



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de São José do Rio Preto

SUZANE MARTINS FERREIRA

Cereal matinal de grits de milho adicionado de inulina: caracterização química, física, tecnológica e sensorial e determinação da resposta glicêmica

São José do Rio Preto
2020

SUZANE MARTINS FERREIRA

Cereal matinal de grits de milho adicionado de inulina: caracterização química, física, tecnológica e sensorial e determinação da resposta glicêmica

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: FAPESP – Processo: 2017/21951-4

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Conti e Silva
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Vanessa Dias Capriles

São José do Rio Preto
2020

F383c Ferreira, Suzane Martins

Cereal matinal de grits de milho adicionado de inulina: caracterização química, física, tecnológica e sensorial e determinação da resposta glicêmica / Suzane Martins Ferreira. -- São José do Rio Preto, 2020

103 f. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Ana Carolina Conti e Silva

Coorientadora: Vanessa Dias Capriles

1. Frutanos. 2. Extrusão termoplástica. 3. Metodologia de superfície de resposta. 4. Índice glicêmico. 5. Aceitação sensorial. I. Título.

SUZANE MARTINS FERREIRA

Cereal matinal de grits de milho adicionado de inulina: caracterização química, física, tecnológica e sensorial e determinação da resposta glicêmica

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: FAPESP – Processo: 2017/21951-4

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Conti e Silva
UNESP – São José do Rio Preto/SP
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Andréa Carvalheiro Guerra Matias
MACKENZIE – São Paulo/SP

Prof^a. Dr^a. Caroline Joy Steel
UNICAMP – Campinas/SP

Prof. Dr. Márcio Caliari
UFG – Goiânia/GO

Dr^a. Michele Eliza Cortazzo Menis Henrique
UNICAMP – Campinas/SP

São José do Rio Preto
25 de setembro de 2020

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Elson e Suzanita, com todo meu amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me permitido realizar mais essa grande conquista na parte profissional e por ter me dado saúde, força e perseverança para trilhar essa jornada.

Aos meus pais, Elson e Suzanita, por todo amor incondicional e carinho que sempre tiveram comigo. Presentes em todos os momentos, mesmo na distância, com suas orações e palavras confortantes.

À minha irmãzinha Patrícia, pelo incentivo e carinho nas horas mais precisas, sempre me apoiando e incentivando.

A toda minha família, tios e primos, que sempre torceram por mim e estiveram em oração para que tudo corresse bem.

A todos meus amigos, pela força, incentivo e palavras de conforto.

À minha grande orientadora Ana Carolina, por todos ensinamentos, da parte acadêmica e da vida, minha eterna admiração e gratidão por todo esse tempo em que passamos juntas. Obrigada por sempre acreditar em mim e não deixar que eu desistisse nos momentos mais difíceis. Levo uma grande amiga para vida.

À minha co-orientadora Vanessa, por todo ensinamento e suporte, mesmo à distância, sempre muito presente em tudo.

À minha grande amiga e companheira de trabalho Vania, que foi primordial para escolha desse doutorado, onde sempre me apoiou e incentivou a todo instante, inclusive me acompanhando na estrada e no dia a dia.

Aos meus amigos Ana Paula, João Paulo, Luciana, por terem me auxiliado e me apoiado durante o doutorado.

À minha querida irmã de coração Talita, pelos ensinamentos e momentos de muitas risadas, choros e muita gratidão por tudo que passamos juntas.

À Michele e João Paulo, pela amizade e parceria durante as extrusões e em momentos de muita alegria.

Ao querido Leonardo, meu companheiro de laboratório, onde surgiu uma grande amizade, muita admiração e parceria durante esse tempo.

Aos queridos amigos de laboratório, Carol, Denise, Juliana (*in memoriam*), Julaísa, Lara, Liara, Liliane e Mélanie, pelo companheirismo e por todos os momentos de muita emoção que vivenciamos nesse período. E os agregados Natália, Patrícia Dodorico, Mariana Garcia, João Marcos pela amizade e apoio durante as análises.

Ao Mateus, pela parceria e amizade durante as extrusões, que sempre quando podia estava ao meu lado, auxiliando na parte técnica e não deixando que eu desistisse.

Às queridas amigas Iasnaia, Larissa, Mariana e Tatiane por me acolherem em suas casas com tanto amor e carinho, pelo apoio e amizade nos dias mais difíceis, onde me fizeram permanecer e terminar essa conquista.

À Equipe de Alimentos do IFgoiano Campus Morrinhos, Ana Paula, Ellen, Erlon, Dayana, Josianny, Patrícia, Vania e Wiaslan por todo apoio, amizade e compreensão nesses quatro anos do doutorado. Sem esse apoio, não teria sido possível a realização desse sonho. A todos os professores e técnicos administrativos pelo apoio e incentivo.

Ao IFgoiano Campus Morrinhos pela liberação para capacitação e incentivo para realização desse doutorado. Por todo apoio da Direção de Ensino, professores Luciano e Dayana, que sempre procuraram atender as solicitações necessárias para finalização das análises, com todo carinho e compreensão.

A todos os meus alunos do curso Técnico em Alimentos Integrado ao Ensino Médio e do curso Superior de Tecnologia em Alimentos, que sempre me incentivaram e apoiaram, não deixando que eu desistisse.

As técnicas Alana e Tânia, pelo suporte, aprendizado e pelo carinho, onde os dias se tornavam mais leves.

Aos queridos Natália e Luiz, pela boa conversa e pelo delicioso cafezinho que nos acolhia nos momentos mais difíceis.

À Flávia e a Profa. Célia pelo auxílio nas análises de RVA e análises no laboratório de cereais. Ao querido Jefferson, que me auxiliou nos resultados.

Aos professores do Exame Geral de Qualificação e da Comissão Examinadora da minha defesa de Tese, pelas valiosas contribuições para a melhoria do trabalho final.

Ao meu grupo do índice glicêmico, alunos e amigos que estiveram ao meu lado sempre me incentivando, alegrando os meus dias e em meio às dificuldades, continuaram participando da pesquisa até o final.

À Beneo Orafti, pela doação da matéria-prima utilizada no projeto.

Ao IBILCE e professores do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA), pela oportunidade de aprendizado e de realização deste trabalho.

Agradeço à FAPESP pelo financiamento do projeto, sob o processo nº 2017/21951-4, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

“A melhor maneira de mostrar sua gratidão a Deus e às pessoas é aceitar tudo com alegria. A alegria é a força.”

Madre Teresa de Calcutá (2017, p. 41)

RESUMO

A inulina é uma fibra alimentar interessante, pois tem sido utilizada como ingrediente para substituir parcialmente as farinhas amiláceas em produtos panificados como massas, confeitaria, pães, molhos e sobremesas, devido ao seu potencial de melhorar as propriedades tecnológicas, a qualidade nutricional dos produtos e reduzir a resposta glicêmica. O processo de extrusão termoplástica é bastante utilizado para produção de cereais matinais, os quais vêm ganhando espaço cada vez maior na alimentação dos brasileiros pela sua praticidade, sabores e tipos que agradam todas as idades, além de oferecerem conveniência e produtos mais saudáveis aos consumidores. Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver cereais matinais de grits de milho adicionado de inulina, com adequadas características químicas, físicas, tecnológicas e sensoriais, e que possuam valor nutritivo e funcional agregados para redução da resposta glicêmica. As variáveis independentes do delineamento composto central rotacional foram a umidade da mistura 'grits de milho e inulina' (11,5, 12,5, 15,0, 17,5 e 18,5%) e adição de inulina (5,1, 8,0, 15,0, 22,0 e 24,9%), totalizando 11 ensaios. Os cereais matinais apresentaram taxa de expansão adequada e com manutenção da textura após adição do leite. O aumento dos níveis de inulina aumentou o teor de frutanos totais e reduziu a força de corte após a adição do leite, embora junto com o aumento da umidade da mistura 'grits de milho e inulina' resultou em maiores perdas no teor de frutanos totais. A diminuição na adição de inulina e o aumento da umidade da mistura 'grits de milho e inulina' aumentou os parâmetros de cor (croma e tom) e as propriedades da pasta (viscosidade final e tendência à retrogradação). Dois ensaios do delineamento experimental (15% de umidade/15% de inulina - ponto central) e (18,5% de umidade/15% de inulina), juntamente com o cereal controle (extrusado com 15% de umidade, mas sem inulina), foram analisados quanto às suas características físicas e químicas, aceitação sensorial, resposta glicêmica e índice de saciedade. A adição de inulina não prejudicou as propriedades físicas dos cereais matinais, como razão de expansão, densidade, força de corte e cor. Além disso, a adição de inulina manteve a aceitação dos produtos, bem como teve impactos positivos na aceitação sensorial. Os extrusados com inulina apresentaram alto teor em fibras e carga glicêmica moderada, ao contrário do extrusado controle que apresentou baixo conteúdo de fibras e alta carga glicêmica. Não houve diferenças no índice de saciedade promovido pelos produtos. Concluindo, a produção de cereais matinais por meio da extrusão de grits de milho e inulina é viável e promissora, proporcionando produtos com frutanos na composição e contribuindo

para o consumo de cereais matinais enriquecidos com fibras alimentares e, portanto, com valor nutritivo agregado.

Palavras-chave: Frutanos. Extrusão termoplástica. Metodologia de Superfície de Resposta. Índice glicêmico. Carga glicêmica. Aceitação sensorial.

ABSTRACT

Inulin is an interesting dietary fiber, because it is been used as an ingredient to partially replace starchy flours in foods such as pasta, confectionery, breads, sauces and desserts, as they have the potential to improve technological properties, nutritional quality of products and reduce glycemic response. Thermoplastic extrusion process is widely used for the production of breakfast cereals, which are gaining space in the food of Brazilians due to their practicality, flavors and types that please all ages, in addition of offering convenience, and healthier products to consumers. Thus, the objective of this study was to develop breakfast cereals from corn grits added with inulin, with specific, physical, technological and sensory characteristics, and which have aggregated nutritional and functional value to reduce the glycemic response. The independent variables of the central rotational composite design were the moisture of the mixture 'corn grits and inulin' (11.5, 12.5, 15.0, 17.5 and 18.5%) and addition of inulin (5.1, 8.0, 15.0, 22.0 and 24.9%), totaling 11 assays. The breakfast cereals showed adequate expansion ratio and maintenance of texture after milk addition. The increase in the addition of inulin increased the total fructans and reduced the cutting force after the addition of milk, although together with the increase in the moisture of the mixture 'corn grits and inulin' resulted in greater losses in the content of total fructans. The decrease in the addition of inulin and the increase in moisture of the mixture 'corn grits and inulin' increased the color parameters (chroma and hue) and the properties of the mass (final viscosity and tendency to retrograde). Two assays from the experimental design (15% moisture/15% inulin - central point) and (18.5% moisture/15% inulin), together with the cereal control (extruded with 15% moisture but without inulin), were analyzed regarding its physical and chemical characteristics, sensory acceptance, glycemic response and satiety index. The addition of inulin did not affect the physical properties of breakfast cereals, such as expansion ratio, density, cutting force and color. In addition, inulin maintained the product acceptance, as well as having positive impacts on sensory acceptance. The extrudates with inulin showed high fiber content and moderate glycemic load, in opposite to the control extrudate, which presented low fiber content and high glycemic load. There was no difference in the satiety index promoted by the products. In conclusion, the production of breakfast cereals through the extrusion of corn grits and inulin is feasible and promising, providing products with fructans in their composition and contributing to the consumption of breakfast cereals with dietary fibers and, therefore, with added nutritional value.

