Capriles, V.D. (2009) – Otimização de propriedades nutricionais e sensoriais de produtos à base de amaranto enriquecidos com frutanos, para intervenção em celíacos. São Paulo: USP. Tese, Universidade de São Paulo.

Chavez, D., Ascheri, J., Martins, A., Carvalho, C., Bernardo, C., Teles, A. (2018) Sorghum, na alternative cereal for gluten-free product. Revista Chilena de Nutricion, 45(2), p. 169-177.

Chavez, D.W.H. (2014) Efeito do processamento por extrusão de farinhas mistas de pó de café e sorgo sobre as propriedades físico-químicas e capacidade antioxidante. Seropédica: UFRRJ. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Damodaran, S., Parkin, K.L., Fennema, O.R. (2010) Química de Alimentos de Fennema, 4 ed. Editora Artmed.

Derringer, G.C., Suich, R. (1980) Simultaneous optimization of several responses variables. Journal of Quality Technology, v.12, p. 214-219.

Dewar, D., Pereira, S.P., Ciclitira, P.J. (2004) – The pathogenesis of coeliac disease, International Journal of Biochemistry & Cell Biology, v. 36, p. 17-24.



Dicko, M.H.; Gruppen, H.; Traoré, A.S.; Voragen, A.G.J.; Berkel, W.J.H. (2006) Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of Biotechnology*, v.5, n.5, p.384-395.

Dutcosky, S.D. (2007) *Análise sensorial de alimentos*, Champagnat: Curitiba.

Evangelista, J. (2013) *Tecnologia de alimentos*. Atheneu: São Paulo.

Farinazzi-Machado, F.M.V.; Barbalho, S.M.; Oshiwa, M.; Goulart, R.; Pessan Junior, O. (2012) Use of cereal bars with quinoa (*Chenopodium quinoa W.*) to reduce risk factors related to cardiovascular diseases. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 32, p. 239-244.

Feddern, V. Durante, V.V.O., Miranda, M.Z., Mellado, M.M.S (2011) Avaliação física e sensorial de biscoitos tipo cookie adicionados de farelo de trigo e arroz *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 14, p 267 – 274, Campinas.

Hough, G., Wakeling, I., Mucci, A., Chambers, E., Gallardo, I.M., Alves, R.L. (2006) Number of consumers necessary for sensory acceptability tests. *Food Quality and Preference*, n. 17, p. 522-526.

Kim, E.H.J, Corrigan, V.K., Hedeerley, D.I., Motoi, A.J.W, Morgenstern, M.P. (2009) Predicting the sensory texture of cereal snack bars using instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, v. 40, p. 457–481.

Kupper, C. (2005) - Dietary Guidelines and Implementation for Celiac Disease, *Gastroenterology*, n 128, 121-127.

Laemmli, U. K. (1970) Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, v. 33, p. 680-685.



Meilgaard, M. Civille, G.V., Carr, B.T. (1991) Sensory evaluation techniques. BocaRaton: CRC Press, v. 2.

Mendonça, S., Saldiva, P.H., Cruz, R.J., Arâas, J.A.G. (2009) Amaranth protein presents cholesterol-lowering effect, Food Chemistry, n. 116 p. 738-742.

Mertz, E.T., Hassen, M.M., Cairns-Whittern, C., Kirleis, A.W., TU, L.,

Axtell, J.D., (1984) Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, v.81, p.1-2.

Mesa-Stonestreest, N. J.; Alavi, S.; Gwartz, J. (2012) Extrusion-enzyme liquefaction as a method for producing sorghum protein concentrates. Journal of Food Engineering, v. 108, p. 365-375.

Murray, M.G., Thompson, W.F. (1980) Rapid isolation of high molecular weight plant DNA, Nucleic Acids Research, n. 8, p. 4321-4325.

Ohsawa, K.; Satsu, H.; Ohki, K.; Enjoh, M.; Takano, T.; Shimizu, M. (2008) Producibility and digestibility of antihypertensive β -casein tripeptides, Val-Pro-Pro and Ili-Pro-Pro, in the gastrointestinal tract: Analyses using an in vitro model of mammalian gastrointestinal digestion. Journal of Agricultural and Food Chemistry., v. 56, p. 854-858.

Overveld F, Haenen G, Rhemrev J., Bast A, Vermeiden J. Tyrosine as important contributor to the antioxidant capacity of seminal plasma. Chemico-Biological Interactions. 127 151-161, 2000.



Paiva, C. L, Queiroz, V.A.V., Garcia, M.A.V.T., Technological, sensory and chemical characteristics of gluten-free pasta made from sorghum and corn flours. *Braz. Journal of Food Technology*. vol.22 Campinas, 2019

Peuckert, Y. P.; Vieira, V. B.; Hecktheuer, I. H. R.; Marques, C. T.; Rosa, C. S. (2010) Caracterização e aceitabilidade de barras de cereais adicionadas de proteína texturizada de soja e camu-camu (*Myrciaria dubia*). *Alimentos e Nutrição*, v.21, n.1, p.147-152.

Rodrigues, C.S. (2013) Desenvolvimento de barras de cereais com ingredientes prebióticos e probióticos. Campinas:UNICAMP. Dissertação. Universidade Estadual de Campinas

Shimazu, A.A., Mali, S., Grossmann, M.V.E. (2007) Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca *Ciências Agrárias*, 28, p 79-88, Londrina.

Silva, M.C., Ascheri, D.P.R., Carvalho, C.W.P., Galdeano, M.C., Andrade, C.T. (2013) Characterization of cassava starch processed in a internal mixer. *Polímeros*, v. 23, n. 6, p. 725-732.

Silva. I. Q., Oliveira, B.C.F., Lopes, A.S., Pena, R.S. (2009) Obtenção de barra de cereais adicionada do resíduo industrial de maracujá *Alimentos e Nutrição Araraquara* v. 20, n.2, p. 321-329.

Solórzano, J.W.V. (2013) Obtenção e caracterização de farinha extrudada de diferentes genótipos de sorgo para o desenvolvimento de biscoitos doces. Seropédica: UFRRJ. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Solórzano, J.W.V. (2012) Obtenção e caracterização de expandidos e farinha



instantânea de sorgo no desenvolvimento de biscoitos doces. Seropédica: UFRRJ.

Projeto de Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Strandas, C.; Kamal-Edin, A.; Anderson, R.; Aman, P. (2008) Composition and properties of flaxseed phenolic oligomers. Food Chemistry, v. 110, p. 106-112.