Keywords: *Fructans. Thermoplastic extrusion. Response Surface Methodology. Glycemic index. Glycemic load. Sensory acceptance.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Ficha para avaliação da fome e saciedade promovidas pelos produtos avaliados.....	42
Figura 2. Ficha de avaliação sensorial dos cereais matinais.....	44
Figura 3. Teor de frutanos totais (A), perda de frutanos (B) dos extrusados, umidade dos extrusados (C) e dos cereais matinais (D) em função da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e da adição de inulina ao grits de milho.....	50
Figura 4. Disposição bidimensional dos cereais matinais do delineamento experimental (A) e cereal matinal controle (B).....	52
Figura 5. Força de corte após adição de leite dos cereais matinais em função da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e da adição de inulina.....	55
Figura 6. Parâmetros de cor dos cereais matinais em função da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e da adição de inulina.....	60
Figura 7. Viscosidade final e tendência à retrogradação dos cereais matinais em função da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e da adição de inulina.....	63
Figura 8. Cereais matinais utilizados no teste de aceitação sensorial.....	65
Figura 9. Curvas de resposta glicêmica dos extrusados com e sem adição de inulina, em comparação ao pão branco.....	70
Figura 10. Índice glicêmico do pão branco e dos extrusados controle e com adição de inulina.	70
Figura 11. Carga glicêmica dos extrusados controle e com adição de inulina.....	71
Figura 12. Curvas de saciedade dos extrusados com e sem adição de inulina em comparação ao pão branco.....	72
Figura 13. Índice de saciedade do pão branco e dos extrusados.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Delineamento composto central rotacional.....	32
Tabela 2. Características químicas (média $\pm$ desvio padrão; n = 3) dos extrusados/cereais matinais do delineamento experimental e do controle.....	47
Tabela 3. Modelos matemáticos para as características químicas dos extrusados/cereais matinais.....	48
Tabela 4. Propriedades físicas (média $\pm$ desvio padrão; n = 12) dos cereais matinais do delineamento experimental e do controle.....	53
Tabela 5. Modelo matemático para força de corte após adição em leite dos cereais matinais.....	54
Tabela 6. Parâmetros de cor (médias $\pm$ desvio padrão; n = 4) dos cereais matinais do delineamento experimental e do controle.....	56
Tabela 7. Modelos matemáticos para os parâmetros de cor dos cereais matinais.....	57
Tabela 8. Índices de absorção e de solubilidade em água e em leite (média $\pm$ desvio padrão; n = 3) dos cereais matinais do delineamento experimental e do controle.....	60
Tabela 9. Propriedades de pasta (média $\pm$ desvio padrão; n = 2) dos cereais matinais do delineamento experimental e do controle.....	62
Tabela 10. Modelos matemáticos para as propriedades de pasta dos cereais matinais.....	63
Tabela 11. Propriedades físicas dos cereais matinais.....	66
Tabela 12. Composição centesimal (g/100 g) (média $\pm$ desvio-padrão; n = 3; n = 2 para fibras) dos extrusados.....	68
Tabela 13. Porções dos alimentos contendo 25 g de carboidratos disponíveis e utilizados para realização do teste de índice glicêmico.....	69
Tabela 14. Aceitação sensorial (média $\pm$ desvio padrão; n = 90) dos cereais matinais.....	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Extrusão termoplástica.....	18
3.2 Cereais matinais.....	20
3.3 Frutanos tipo inulina.....	23
3.4 Resposta glicêmica.....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1 Material.....	30
4.2 Ajuste da umidade da mistura ‘grits de milho + inulina’	30
4.3 Extrusão da mistura ‘grits de milho + inulina’	31
4.4 Análise das características químicas dos extrusados/cereais matinais.....	33
4.4.1 Teor de frutanos totais nos extrusados e perda de frutanos totais.....	33
4.4.2 Teor de umidade dos extrusados e dos cereais matinais.....	33
4.5 Análise das propriedades físicas dos cereais matinais.....	34
4.5.1 Razão de expansão.....	34
4.5.2 Densidade.....	34
4.5.3 Força de corte com e sem adição de leite.....	34
4.5.4 Parâmetros de cor.....	36
4.6 Análise das propriedades tecnológicas dos cereais matinais.....	35
4.6.1 Índice de solubilidade em água e índice de absorção em água.....	36
4.6.2 Índice de solubilidade em leite e índice de absorção em leite	36
4.6.3 Propriedades de pasta.....	37
4.7 Seleção de algumas condições de extrusão para continuidade do estudo.....	38
4.7.1 Análise das características químicas dos extrusados.....	38
4.7.2 Análise das propriedades físicas dos cereais.....	39
4.7.3 Análise da resposta glicêmica dos extrusados.....	39
4.7.4 Índice de saciedade.....	41
4.7.5 Análise da aceitação sensorial dos cereais matinais.....	43

4.8 Análises estatísticas.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1 Características químicas dos extrusados/cereais matinais.....	46
5.2 Propriedades físicas dos cereais matinais.....	51
5.3 Propriedades tecnológicas dos cereais matinais.....	59
5.4 Seleção de algumas condições de extrusão para continuidade do estudo.....	63
5.5 Propriedades físicas dos cereais matinais.....	66
5.6 Características químicas dos extrusados.....	67
5.7 Resposta glicêmica dos extrusados.....	68
5.8 Índice de saciedade dos extrusados.....	72
5.9 Aceitação sensorial dos cereais matinais.....	73
6 CONCLUSÃO.....	76
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
REFERÊNCIAS.....	78
APÊNDICE A – TESTES PRELIMINARES PARA DEFINIÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E CONDIÇÕES DE EXTRUSÃO.....	87
APÊNDICE B - RECRUTAMENTO DE VOLUNTÁRIOS PARA ANÁLISE DA RESPOSTA GLICÊMICA.....	93
APÊNDICE C - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 1...	96
APÊNDICE D - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 2...	98
ANEXO A - FICHA TÉCNICA DA INULINA GR.....	99
ANEXO B - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....	100

1 INTRODUÇÃO

O processo de extrusão termoplástica é bastante utilizado para produção de cereais matinais e tem destaque na indústria de alimentos por ser uma técnica importante. Além de aumentar a variedade de alimentos processados, apresenta vantagens como versatilidade, tecnologia limpa pela redução do impacto ambiental, um custo relativamente baixo quando comparado a outros tipos de processamentos, alta produtividade e produtos com boa aparência, cor, expansão e sabor desejáveis. Os cereais matinais são geralmente produzidos a partir de matérias-primas ricas em amido, como trigo, aveia, milho e arroz, as quais podem ser usadas na forma de farinha, grits e farinhas integrais, isoladas, em misturas entre elas, ou misturadas com outros ingredientes para modificação sensorial do produto ou agregar valores nutricionais e tecnológicos.

Atualmente, muitos cereais matinais são comercializados com alto teor de açúcar em sua composição, mas os consumidores têm buscado o consumo de alimentos mais saudáveis, ricos em fibras. Por isso, cereais matinais também têm sido desenvolvidos como alternativa de produtos saudáveis, pois existe um crescimento no interesse dos consumidores por esses tipos de alimentos, estando especialmente dispostos a pagar mais por produtos que tragam benefícios a sua saúde. Nesse sentido, houve um aumento pela procura por alimentos com baixo índice glicêmico e carga glicêmica, pois têm sido associados à redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes, resistência à insulina, obesidade e doenças cardiovasculares.

A resposta glicêmica dos alimentos pode ser reduzida por meio da substituição de farinhas e amidos refinados por matérias-primas ricas em fibra alimentar, com altos teores de proteína e de amido resistente, efeito combinado da redução da quantidade e da diminuição da velocidade de digestão e absorção de carboidratos disponíveis (amido e açúcares). Assim, a incorporação de fibras alimentares aos alimentos é uma das formas de melhorar a resposta glicêmica dos produtos, sendo os frutanos uma alternativa bastante estudada.

Os frutanos tipo inulina têm sido utilizados como ingrediente em substituição parcial das farinhas ricas em amido em produtos panificados como massas, confeitaria, pães, molhos e sobremesas, pois apresentam potencial para melhorar as propriedades tecnológicas e a qualidade nutritiva dos produtos. No entanto, os potenciais benefícios de produtos adicionados de inulina somente ocorrerão se estes forem saborosos e aceitos sensorialmente pelos consumidores, tornando-se indispensável que o desenvolvimento destes produtos seja

acompanhado de uma profunda avaliação não somente de suas características sensoriais, mas também de suas características químicas, físicas e tecnológicas.

Assim, o principal desafio deste trabalho foi produzir cereais matinais adicionados de inulina, com o objetivo de fornecer conhecimento às áreas de extrusão e de cereais matinais por meio da extrusão de uma matéria-prima rica em fibras alimentares, neste caso a inulina, verificando como essa adição interfere em diversas características dos cereais matinais, e fornecendo uma opção importante para a obtenção de um produto com valor nutritivo e funcional agregado por meio da redução da resposta glicêmica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver cereais matinais de grits de milho adicionado de inulina, com adequadas características químicas, físicas, tecnológicas e sensoriais, e que possuam valor nutritivo e funcional agregados para redução da resposta glicêmica.

2.2 Objetivos específicos

Produzir cereais matinais extrusados a partir da mistura ‘grits de milho e inulina’, utilizando a umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e a porcentagem de adição de inulina como variáveis independentes da Metodologia de Superfície de Resposta e avaliar os efeitos das condições de extrusão nas características químicas, físicas e tecnológicas dos produtos.

Realizar a seleção de alguns ensaios do delineamento experimental com maior teor de frutanos, menor perda de frutanos durante o processo de extrusão e condições tecnológicas desejáveis para verificar o impacto da inulina nas propriedades físicas, composição centesimal, resposta glicêmica, índice de saciedade e aceitação sensorial dos produtos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Extrusão termoplástica

Uma tecnologia amplamente utilizada no processamento de cereais é a extrusão termoplástica. Esta tecnologia tem encontrado um vasto campo de aplicações, seja para a produção de alimentos para o consumo humano ou para o consumo animal. Neste processo, a matéria-prima é cozida e texturizada por ação combinada de umidade, pressão, temperatura e cisalhamento mecânico, os quais levam à formação de uma nova estrutura molecular, gerando uma gama de produtos prontos para o consumo, como *snacks* e cereais matinais, além de ingredientes com grande emprego na indústria de alimentos para aplicação em outros produtos, como alimentos infantis, proteínas vegetais texturizadas, bebidas em pó instantâneas, amidos modificados para uso industrial, cereais prontos para consumo, farinhas instantâneas e amidos pré-gelatinizados utilizados na formulação de sopas de preparo rápido, molhos, produtos de confeitaria e outros (FELLOWS, 2006; FIORDA et al. 2015; LEONARD et al., 2020). Além disso, apresenta muitas vantagens quando comparado a outros sistemas tradicionais de processamento de alimentos, como versatilidade, produtos com diferentes formatos, texturas, cores e sabores, custo relativamente baixo, alta produtividade e produtos de alta qualidade, além de representar um processo ambientalmente seguro, sendo uma tecnologia catalogada como limpa (BISHARAT et al., 2013; GUY, 2001; MERCIER; LINKO; HARPER, 1998).

O processo de extrusão termoplástica é um processo HTST (*High Temperature - Short Time*). A matéria-prima previamente hidratada (10-15% para os amiláceos e 30-40% para materiais proteicos) é colocada no funil de alimentação da extrusora e transportada ao longo de um canhão em única direção e sentido. Ao longo desse caminho, o material é submetido à elevada força de cisalhamento provocada pela rosca e é também exposto a temperaturas da ordem de 120-200 °C. Próximo à saída do canhão, a profundidade do passo da rosca torna-se menor, restringindo o volume e aumentando a resistência ao movimento do alimento, que é comprimido entre o canhão e os passos da rosca. No momento da saída da massa da extrusora, ocorre uma drástica queda da pressão interna (3-5 MPa ou 40-60 atm) para pressão atmosférica, provocando a evaporação da água superaquecida, formando vacúolos e expandindo o material. Nesta fase final, o vapor atua como agente de crescimento, fazendo com que o material se expanda na direção longitudinal e radial, e endureça rapidamente à

temperatura ambiente, conferindo a textura desejada ao produto (FELLOWS, 2006; SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007).

A extrusão termoplástica é uma das tecnologias de processamento mais versáteis e comercialmente bem-sucedidas, o que permite alto grau de controle do usuário sobre os parâmetros de processamento que alteram significativamente a qualidade dos produtos finais (LEONARD et al., 2020). Sabe-se que o cozimento por extrusão modifica o amido em todos os níveis estruturais: a estrutura granular desaparece, os cristais se fundem e as macromoléculas se despolimerizam (BARRON et al. 2000). O amido sofre gelatinização, com destruição parcial ou total da estrutura cristalina, e fusão, por ação do calor e umidade nas ligações de hidrogênio entre as cadeias polissacarídicas firmemente ligadas na estrutura do grânulo. Em condições ideais de umidade da matéria-prima, as ligações de hidrogênio nas regiões amorfas do grânulo, menos ordenadas, são rompidas primeiro, permitindo que a água se associe com grupos hidroxila livres (CAMIRE; CAMIRE, KRUMAR, 1990), proporcionando características de expansão, textura, solubilidade e absorção de água e viscosidade da pasta, que influenciam no produto final (BERK, 2013; DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2008). A água leva ao entumescimento e a aberturas adicionais da estrutura do grânulo. A fusão da fração cristalina resulta num desaparecimento completo da birrefringência, a qual é irreversível. O colapso final do grânulo é notado pela liberação dos conteúdos gelatinizados dentro do meio de cozimento e a viscosidade do meio aumenta rapidamente até que a maioria dos grânulos esteja desmanchada (CAMIRE; CAMIRE, KRUMAR, 1990).

No entanto, uma redução da viscosidade do material pode ocorrer como resultado da ação de cisalhamento intenso, ocasionando a quebra das macromoléculas em moléculas menores (dextrinização). O material amiláceo no estado vítreo, que está na saída da extrusora, expande-se rapidamente e se resfria alcançando temperaturas abaixo do estado de transição vítrea, formando um produto com estrutura porosa. Acredita-se que a estrutura do produto final seja pela interação entre as moléculas de amido e da natureza eletrostática entre os resíduos de glicose. Essa interação é relativamente fraca e os produtos obtidos são muito expandidos e possuem estrutura frágil, que se rompem facilmente na presença de água (ORDÓÑEZ, 2005; FELLOWS, 2006). Assim, a qualidade dos produtos extrusados depende das matérias-primas utilizadas em sua formulação (como composição, tamanho de partícula, umidade), variáveis de processamento (como temperatura, pressão, velocidade de rotação da rosca) e todas as variáveis do equipamento (como conformação mecânica, configuração da rosca, tipo de orifício de saída e dimensões) (OLIVEIRA; SCHIMIELE; STEEL, 2017).

Além da gelatinização do amido, também ocorre hidratação de proteínas, homogeneização do material, fusão de gordura, desnaturação de proteínas, destruição de fatores antinutricionais, inativação enzimática, redução da carga microbiana, plastificação e expansão do material processado para criar novas formas e texturas (BERK, 2013; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; SILVA et al., 2011).

Produtos extrusados são alimentos populares que são apreciados por uma alta porcentagem de consumidores e são apreciados por seus atributos sensoriais específicos, como aparência, aroma, textura, sabor e uma ampla diversidade de formatos. A textura final e outros parâmetros de qualidade dos produtos extrusados dependem, em grande parte, do tipo de matéria-prima utilizada. A pré-gelatinização de farinhas isoladas ou de misturas pode ser feita através de extrusão termoplástica, e estas apresentam características de maiores solubilidade e viscosidade em água fria, podendo ser utilizadas como ingredientes de alimentos instantâneos, rápidos e práticos (CRUZ et al., 2015; JOZINOVIC et al., 2016).

No entanto, as matérias-primas mais utilizadas para extrusão são ricas em amido, como amido de milho, farinha ou grãos, bem como produtos derivados de arroz, devido às suas características superiores de expansão (BISHARAT et al., 2014; PEKSA et al. 2016). Assim, a incorporação de fibra alimentar em produtos extrusados expandidos ainda é limitada em função do aspecto negativo sobre as propriedades de expansão, densidade e textura, (BRENNAN; MONRO; BRENNAN, 2008; ROBIN et al., 2011). Por isso, fazem-se necessários alguns ajustes durante o processo de extrusão que incluem a alteração da umidade da matéria-prima, da vazão de alimentação, a temperatura e velocidade de rotação da rosca, em associação com a composição da matéria-prima, podendo ser cruciais para a obtenção de um produto de qualidade, como os cereais matinais. Neste tipo de produto, além de todas as características desejadas já mencionadas para um produto extrusado, é importante manter sua crocância após a adição de leite (LEORO, 2007; MERCIER, LINKO, HARPER, 1998; VERNAZA; CHANG; STEEL, 2009), uma vez que tal produto é consumido adicionado de leite, mas não exclusivamente.

3.2 Cereais matinais

Cereais matinais são geralmente produzidos a partir de matérias-primas ricas em amido, como trigo, aveia, milho e arroz, e podem ser obtidos por meio da extrusão termoplástica ou da laminação, podendo ser usadas misturas nas formulações desses cereais, na forma de farinha, grits e farinhas integrais, assim como podem ser misturados com outros

ingredientes, para variar a aparência, a textura, o sabor, o aroma e outras características dos produtos (BERK, 2013; SILVA et al., 2011).

O grits de milho é uma das matérias-primas mais utilizadas para a produção de *snacks* e cereais matinais expandidos pelo processo de extrusão termoplástica, pois seu elevado teor de amido lhe confere alta capacidade de expansão. Possui em sua composição cinzas (0,3%), proteínas (7,7%), lipídeos (1,1%) e carboidratos totais (90,9%) (MENIS et al., 2013). Ainda, sua granulometria entre 0,42 e 1,19 mm, mas predominantemente em 0,84 mm, é extremamente importante para obtenção de produtos extrusados com textura crocante e células maiores (EMBRAPA, 2011).

Segundo a legislação brasileira (BRASIL, 2005), produtos de cereais “são os produtos obtidos a partir de partes comestíveis de cereais, podendo ser submetidos a processos de maceração, moagem, extração, tratamento térmico e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos”. Os cereais matinais entram na classificação de cereais processados, que por definição:

“são os produtos obtidos a partir de cereais laminados, cilindrados, rolados, inflados, flocados, extrudados, pré-cozidos e ou por outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos, podendo conter outros ingredientes desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, formato e textura diversos”.

Os cereais matinais geralmente são produtos extrusados, tradicionalmente consumidos com leite (TAKEUCHI; SABADINI; CUNHA, 2005) e considerados um alimento pronto para o consumo, podendo conter altos teores de proteínas, fibras e carboidratos, além de serem enriquecidos com algum tipo de vitamina ou mineral aumentando assim seu valor nutritivo (MIKALOUSKI et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2015). Além disso, conveniência é o principal motivador do crescimento do mercado de cereais matinais. Nos Estados Unidos, Canadá e Reino Unido, os cereais matinais são tão populares que representam 54% do consumo mundial (BASTOS, 2015). No Brasil, a média de consumo de cereal matinal, sejam os extrusados ou os obtidos por laminação, ainda é pequena quando comparada a outros países, sendo de 400 g por domicílio ao ano, enquanto no México chega a 3,2 kg e nos EUA a 9,9 kg (ROLLI, 2018).

Ainda, as vendas de cereais matinais sofreram queda nos últimos anos, tanto com as tendências de baixo teor de açúcar quanto com baixo teor de carboidratos. No entanto, muitas empresas estão descobrindo que podem ganhar vendas em um mercado desafiador usando a inulina para oferecer um benefício de bem-estar digestivo e uma promessa de baixo teor de

açúcar, sendo as duas das maiores tendências de demanda dos consumidores (MELLENTIN, 2019).

Propriedades físicas importantes para a aceitação de cereais matinais obtidos por extrusão são sua expansão, textura e cor, sendo que normalmente uma expansão máxima é desejada para extrusados expandidos, uma vez que estes geralmente apresentam menor dureza, devido ao fato da estrutura interna apresentar células maiores com paredes mais finas. Para cereais matinais, é preciso obter produtos com uma densidade aparente maior, porosidade menor e paredes mais espessas, já que estes produtos serão submetidos à imersão em um meio aquoso, como, por exemplo, o leite, e deverão manter a sua estrutura e textura (dureza e crocância) durante o maior tempo possível, absorvendo menos umidade (HOUGH et al., 2001; LEORO, 2007; MERCIER, LINKO, HARPER, 1998; VERNAZA, CHANG, STEEL, 2009).

Além das propriedades físicas, os índices de absorção e solubilidade em água e em leite, geralmente são avaliadas após o processo, visto que os mesmos são tradicionalmente consumidos imersos em leite (LEORO, 2007; SACCHETI et al. 2003; SACCHETI; PITTIA; PINNAVAIA, 2005). Como o amido é o principal componente em formulações de cereais, à medida em que as fibras alimentares são incluídas, as transformações do amido são alteradas por fatores que vão desde a diluição do amido até a interação amido-fibra-água, quando expostos sob condições de calor e umidade. Como consequência, as propriedades físicas do produto são alteradas, sendo a expansão diretamente afetada (ROBIN et al., 2011). Análises como propriedades de pasta, térmicas e microscopia eletrônica podem ser realizadas para verificar as transformações físicas e estruturais do amido ocorridas durante a extrusão dos cereais matinais, quando comparado com a farinha não processada (OLIVEIRA; ROSELL; STEEL, 2015; TEBA; ASCHIERI; CARVALHO, 2009).

Os cereais matinais atualmente parecem manter uma posição divergente para os consumidores, pois são vendidos como um produto açucarado, mas também como uma alternativa saudável. Existe um crescimento no interesse dos consumidores em alimentos saudáveis, especialmente porque os consumidores estão dispostos a pagar mais por opções mais saudáveis (SPENCE, 2017). O tipo da matéria-prima ou tipos de *blends* utilizados na extrusão desempenham um papel importante na qualidade do produto final. Pensando em alimentos mais saudáveis, a inclusão de fibras dietéticas nos alimentos é extremamente importante, pois as fibras trazem diversos benefícios à saúde (DREHER, 2018). Nesse sentido, diversas pesquisas tem sido realizadas, adicionando diferentes tipos fontes de fibra aos cereais matinais, como farelo de trigo (BRENNAN; MONRO; BRENNAN, 2008;

WÓJTOWICZ et al., 2014), casca de jabuticaba em pó (OLIVEIRA; ROSELL; STEEL, 2015; OLIVEIRA; SCHIMIELE; STEEL, 2017); casca de maracujá (LEORO, 2007; SANTOS et al. 2015; VERNAZA; CHANG; STEEL, 2009) e frutanos do tipo inulina (BRENNAN, et al. 2013; DRABIŃSKA et al., 2016; KATSAVOU et al. 2019; WÓJTOWICZ et al., 2014).

3.3 Frutanos tipo inulina

Os frutanos são carboidratos solúveis não-digeríveis, resistentes à acidez gástrica, à hidrólise pelas enzimas gastrointestinais dos mamíferos e à absorção gastrointestinal, sendo fermentados pela microbiota intestinal e estimulando seletivamente o crescimento e/ou a atividade de bactérias intestinais associadas à saúde e bem-estar, como os lactobacilos e bifidobactérias. Desse modo, os frutanos satisfazem os três critérios necessários para sua classificação como ingrediente alimentar prebiótico. Os efeitos dos prebióticos na saúde estão evoluindo, mas atualmente incluem benefícios para o trato gastrointestinal (por exemplo, inibição de patógenos, estimulação imunológica), cardiometabolismo (por exemplo, redução dos níveis de lipídios no sangue, efeitos sobre a insulina resistência), saúde mental (por exemplo, metabólitos que influenciam a função cerebral, energia e cognição) e osso (por exemplo, biodisponibilidade mineral), entre outros (GIBSON et al., 2017).

Os frutanos são polímeros de frutose linear ou ramificada, ligados por ligações $\beta(2\rightarrow1)$ ou $\beta(2\rightarrow6)$, encontrados, respectivamente, na inulina e nos frutanos do tipo levanos (CARABIN; FLAMM, 1999). De acordo com os mesmos autores, os frutanos do tipo inulina dividem-se em dois grupos gerais: a inulina e os compostos a ela relacionados (α -oligofrutose) e os frutooligossacarídeos (FOS). Basicamente estes grupos diferem entre si somente pelo grau de polimerização, pois são quimicamente similares com as mesmas propriedades nutritivas e vias metabólicas em comum.

A inulina é um polímero composto por unidades de β -D-frutofuranosil, unidas por ligações $\beta(2\rightarrow1)$, sendo que as suas cadeias são frequentemente terminadas, em sua extremidade redutora, com uma unidade de glicose. Seu grau de polimerização é de 10-60, sendo raro ultrapassar 60. Os frutanos do tipo inulina consistindo de DP (*degree of polymerization*) ≥ 10 são considerados de cadeia longa (alto peso molecular) ou inulina HP (*high performance*) enquanto os frutanos do tipo inulina com um DP < 10 são considerados de cadeia curta (baixo peso molecular). Em alguns casos, as revisões deste tópico subdividem ainda mais o grupo com um DP de menos de 10 em agrupamentos de cadeia curta (DP de 2-4)

e de cadeia média (DP de 5-9) (KELLY, 2008). As inulinas de cadeia longa são pouco solúveis, porém apresentam alta viscosidade e são termoestáveis, sendo usadas como substitutas de gordura. Essas propriedades podem ser usadas de forma benéfica para melhorar as propriedades sensoriais de produtos lácteos, por exemplo. O grau de polimerização dos frutanos tipo inulina também interferem na temperatura de transição vítrea, força e formação de gel (LEYVA-PORRAS et al., 2014). A inulina padrão é levemente adocicada (10% de doçura em comparação com o açúcar), combina facilmente com outros ingredientes sem modificar sabores delicados, é moderadamente solúvel em água (máximo 10% à temperatura ambiente) e traz uma viscosidade bastante baixa (FRANK, 2002).

A oligofrutose e os FOS são termos sinônimos utilizados para denominar frutanos do tipo inulina com grau de polimerização inferior a 10. O termo oligofrutose é mais frequentemente empregado na literatura para descrever frutanos obtidos da hidrólise enzimática parcial da inulina, e o termo FOS para aqueles frutanos sintetizados a partir da sacarose (BIEDRZYCKA; BIELECKA, 2004; CARABIN; FLAMM, 1999; FRANK, 2002; GIBSON, 2004; KELLY, 2008; KOLIDA; GIBSON, 2008; LEYVA-PORRAS et al., 2014; ROBERFROID, 2005). Os oligossacarídeos são mais solúveis e doces do que a inulina de cadeia longa e podem contribuir para aumentar a sensação de doçura na boca. Sendo assim, são utilizados como substitutos de açúcar, com menor densidade energética (1-2 kcal/g), e poder dulçor (30–25%) (LEYVA-PORRAS et al., 2014).

Comumente, a inulina é utilizada como prebiótico, substituto de gordura, substituto do açúcar, modificador de textura, estabilidade de emulsão e para o desenvolvimento de alimentos funcionais a fim de melhorar a saúde devido ao seu papel benéfico na saúde gastrointestinal, com ação prebiótica (KELLY, 2008; SHOAIB et al. 2016; BENEIO, 2020). A inulina é frequentemente utilizada como ingrediente em produtos alimentícios para enriquecimento com fibra alimentar e/ou para substituir carboidratos glicêmicos, incluindo açúcares e amido. Fibras alimentares solúveis viscosas retardam a digestão e absorção de carboidratos, devido à formação de um gel que envolve alimentos e secreções digestivas humanas, consequentemente diminuindo a resposta glicêmica dos indivíduos (JENKINS et al., 2002, 2008).

Durante a última década, tem-se estudado a aplicação de frutanos tipo inulina em massas, produtos panificados, molhos e sobremesas. Os frutanos tipo inulina apresentam potencial para melhorar as propriedades tecnológicas e a percepção sensorial dos produtos obtidos, sendo uma boa opção para a melhoria de sua qualidade, aumentando seu conteúdo de fibras, inclusive impulsionando novas pesquisas com ensaios *in vitro* e *in vivo* (CLEIRICI;

STEEL; CHANG, 2011; DRABÍŇSKA et al., 2016; FOSCHIA et al., 2013). Quando usada em produtos de panificação e cereais matinais, a inulina representa grande evolução em comparação com fibras alimentares clássicas, proporcionando maior crocância e expansão em *snacks* e cereais matinais, e também prologando sua vida útil, sendo incorporada em cereais matinais em níveis que variam de 2 a 25%, possibilitando incremento do teor de fibra, crocância e expansão, e potencial prebiótico (FOSCHIA et al. 2013; FRANK, 2002; SHOAIB et al. 2016).

Os frutanos do tipo inulina ocorrem naturalmente em um grande número de plantas e vegetais, dos quais a raiz de chicória é uma fonte particularmente rica. Assim, as inulinas da Beneo-Orafti são extraídas da raiz da chicória, e após o processo de extração, são ainda purificadas para que atinjam os requisitos mais altos de qualidade, como os de nutrição infantil (BENEO, 2020). O produto Orafti®GR é em pó, composto de, aproximadamente, 92% inulina e 8% de glicose e frutose, é considerada como inulina padrão, com grau de polimerização (DP) ≥ 10 e com 10% de poder de dulçor (BENEO, 2019). Optou-se por trabalhar com a inulina GR neste trabalho devido aos bons resultados obtidos em testes preliminares em relação à outra inulina (HP), e também por haver poucos trabalhos na literatura científica com esta inulina. Poucos estudos foram encontrados na literatura científica utilizando inulina GR, sendo que em nenhum foi avaliada a resposta glicêmica em seres humanos. Ainda, nem todos os estudos esclarecem qual o tipo de inulina e ou o DP da mesma para efeitos de comparação.

Han, Tran e Le (2018) estudaram *snacks* de milho com adição de 5% de diferentes tipos de fibras (polidextrose, goma xantana, goma-arábica, inulina GR, amido resistente e maltodextrina), concluindo que todos podem ser usados como fonte de fibra alimentar para o processamento de *snacks* de milho. A adição das fibras alimentares comerciais à mistura de extrusão alterou as propriedades físicas e sensoriais dos *snacks* obtidos, mas a cor do produto permaneceu praticamente constante. Mais estudos sobre a transformação de diferentes tipos de fibras durante a extrusão são essenciais para esclarecer seus impactos nas propriedades físico-químicas dos produtos.

Brennan, Monro e Brennan (2008), em trabalho com adição de 5, 10 e 15% de diferentes tipos de fibras solúveis e insolúveis em produtos extrusados, inclusive inulina (Fibruline), encontraram maior expansão e maior dureza nos extrusados com adição de fibras solúveis do que com fibras insolúveis. Ainda, os autores observaram que as adições de 5% e de 15% de inulina reduziram em 23% e 6% a digestibilidade do amido *in vitro*,

respectivamente. No entanto, hipóteses não foram levantadas pelos autores para justificar tais resultados.

Em estudo a respeito do efeito da adição de fibras sobre a estabilidade e a qualidade de *snacks* de milho, Wójtowicz et al. (2014) observaram que a adição de 20% de inulina aumentou a expansão dos *snacks* em relação aos produzidos com farelos de aveia, trigo e arroz.

Em estudo com adições de 2, 5 e 7% de inulina GR ($DP \geq 10$) e inulina HPX ($DP = 23$) da Beneo-Orafti em *snacks* extrusados obtidos de misturas de farinhas de arroz, milho, soja, arroz e grits de milho, Peressini et al. (2015) encontraram maior dureza e maior expansão nos *snacks* com aumento da proporção de adição de inulina GR na mistura e alegaram que poucos são os trabalhos que adicionaram frutanos tipo inulina GR antes da extrusão para a obtenção de produtos ricos em fibras. Os mesmos autores descrevem que existem poucas informações sobre a estabilidade da inulina em processo de extrusão e ou torrefação, e sua degradação durante o processo deve ser levada em consideração, principalmente quando o frutano é usado como ingrediente funcional em alimentos tratados termicamente, como muitos produtos derivados de cereais.

Os efeitos benéficos da redução da resposta pós-prandial da glicose no sangue pela substituição de carboidratos glicêmicos por frutanos derivados de chicória não digeríveis foram confirmados por vários grupos de pesquisa (LIGHTOWLER et al. 2018). Assim, alimentos que possam ajustar a dieta e que tenham funções promotoras da saúde são sempre importantes (YANG et al. 2017). Dessa forma, a incorporação de fibras alimentares aos alimentos é uma das formas de melhorar a resposta glicêmica dos produtos, sendo os frutanos uma alternativa estudada, apesar de trabalhos com inulina GR e seus efeitos na resposta glicêmica *in vivo* não terem sido encontrados até o momento.

3.4 Resposta glicêmica

A resposta glicêmica, como definição, é a resposta pós-prandial de glicose no sangue (mudança na concentração) provocada quando um alimento ou refeição que contém carboidratos é ingerido. O carboidrato disponível é o carboidrato nos alimentos que é digerido, absorvido e metabolizado como carboidrato, podendo ser considerado como carboidrato líquido ou carboidrato glicêmico (expresso como equivalente de monossacarídeo entre os carboidratos) (FAO, 2013).

O índice glicêmico (IG) e a carga glicêmica resultante (CG) têm sido usados como ferramentas para comparar e classificar os alimentos de acordo com sua resposta glicêmica pós-prandial (RG). O índice glicêmico é definido como um índice entre a resposta glicêmica resultante de uma quantidade fixa de carboidratos disponíveis de um alimento teste para a mesma quantidade de carboidratos disponíveis de um alimento de referência (glicose ou pão branco), quando ambos consumidos pelo mesmo indivíduo. A carga glicêmica é calculada como o produto da quantidade de carboidratos disponíveis em uma porção específica e o valor de IG (considerando a glicose como alimento de referência), e então dividido por 100 (BROUWER-BROLSMA et al. 2019; JENKINS; WOLEVER; TAYLOR, 1981). Tendo a glicose como alimento padrão, o IG do alimento pode ser classificados em baixo (≤ 55), médio (56–69) e alto (≥ 70), e a CG pode ser classificada em baixa (≤ 10), média (11-19) e alta (≥ 20) (ATKINSON; FOSTER-POWELL; BRAND-MILLER, 2008).

O índice glicêmico da dieta e a carga glicêmica são índices usados para quantificar, respectivamente, o efeito da qualidade e da quantidade de carboidratos na glicemia pós-prandial, e os efeitos dos dois índices na saúde são amplamente estudados. A maioria dos alimentos consumidos em nações industrializadas contém carboidratos de baixa qualidade nutritiva, por exemplo, altos em IG e CG, pobres em fibra alimentar e densos em valor energético. Nestes casos, os alimentos são rapidamente digeridos, absorvidos e podem aumentar os riscos de níveis elevados de glicose no sangue e picos insulinêmicos. À medida que o sobrepeso, a obesidade e a resistência à insulina se tornaram mais prevalentes em nível mundial, as preocupações com a quantidade e o tipo de carboidrato consumido aumentaram, uma vez que evidências têm mostrado que algumas fontes de carboidratos podem ser benéficas, enquanto outras não, dependendo de sua resposta glicêmica e conteúdo de fibra (AUGUSTIN et al. 2015). Estudos mostram que as dietas com um alto IG, alta CG, ou ambos, aumentam o risco de doenças crônicas não transmissíveis relacionadas ao estilo de vida em todo o mundo, como diabetes, doenças cardiovasculares e obesidade, e apresentam relevante associação com uma dieta desequilibrada (BARCLAY et al. 2008; BRAND-MILLER; BUYKEN, 2020).

Uma das estratégias para a redução da resposta glicêmica é a incorporação de fibras alimentares na formulação de produtos alimentícios. Desta forma, os cientistas e a indústria alimentícia investigam maneiras de melhorar o equilíbrio nutricional dos alimentos ricos em carboidratos e se concentram no aumento do conteúdo de fibra alimentar em detrimento do de carboidratos prontamente digeríveis. As fibras insolúveis têm a capacidade de aumentar o volume fecal e diminuir o tempo de trânsito intestinal, resultando na redução dos níveis de

colesterol no sangue e impactando em um menor risco de doenças cardíacas e câncer de cólon (DAVISON; TEMPLE, 2018). Também promovem um aumento na saciedade e controle do índice glicêmico, consequentemente reduzindo o risco de doenças crônicas não transmissíveis (DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2008; MENIS-HENRIQUE et al. 2020).

Já as fibras solúveis têm promovido a redução dos níveis de glicose no sangue, devido à diminuição na velocidade de digestão e consequente absorção de carboidratos (CHAU; HUANG, 2004). As fibras solúveis em água aumentam a viscosidade do conteúdo intestinal e lentificam a interação do amido com as enzimas digestivas; assim, a difusão da glicose para o sangue é mais lenta, e posteriormente, a secreção da insulina também é diminuída (SLAVIN, 2005). J

Em uma revisão de estudos *in vivo* e *in vitro* (CAPRILES; ARÊAS, 2016), os autores observaram que a resposta glicêmica de produtos panificados e de massas alimentícias com milho e arroz foi reduzida por meio da substituição de farinhas e amidos refinados por matérias-primas ricas em fibra alimentar, com altos teores de proteína e de amido resistente, por meio da alteração da velocidade de digestão de amido. Dessa forma, a escolha criteriosa de alimentos de baixo IG, juntamente ao consumo de alimentos integrais com alto conteúdo de fibras, resulta em diminuição do risco de desenvolvimento de doenças crônicas relacionadas ao estilo de vida (BARCLAY et al., 2008).

Ainda, fatores como tipo de amido, gelatinização do amido, processamento e forma física do amido podem afetar o aumento ou a redução do índice glicêmico nos alimentos. Fatores como a forma física do amido e os tipos de processamento do alimento podem gerar mudanças no tamanho das partículas e na integridade dos grânulos de amido, facilitando o acesso de enzimas digestivas e contribuindo para o aumento do índice glicêmico. A temperatura influencia o índice glicêmico, pois promove um maior grau de gelatinização do amido e possivelmente dextrinização, aumentando a suscetibilidade do amido à α -amilase (MERCIER; LINKO; HARPER, 1998). Já a menor gelatinização do amido reduz a velocidade de digestão, e as fibras solúveis geram o aumento da viscosidade do conteúdo intestinal, dificultando a interação do amido com as enzimas digestivas e, reduzindo o índice glicêmico (AUGUSTIN et al. 2002; BRAND-MILLER, FOSER-POWELL, COLAGIURI, 2003; SILVA et al., 2009).

A indústria de alimentos tem um papel primordial em fornecer alimentos mais nutritivos, como de baixo IG, para a mesa do consumidor (BRAND-MILLER; BUYKEN, 2020), visto que certos consumidores têm mudado seu estilo de vida, buscando melhorias no seu padrão alimentar, visando a redução do risco de doenças tais como diabetes, doenças

cardiovasculares, obesidade, câncer intestinal, além de constipação. Assim, alimentos que possam ajustar a dieta e que possuam funções de promoção à saúde são sempre importantes (YANG et al., 2017).

Dessa forma, é indispensável que o desenvolvimento de novos produtos seja acompanhado de uma profunda avaliação de suas características químicas, físicas e tecnológicas. Além disso, os potenciais benefícios de produtos adicionados de inulina somente ocorrerão se estes forem saborosos e aceitos sensorialmente pelos consumidores, uma vez que estes não renunciam a boas qualidades sensoriais, desejando sabor, aroma e textura agradáveis (ANNUNZIATA; VECCHIO, 2013).

Por fim, com o intuito de se desenvolver cereais matinais de grits de milho adicionado de inulina, com adequadas características químicas, físicas, tecnológicas e sensoriais, e que possuam valor nutritivo e funcional agregados para redução da resposta glicêmica, realizou-se este trabalho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Foi utilizado grits de milho (Master SP Alimentos, Capela do Alto, Brazil) adquirido em comércio local. A inulina GR (Orafti®GR) foi adquirida da Beneo-Orafti. O produto Orafti®GR é em pó, composto de, aproximadamente, 92% inulina e 8% de glicose e frutose, e é considerado como inulina padrão, com grau de polimerização ($DP \geq 10$), e com 10% de poder de dulçor (BENEO, 2019).

O açúcar refinado (União, Rio de Janeiro, Brazil) foi utilizado como ingrediente para preparação da solução de sacarose a ser aplicada como cobertura dos extrusados e obtenção dos cereais matinais. O leite integral (Italac, Corumbáiba, Brazil) foi utilizado para as análises de textura em leite e aceitação sensorial. Para produção dos pães, utilizados na análise de resposta glicêmica, foram utilizados os ingredientes (farinha de trigo - Nita, Santos, Brazil; margarina- Claybom, Paranaguá, Brazil; leite em pó- Nestlé Brasil Ltda, Ituiutaba, Brazil; açúcar cristal - Guarani, Olímpia, Brazil; sal - Cisne, Cabo Frio, Brazil; fermento biológico - Fleishmann, Pederneiras, Brazil). Todos esses ingredientes foram obtidos em mercado local.

4.2 Ajuste da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’

A umidade inicial do grits de milho e da inulina foi determinada pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997). Posteriormente, as umidades das misturas foram ajustadas de acordo com os valores necessários para a extrusão, segundo o delineamento experimental proposto (seção 4.3.). A quantidade necessária de água adicionada à mistura para obter materiais com diferentes umidades finais foi calculada utilizando a equação:

$$A = \left[\frac{(100 - U_i) \times U_f}{100} \right] - U_i$$

sendo:

A = quantidade de água a ser adicionada à mistura (mL/100 g de mistura)

U_i = umidade inicial da mistura em base úmida (%)

U_f = umidade final da mistura em base seca (%)

Para o ajuste da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’, porções de 450 g de grits de milho foram trituradas em liquidificador Mallory (Fortaleza, Brasil) no modo pulsar por 20 s, e posteriormente a inulina, nas quantidades do delineamento experimental (seção 4.3.), foi misturada ao grits em batedeira orbital Premium (Mondial, Barueri, Brasil), na velocidade mínima. Com o auxílio de um borrifador, a água destilada previamente pesada e necessária para atingir as umidades do delineamento experimental (seção 4.3.) foi continuamente aspergida à mistura, utilizando uma batedeira Premium (Mondial, Barueri, Brasil), na velocidade mínima. Ao final, as misturas foram acondicionadas em saco de polietileno (0,2 mm de espessura) e estocadas em geladeira (aproximadamente 5 °C) por 24 h para o equilíbrio da umidade. As umidades das misturas foram novamente analisadas pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997) e as misturas com as umidades ajustadas foram retornadas à temperatura ambiente 3 h antes da extrusão.

4.3 Extrusão da mistura ‘grits de milho e inulina’

A mistura composta por ‘grits de milho e inulina’ foi extrusada em extrusora de rosca única, com capacidade de produção semi-industrial (modelo RXPQ Labor 24, INBRAMAQ, Brasil). A definição das condições de extrusão foi baseada em testes preliminares (APÊNDICE A). Algumas condições de extrusão foram fixadas, sendo: três camisas helicoidais; rosca única de passo largo com taxa de compressão de 2,3:1 e relação comprimento/diâmetro (L/D) de 15,5:1; subtrafila de orifícios de 5,5 mm; trafilas de um orifício de 3,2 mm de diâmetro; temperaturas do canhão: zona 1 = desligada, zona 2 = 70 °C, zona 3 = 90 °C e zonas 4 e 5 = 140 °C; vazão de alimentação de 247 g/min; e velocidade de rotação da rosca de 192 rpm.

A umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ (base seca) e a porcentagem de adição de inulina (em relação ao grits de milho) foram consideradas variáveis independentes de um delineamento composto central rotacional, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta, contendo 11 ensaios (Tabela 1), sendo 4 ensaios referentes aos pontos fatoriais (combinações entre os níveis -1 e +1); 4 ensaios referentes aos pontos axiais (uma variável no nível + α e a outra em 0; e uma no nível - α e a outra em 0); e 3 ensaios referentes a repetição do ponto central (as duas variáveis independentes no nível 0), a fim de aumentar a precisão em torno do ponto central (BARROS-NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Tabela 1. Delineamento composto central rotacional.

Ensaio	X1	X2	U (%)	% de inulina
1	-1	-1	12,5	8
2	+1	-1	17,5	8
3	-1	+1	12,5	22
4	+1	+1	17,5	22
5	-1,414	0	11,5	15
6	+1,414	0	18,5	15
7	0	-1,414	15	5,1
8	0	+1,414	15	24,9
9	0	0	15	15
10	0	0	15	15
11	0	0	15	15

X1 e X2: variáveis independentes.

U: umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ (base seca).

% de adição de inulina em relação ao grits de milho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante a extrusão, porções de 200 g de grits com 15% de umidade (base seca) foram utilizadas como intercalo entre os pontos dos ensaios experimentais. Após a extrusão, os extrusados foram cortados em pedaços de aproximadamente 20 mm de comprimento, aspergidos com uma solução de sacarose a 60° Brix na proporção de 14% (v/m), e secos em estufa com circulação de ar a 60 °C por 1 h, atingindo umidade final de, no máximo, 6% base úmida (SILVA et al., 2011), obtendo-se, assim, os cereais matinais. Após 20 min do término da secagem, os cereais matinais foram armazenados em sacos de polietileno com 0,02 mm de espessura, e acondicionados em caixas pretas à temperatura ambiente, para evitar a incidência de luz sobre as amostras, até a realização das análises propostas.

As variáveis dependentes do delineamento experimental foram: características químicas dos extrusados/cereais matinais (seção 4.4.), propriedades físicas dos cereais matinais (seção 4.5.) e propriedades tecnológicas (seção 4.6.) dos cereais matinais. O teor de frutanos totais foi a única análise realizada exclusivamente nos extrusados (ver seção 4.4.1.), sendo que todas as demais análises foram realizadas nos cereais matinais. As análises químicas e físicas foram realizadas 48-72 h após os cortes e adição da cobertura nos cereais matinais/extrusados. Já a análise das propriedades de pasta foi realizada três meses após a

produção dos cereais matinais, sendo as amostras acondicionadas em microtubos de 2 mL e envoltos em papel alumínio até este momento.

Foi também obtido um extrusado/cereal matinal “controle” exclusivamente com grits de milho e sem a adição de inulina, usando-se a umidade do ponto central do delineamento experimental (15%; Tabela 1), para efeito de comparação.

4.4 Análise das características químicas dos extrusados/cereais matinais

4.4.1 Teor de frutanos totais nos extrusados e perda de frutanos totais

Foi determinado o teor de frutanos totais nos extrusados, em triplicata, por meio do método enzimático-colorimétrico (MCCLEARY; ROSSITER, 2004), com o uso de kit analítico (K-FRUCHK, Megazyme International Ireland Ltd., Irlanda). O teor de frutanos totais foi calculado usando a planilha fornecida pelo próprio fabricante do kit analítico (<https://secure.megazyme.com/Fructan-HK-Assay-Kit>).

A metodologia utilizada para quantificação do teor de frutanos totais não é recomendada para amostras com altos teores de D-glicose, D-frutose, sacarose ou maltose (Megazyme, 2020). Por isso, o teor de frutanos totais foi analisado nos extrusados e não nos cereais matinais, pois a solução de sacarose aspergida sobre os extrusados interfere nos resultados.

A perda de frutanos durante a extrusão foi calculada pela diferença da quantidade teórica de frutanos inicial presente na mistura ‘grits e inulina’, considerando os níveis adicionados às amostras e o teor de inulina fornecido no laudo pela Beneo-Orafti (ANEXO A), e do teor de frutanos totais após a extrusão, obtido por meio da análise de teor de frutanos totais.

4.4.2 Teor de umidade dos extrusados e dos cereais matinais

A umidade dos extrusados e dos cereais matinais foi determinada pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997), em triplicata.

4.5 Análise das propriedades físicas dos cereais matinais

4.5.1 Razão de expansão

O diâmetro de dez cereais matinais, com aproximadamente 50 mm de comprimento, foi medido com o auxílio de um paquímetro digital (Digimess IP54), e a razão de expansão calculada de acordo com a equação (PARADA; AGUILERA; BRENNAN, 2011):

$$RE = \frac{de}{dt}$$

sendo:

RE = razão de expansão do cereal matinal

de = diâmetro do cereal matinal (mm)

dt = diâmetro da trafilada da extrusora (3,2 mm)

4.5.2 Densidade

A massa e as dimensões (diâmetro e comprimento) de dez cereais matinais foram medidas e a densidade obtida por meio da equação (CHÁVEZ-JÁUREGUI; SILVA; ARÊAS, 2000):

$$D \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} = \frac{4M}{\pi d^2 L}$$

sendo:

D = densidade do cereal matinal (g.cm⁻³)

M = massa do cereal matinal (g)

d = diâmetro do cereal matinal (cm)

L = comprimento do cereal matinal (cm)

4.5.3 Força de corte com e sem a adição de leite

Utilizando texturômetro TA.XT/Plus/50 e programa Exponent (Stable Micro Systems, Godalming, Inglaterra), foi analisada a força de corte dos cereais matinais com, aproximadamente, 20 mm de comprimento (dez replicatas para cada ensaio). As análises foram realizadas utilizando probe Warner Bratzler (HDP/BSG, tipo guilhotina) (PAULA; CONTI-SILVA, 2014), com as seguintes condições de teste: velocidade de pré-teste de 2 mm/s, velocidade de teste de 1 mm/s e velocidade de pós-teste de 10 mm/s. O corte foi feito perpendicularmente à amostra até sua completa ruptura, e o pico da força obtida, em Newtons (N), foi considerado como o resultado do teste.

Para a força de corte dos cereais matinais após a adição de leite, utilizou-se a metodologia segundo Leoro (2007), com algumas modificações. Quatro pedaços de cereais matinais de 20 mm de comprimento foram adicionados em uma proveta graduada de 100 mL e adicionados de leite integral ($\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$), na proporção 1:1 (v/v), e deixados por 3 min e submersos no leite. Com auxílio de uma peneira, o leite foi drenado e os cereais foram imediatamente levados para o texturômetro e realizada a força de corte nas mesmas condições de teste descritas nesta seção.

4.5.4 Parâmetros de cor

A cor dos cereais matinais foi avaliada instrumentalmente utilizando-se um colorímetro, modelo Color Flex 45/0 da Hunterlab (Reston, Estados Unidos), e programa Hunterlab Universal, com iluminante D65, observador 10° e calibração “*Reflectance Specular Included*” (RSIN). Os cereais matinais foram previamente triturados e colocados em uma cápsula circular de quartzo, com diâmetro interno de 58 mm, e analisados em quadruplicata através do girar da cápsula quatro vezes em torno do próprio eixo (0° , 90° , 180° e 270°).

A determinação baseou-se nos sistemas CIEL*C*h (representação polar do sistema L*a*b*). No sistema CIEL*a*b*, L* indica luminosidade, que varia de zero (preto absoluto) a 100 (branco absoluto), enquanto a* e b* representam as coordenadas de cromaticidade, sendo que +a* indica tendência para o vermelho e -a* tendência para o verde, e +b* indica tendência para o amarelo e -b* tendência para o azul. No sistema L*C*h, o croma (C*) indica a pureza ou saturação da cor, enquanto o ângulo de tonalidade (h) a localização da cor no sólido de cor (RAMOS; GOMIDE, 2017).

4.6 Análise das propriedades tecnológicas dos cereais matinais

4.6.1 Índice de solubilidade em água e índice de absorção em água

Para as determinações do índice de solubilidade em água (ISA) e do índice de absorção em água (IAA) foi utilizada a metodologia descrita por Anderson et al. (1969), com algumas modificações. Cerca de 2,5 g de amostra moída com granulometria de 0,05 mm, em triplicata, foram mantidos em 30 mL de água destilada a 30 °C por 30 min, com agitação intermitente, e as suspensões foram centrifugadas em centrífuga (BR4i, Jouan, França), a 3.000 g, por 10 min. Dez mililitros do sobrenadante foram colocados em uma placa de petri de peso conhecido e secos em estufa com circulação e renovação de ar (MA035/2, Marconi, Brasil) a 105 °C por 4 h, para a determinação do resíduo de evaporação. A massa do resíduo de centrifugação também foi pesada. As equações abaixo foram utilizadas para o cálculo do ISA e do IAA:

$$ISA = \frac{Mre * 3}{Ma (bs)} * 100$$

$$IAA = \frac{Mrg}{[(Ma(bs)) - (Mre*3)]} * 100$$

sendo:

ISA = índice de solubilidade em água (g/100 g)

IAA = índice de absorção em água (g gel/g matéria seca)

Mre = massa do resíduo de evaporação da amostra (g)

Ma = massa da amostra em base seca (g)

Mrg = massa do resíduo de centrifugação (g)

4.6.2 Índice de solubilidade em leite e índice de absorção em leite

Como os cereais matinais são normalmente consumidos com leite, optou-se por reproduzir as metodologias do índice de solubilidade em água e do índice de absorção em água, mas com leite, em triplicata. Portanto, para as análises do índice de solubilidade em leite

(ISL) e do índice de absorção em leite (IAL), foi utilizada a metodologia descrita por Anderson et al. (1969), com algumas modificações. Cerca de 2,5 g de amostra moída, com granulometria de 0,05 mm, foram pesados, suspensos e mantidos em 30 mL de leite a 10 °C, homogeneizados por 20 s, e as suspensões centrifugadas em centrífuga (BR4i, Jouan, França), a 3.000 g, por 10 min. Dez mililitros do sobrenadante foram colocados em uma placa de petri de peso conhecido e secos em estufa com circulação e renovação de ar (MA035/2, Marconi, Brasil) a 60 °C por 15 h, para a determinação do resíduo de evaporação. O precipitado da centrifugação também foi pesado. Foi feito um controle (em triplicata) para obter a quantidade de sólidos do leite e subtraí-la nos cálculos do resíduo de evaporação para determinação do ISL. O ISL e IAL foram determinados de acordo com as equações:

$$ISL = \frac{(M_{re} - M_{rc}) * 3}{M_a (bs)} * 100$$

$$IAL = \frac{M_{rg}}{M_a (bs) - [(M_{re} - M_{rc}) * 3]}$$

sendo:

ISL = índice de solubilidade em leite (g/100 g)

IAL = índice de absorção em leite (g gel/g matéria seca)

M_{re} = massa do resíduo de evaporação da amostra (g)

M_{rc} = massa do resíduo de evaporação do controle (g)

M_a = massa da amostra em base seca (g)

M_{rg} = massa do resíduo de centrifugação (g)

4.6.3 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram determinadas usando um analisador rápido de viscosidade (modelo RVA-4, Newport Scientific, Austrália) segundo metodologia descrita por Ascheri et al. (2006). Três gramas de cereal matinal moído, com umidade corrigida para 14% (em base úmida), foram adicionados de água destilada até a obtenção de peso final de 28 g. Utilizou-se a opção do manual do equipamento para amostras extrusadas “extrusion 1”, no alchool. Na interpretação dos viscoamilogramas, foram considerados os seguintes parâmetros: viscosidade inicial (VI), que é o pico de viscosidade entre o tempo 0,2 – 2 min; pico de

viscosidade (PV), que é a viscosidade máxima obtida após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento; quebra de viscosidade (QV) ou *breakdown*, que é a diferença entre viscosidade máxima e mínima durante a manutenção a 95 °C (*hold*); tendência a retrogradação (TR) ou *setback*, que é a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade durante a manutenção a 95 °C (*hold*) e viscosidade final (VF).

4.7 Seleção de algumas condições de extrusão para continuidade do estudo

A partir dos resultados obtidos no delineamento experimental, foram selecionadas estrategicamente algumas variáveis dependentes de interesse nos produtos para obtenção das condições de extrusão a serem utilizadas para continuidade do estudo, sendo elas maior teor de frutanos totais e menor perda de frutanos totais. Ainda, as características como um todo também foram levadas em consideração em tal seleção.

Para o preparo das misturas de ‘grits de milho e inulina’, extrusão das mesmas e obtenção dos cereais matinais, foram utilizadas as mesmas metodologias anteriormente já descritas nas seções 4.2 e 4.3. Além disso, foi novamente produzido um extrusado/cereal matinal “controle” exclusivamente com grits de milho e sem a adição de inulina, usando-se a umidade de 15% (base seca), para efeito de comparação.

Essas amostras foram submetidas às análises das propriedades físicas, composição centesimal, resposta glicêmica e aceitação sensorial. As análises das propriedades físicas, composição centesimal e aceitação sensorial foram realizadas até um mês após a obtenção dos extrusados/cereais matinais.

4.7.1 Análise das características químicas dos extrusados

A metodologia utilizada para quantificação do teor de frutanos totais não é recomendada para amostras com altos teores de D-glicose, D-frutose, sacarose ou maltose (Megazyme, 2020). Portanto, a análise da composição centesimal foi realizada nos extrusados e não nos cereais matinais, pois a solução de sacarose aspergida sobre os extrusados interfere nos resultados.

Foram realizadas as análises de umidade (método nº 925.10) pela secagem em estufa a 105 °C, proteínas (método nº 960.52) por micro-Kjeldahl, utilizando fator de conversão de 6,25, lipídios (método nº 920.39) pela extração por Soxhlet com éter de petróleo e cinzas (método nº 923.03) por incineração em mufla a 550 °C (AOAC, 1997).

A fibra alimentar (total, solúvel e insolúvel) foi analisada pelo método enzimático-gravimétrico por Prosky et al. (1988) e (método 985.29) (AOAC, 2006) utilizando kit analítico TDF100A (Sigma-Aldrich, Saint Louis, EUA) e modificado por McCleary & Rossiter (2004). Este consistiu na adição de uma mistura de frutanases (E-FRMXLQ; Megazyme International Ireland Limited, Bray, Irlanda) para garantir a remoção completa dos frutanos, de forma que não sejam quantificados na medição de fibra alimentar (CAPRILES; ARÊAS, 2013).

O teor de frutanos totais foi analisado por meio do método enzimático-colorimétrico (MCCLEARY; ROSSITER, 2004), com o uso de kit analítico (K-FRUCHK, Megazyme International Ireland Ltd., Irlanda). O teor de frutanos totais foi calculado usando a planilha fornecida pelo próprio fabricante do kit analítico (<https://secure.megazyme.com/Fructan-HK-Assay-Kit>).

Os carboidratos disponíveis foram calculados como a diferença percentual entre 100 e a soma das porcentagens de umidade, proteína, lipídios, cinzas e fibras alimentares totais. Todas as análises foram realizadas em triplicata, exceto para a fibra (duplicata).

4.7.2 Análise das propriedades físicas dos cereais

Foram realizadas análises de razão de expansão, densidade, força de corte com e sem adição de leite e cor, seguindo as mesmas metodologias descritas na seção 4.5.

Adicionalmente, foi calculado o ΔE da cor dos cereais matinais com inulina em relação ao controle, por meio da equação:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

4.7.3 Análise da resposta glicêmica dos extrusados

O índice glicêmico (IG) dos extrusados foi determinado de acordo com o Protocolo da FAO (1998) e Wolever et al. (2008). A análise foi realizada com dez voluntários, os quais preencheram previamente a ficha de recrutamento (APÊNDICE B) e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE 1) (APÊNDICE C). Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’ (ANEXO B).

Os dez voluntários saudáveis (nove mulheres, um homem) com idade de $24,9 \pm 4,8$ anos e índice de massa corporal de $21,8 \pm 1,2$ kg/m² (média $\pm$ desvio padrão) foram incluídos no estudo. Os critérios de exclusão incluíram tabagismo, gravidez, lactação, alergia ou intolerância a qualquer ingrediente alimentar dos produtos testados, diagnóstico de diabetes ou doença gastrointestinal, histórico familiar de diabetes e o uso de medicamentos conhecidos que podiam afetar a resposta glicêmica.

A formulação do pão branco (alimento padrão) foi elaborada com os seguintes ingredientes tendo farinha como base (fb): farinha de trigo 100%, água 54,8%, margarina 3,8%, leite em pó 1,44%, açúcar 4,3%, sal 1,3% e fermento biológico liofilizado 0,85%. Para a panificação foi utilizada uma máquina de fazer pão (Multipane, Britânia, Brasil), utilizando ciclo 'regular' e 'crosta clara', e todos os ingredientes foram misturados durante 25 min, seguidos de repouso por 1h25 min e cozimento por 1h05 min. Após o cozimento, o pão foi retirado da máquina e resfriado por 2 h à temperatura ambiente. A composição centesimal (g/100 g) de pão branco foi: 40,9 de umidade, 0,9 de cinzas, 0,3 de lipídios, 6,5 de proteínas, 2,9 de fibra alimentar total (1,9 de fibra insolúvel, 0,8 de fibra solúvel e 0,2 de frutanos totais) e 48,5 de carboidratos disponíveis. A partir disso, foram cortadas porções do pão para que houvesse 25 g de carboidratos disponíveis e, a seguir, estas foram armazenadas à temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) em sacos de polietileno para evitar a perda de umidade. Todas as análises foram realizadas dentro de 12 h.

Os voluntários compareceram ao laboratório duas vezes por semana, em intervalos de três a cinco dias, após jejum noturno de 10-12 h. O pão branco (alimento padrão) foi testado três vezes nas primeiras duas semanas. Nas semanas seguintes, os voluntários ingeriram uma porção dos extrusados que continham 25 g de carboidratos disponíveis. Os voluntários tiveram 10 min para ingerir cada porção até o final do teste. Ainda, 500 mL de água foram oferecidos para que o voluntário consumisse durante toda a análise.

Amostras de sangue capilar foram coletadas a partir da polpa digital para avaliar a glicemia de jejum, utilizando uma caneta lancetadora (Accu-Check® Fastclix, Roche Diagnostics, Mannheim, Alemanha) antes da ingestão das amostras (tempo zero), bem como após o início do consumo dos produtos, nos tempos de 15, 30, 45, 60, 90 e 120 min. A concentração de glicose no sangue foi medida por meio de um glicosímetro (Accu-Check® Performa, Roche Diagnostics, Mannheim, Alemanha).

A área incremental sob a curva da glicemia (iAUC) do produto acima da concentração de glicose em jejum foi calculada usando o método trapezoidal. Para o cálculo do IG, o iAUC para cada alimento testado foi expresso como uma porcentagem da média do iAUC para o

alimento padrão no mesmo sujeito, visto que para o alimento padrão foram feitas duas análises. Os valores médios resultantes para todos os sujeitos representaram o IG do alimento. Como o branco era o alimento padrão (IG do pão branco = 100), os valores de IG foram multiplicados por 0,7 para obter o valor de IG tendo a glicose como alimento padrão (IG de glicose = 100). A carga glicêmica (CG) de cada alimento foi calculada de acordo com a equação (ATKINSON; FOSTER-POWELL; BRAND-MILLER, 2008),

$$CG = [(IG \text{ (glicose} = 100)) \times \text{carboidrato disponível (g) por porção}] / 100]$$

Usando glicose como alimento padrão (GI (glicose = 100)), o IG de um alimento pode ser classificado como baixo (≤ 55), médio (56-69) e alto (≥ 70), e o GL pode ser classificado como baixo (≤ 10), médio (11-19) e alto (≥ 20) (ATKINSON; FOSTER-POWELL; BRAND-MILLER, 2008).

4.7.4 Índice de saciedade

O índice de saciedade foi avaliado pelos voluntários da resposta glicêmica, utilizando uma escala de sete pontos (HOLT et al., 1995) ancorada nas duas extremidades com os termos “extremamente faminto” e “extremamente saciado” (Figura 1). A ficha de fome e saciedade foi entregue aos voluntários antes do início da resposta glicêmica, para avaliarem no tempo zero (em jejum) e após 15, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos, do consumo do alimento controle (pão branco) e dos extrusados com adição de inulina.

O índice de saciedade foi calculado de forma semelhante ao IG, de acordo com a equação:

$$\text{Índice de saciedade (IS)} = (\text{iUAC alimento teste} \times 100) / \text{iUAC média do grupo do pão/extrusado}$$

Para isso, as áreas incrementais sob a curva (iAUC) acima do valor obtido para o jejum foi calculada usando o método trapezoidal. Para o cálculo do IS, o iAUC para cada alimento testado foi expresso como uma porcentagem da média do iAUC para o alimento padrão no mesmo sujeito, visto que para o alimento padrão foram feitas três análises. Os valores médios resultantes para todos os sujeitos representaram o IS do alimento.

Figura 1. Ficha para avaliação da fome e saciedade promovidas pelos produtos avaliados.

Avaliação da percepção da fome e saciedade						
Nome: _____				Idade: _____		
Por favor, marque (com um x) nas opções abaixo qual o seu <u>nível de fome ou saciedade</u>, em jejum e nos seguintes intervalos de tempo após o consumo <u>da porção do alimento</u>:						
⇒ Jejum:						
1 Extremamente faminto	2 Faminto	3 Pouco faminto	4 Sem fome/ Saciado	5 Pouco saciado	6 Saciado	7 Extremamente saciado
⇒ Após 15 minutos:						
1 Extremamente faminto	2 Faminto	3 Pouco faminto	4 Sem fome/ Saciado	5 Pouco saciado	6 Saciado	7 Extremamente saciado
⇒ Após 30 minutos:						
1 Extremamente faminto	2 Faminto	3 Pouco faminto	4 Sem fome/ Saciado	5 Pouco saciado	6 Saciado	7 Extremamente saciado
⇒ Após 45 minutos:						
1 Extremamente faminto	2 Faminto	3 Pouco faminto	4 Sem fome/ Saciado	5 Pouco saciado	6 Saciado	7 Extremamente saciado
⇒ Após 60 minutos:						
1 Extremamente faminto	2 Faminto	3 Pouco faminto	4 Sem fome/ Saciado	5 Pouco saciado	6 Saciado	7 Extremamente saciado
⇒ Após 90 minutos:						
1 Extremamente faminto	2 Faminto	3 Pouco faminto	4 Sem fome/ Saciado	5 Pouco saciado	6 Saciado	7 Extremamente saciado
⇒ Após 120 minutos:						
1 Extremamente faminto	2 Faminto	3 Pouco faminto	4 Sem fome/ Saciado	5 Pouco saciado	6 Saciado	7 Extremamente saciado

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7.5 Análise da aceitação sensorial dos cereais matinais

As análises sensoriais foram realizadas no Laboratório de Análise Sensorial, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, Goiás, Brasil. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’ (ANEXO B) e os avaliadores assinaram o Termo de Consentimento Esclarecido antes da realização dos testes sensoriais (APÊNDICE D).

Os cereais matinais foram avaliados puros (sem leite) e após a adição do leite. O leite a $\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi adicionado aos cereais matinais até cobri-los completamente, por 3min, sendo drenados utilizando peneira de inox e entregue diretamente ao consumidor. A drenagem do leite foi realizada para padronizar o tempo de contato do cereal matinal com o leite, a fim de evitar tal interferência na aceitação sensorial.

A análise sensorial foi realizada em bloco completo, em duas sessões, uma com as amostras secas e outra com as amostras após a adição do leite. A análise foi realizada em cabines individuais a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ e sob luz branca. Quatro pedaços de cada cereal matinal foram apresentados em copos plásticos codificados com números aleatórios de três dígitos, e as amostras de forma balanceada e monádica. Após a adição do leite, a amostra também foi apresentada com uma colher.

Noventa consumidores (de 18 a 50 anos e 69% mulheres) foram recrutados dentre alunos, funcionários e professores do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos. Noventa e dois por cento dos consumidores informaram que gostam pouco ou muito de cereais matinais. Sobre o consumo de cereais matinais, 4,4% dos consumidores afirmaram que consomem cereais matinais diariamente, 5,6% disseram que consomem pelo menos quatro vezes ou mais na semana, 24,4% pelo menos duas ou três vezes na semana, 21,1% pelo menos uma vez na semana, 25,5% pelo menos 15 dias e 18,9% uma vez por mês.

Os consumidores foram solicitados a opinar sobre o grau de gostar da aparência, cor, odor, textura e sabor, bem como a aceitação global (Figura 2), utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos (9 = gostei extremamente, 5 = não gostei nem não gostei, 1 = desgostei extremamente) (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 2007).

Figura 2. Ficha de avaliação sensorial dos cereais matinais.

Nome: _____ Data: _____

1) Você está recebendo uma amostra de cereal matinal. Por favor, prove-a e avalie cada atributo segundo escala abaixo:

9 - gostei extremamente	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Código da amostra:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aparência</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cor</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Odor</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Textura</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sabor</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aceitação Global</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Código da amostra:		Aparência		Cor		Odor		Textura		Sabor		Aceitação Global	
Código da amostra:															
Aparência															
Cor															
Odor															
Textura															
Sabor															
Aceitação Global															
8 - gostei muito															
7 - gostei moderadamente															
6 - gostei levemente															
5 - nem gostei/nem desgostei															
4 - desgostei levemente															
3 - desgostei moderadamente															
2 - desgostei muito															
1 - desgostei extremamente															

Comentários: _____

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.8 Análises estatísticas

Os resultados obtidos para as variáveis dependentes do delineamento experimental foram submetidos à análise de regressão múltipla, sendo considerados significativos os coeficientes dos modelos cujo valor de p esteve abaixo ou igual a 0,05. A regressão foi avaliada por meio de análise de variância, considerando-se regressão significativa quando $p \leq 0,05$ e sem falta de ajuste quando $p > 0,05$. Foram utilizados os programas Minitab 17 (Minitab Inc., Pensilvânia, EUA) para análise de regressão múltipla e análise de variância e Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Oklahoma, EUA) para a plotagem das superfícies de resposta.

Foi aplicada análise de variância seguida do teste de Tukey (5% de significância) para comparação das médias das variáveis dependentes dos extrusados/cereais matinais sem inulina (controle) com o ponto central do delineamento (com inulina). Ainda, foi rodada análise de correlação de Pearson entre as variáveis dependentes do delineamento, sendo considerada correlação forte quando $r \geq 0,70$ ou $r \leq -0,70$.

As médias relativas à composição centesimal foram comparadas por meio de análise de variância fator único. O índice glicêmico foi comparado entre todos os produtos (pão branco e extrusados), enquanto a carga glicêmica e o índice de saciedade foram comparados apenas entre os extrusados, pois os tamanhos das porções são diferentes para o pão branco (50

g) e cereal matinal (30 g) (BRASIL, 2003). Para ambos, foi aplicada a análise de variância fator duplo, tendo como fatores amostra e voluntário. As médias do grau de gostar também foram comparadas por meio de análise de variância fator duplo, tendo como fatores amostra e consumidor. O teste de Tukey foi aplicado como teste *post-hoc* a partir da análise de variância quando pertinente. Todos estes testes foram aplicados ao nível de significância de 0,05 utilizando o programa Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Oklahoma, EUA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características químicas dos extrusados/cereais matinais

Na Tabela 2 estão os resultados das análises químicas realizadas nos extrusados (sem cobertura de sacarose) e cereais matinais do delineamento experimental. Para o teor de frutanos totais, os extrusados apresentaram valores de 3,0 a 15,4 g/100 g, sendo que a amostra controle (15%U e sem adição de inulina) também apresentou uma pequena quantidade em sua composição (0,1 g/100 g). Segundo a literatura, o grits de milho possui pequena quantidade de frutanos, 0,2 g/100 g (CAPRILES, 2009).

A perda de frutanos foi entre 0,9 e 44,9%, o que era esperado, visto que perdas de frutanos ocorrem durante processamentos térmicos no geral, o que não seria diferente considerando a extrusão termoplástica. Em estudo de Peressini et al. (2015), os autores observaram perdas de inulina em 13,9 e 29,5%, respectivamente, para *snacks* extrusados a partir de uma mistura de farinhas adicionada de 2 e 7% de inulina GR e submetidas a temperaturas de extrusão semelhantes às deste estudo (85, 145, 145 e 135 °C). Ainda, mais de 50% dos frutooligossacarídeos foram degradados durante a extrusão de uma mistura de farinha de aveia e milho em condições semelhantes às utilizadas neste estudo (velocidade de rosca de 170 rpm e 140 °C) (DUAR et al., 2015).

Observa-se pelo teor de frutanos totais apresentado na Tabela 2, e considerando o fato de que frutanos são fibras alimentares, que todos os extrusados do delineamento experimental podem ser considerados ‘fonte de fibra’, por conterem mínimo de 3 g de fibra alimentar por 100 g de produto (CODEX ALIMENTARIUS, 2013). Ainda, a maioria dos ensaios pode ser considerada como ‘alto em fibra’, pois ultrapassam os 6 g de fibra alimentos por 100 de produto (CODEX ALIMENTARIUS, 2013). No entanto, tem-se que frisar que os extrusados não passaram pela adição de cobertura de sacarose, mas mesmo assim muitos deles atingiriam a quantidade mínima de 3 g de fibra alimentar por 100 g de produto após a realização da etapa de cobertura.

Ainda, considerando-se a RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012 (BRASIL, 2012), a permissão para utilização de atributos como ‘fonte de fibra’ ou ‘alto conteúdo de fibra’ é por porção, sendo, respectivamente, mínimo de 2,5 g de fibra e de 5 g de fibra por porção. A porção de cereais matinais é de 30 g segundo a legislação atual vigente (BRASIL, 2003). Assim, a maioria dos ensaios poderiam ter a informação nutricional complementar de ‘fonte de fibra’, embora nenhum com a informação de ‘alto conteúdo de fibra’.

Tabela 2. Características químicas (média $\pm$ desvio padrão; n = 3) dos extrusados/cereais matinais do delineamento experimental e do controle.

Ensaio	U (%) [*]	Adição de inulina (%) [*]	Frutanos totais (g/100 g) ^{**}	Perda de frutanos durante a extrusão (%) ^{**}	Umidade extrusado (g/100 g) ^{**}	Umidade cereal matinal (g/100 g) ^{***}
1	12,5	8,0	3,7 $\pm$ 0,03	44,9	6,6 $\pm$ 0,05	5,3 $\pm$ 0,05
2	17,5	8,0	5,5 $\pm$ 0,14	17,3	8,9 $\pm$ 0,02	5,9 $\pm$ 0,23
3	12,5	22,0	13,6 $\pm$ 0,28	16,0	6,7 $\pm$ 0,03	4,5 $\pm$ 0,15
4	17,5	22,0	11,6 $\pm$ 0,24	26,3	7,5 $\pm$ 0,15	5,2 $\pm$ 0,08
5	11,5	15,0	9,1 $\pm$ 0,21	22,8	6,2 $\pm$ 0,20	4,4 $\pm$ 0,08
6	18,5	15,0	11,7 $\pm$ 0,04	0,9	8,6 $\pm$ 0,08	5,9 $\pm$ 0,11
7	15,0	5,1	3,0 $\pm$ 0,10	31,4	8,0 $\pm$ 0,06	5,6 $\pm$ 0,04
8	15,0	24,9	15,4 $\pm$ 0,15	14,0	6,0 $\pm$ 0,06	4,8 $\pm$ 0,08
9	15,0	15,0	9,1 $\pm$ 0,13 ^b	22,8	7,6 $\pm$ 0,03 ^b	4,9 $\pm$ 0,19 ^b
10	15,0	15,0	9,5 $\pm$ 0,23 ^a	18,8	7,0 $\pm$ 0,23 ^b	5,0 $\pm$ 0,14 ^{ab}
11	15,0	15,0	9,5 $\pm$ 0,10 ^a	19,4	7,0 $\pm$ 0,02 ^b	4,8 $\pm$ 0,24 ^b
Controle	15%	0	0,1 $\pm$ 0,003 ^c	-	9,5 $\pm$ 0,06 ^a	5,4 $\pm$ 0,11 ^a

^{*}U: umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ (base seca); % de adição de inulina em relação ao grits de milho.

^{**}Análises feitas nos extrusados (sem cobertura de sacarose). Calculada pela diferença entre a quantidade teórica de frutanos inicial presente na mistura ‘grits e inulina’, considerando os níveis adicionados às amostras e o teor de inulina fornecido no laudo pela Beneo-Orafti (ANEXO A), e o teor de frutanos totais após a extrusão, obtido por meio da análise de teor de frutanos totais.

^{***}Análise feita nos cereais matinais.

Controle: cereal matinal produzido com grits de milho sem adição de inulina, extrusado com a mesma umidade do ponto central do delineamento experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Houve efeito linear positivo da adição de inulina sobre o teor total de frutanos dos produtos extrusados (Tabela 3), enquanto para a perda de frutanos houve efeito linear negativo da umidade da mistura 'grãos de milho e inulina' e um efeito positivo da interação entre a umidade da mistura e a adição de inulina.

Tabela 3. Modelos matemáticos para as características químicas dos extrusados/cereais matinais.

Variáveis dependentes	Modelo matemático	R ² ajustado (%)	valor de p	falta de ajuste (p)
Frutanos totais (g/100 g)	$y_{FT} = 9,35 + 4,25 I$	94,6	0,001	0,048
Perda de frutanos (%)	$y_{PF} = 20,34 - 6,03 U + 9,47 U \cdot I$	68,3	0,045	0,071
Umidade do extrusado (g/100 g)	$Y_{UE} = 7,20 + 0,81 U - 0,50 I$	85,9	0,007	0,511
Umidade do cereal matinal (g/100 g)	$y_{UCM} = 4,93 + 0,86 U - 0,68 I$	87,9	0,008	0,177

U: umidade da mistura 'grits de milho e inulina' (base seca); I: porcentagem de adição de inulina em relação ao grits de milho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

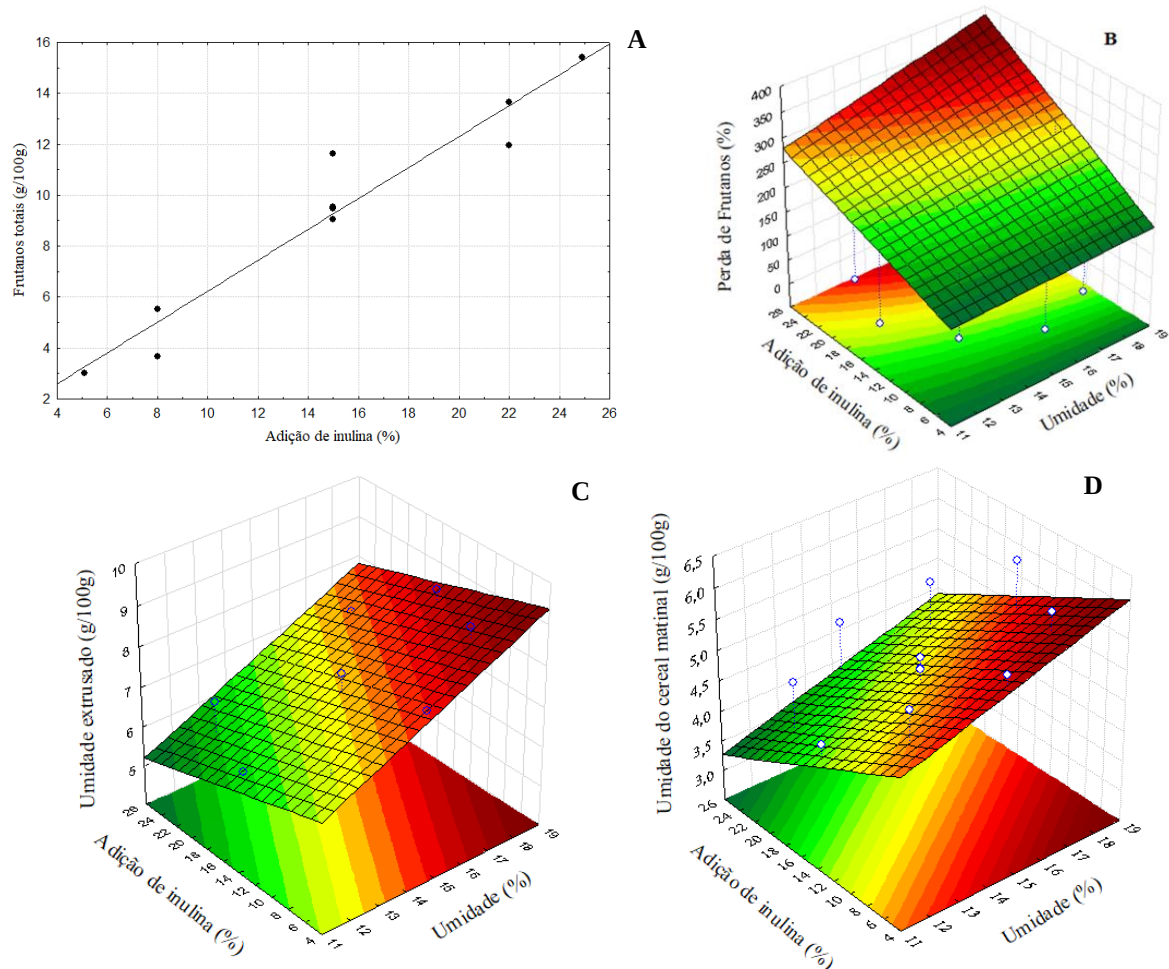
O aumento na quantidade de inulina adicionada ao grits de milho resultou em um aumento no teor de frutanos totais nos extrusados (Figura 3A), o que era esperado. No entanto, valores mais baixos de umidade e valores mais baixos de adição de inulina resultaram na perda de frutanos totais (Figura 3B). Esse efeito foi inesperado, uma vez que baixas umidades são responsáveis por maior cisalhamento da massa durante a extrusão (CONTI-SILVA; BASTOS; ARÊAS, 2012; LEONARD et al., 2020), levando a um processamento mais severo, o que poderia potencializar a perda de frutanos. Entretanto, a interação entre alta umidade com alto teor de inulina, resultando em maiores perdas de frutanos, pode estar relacionada ao fato da inulina ser uma fibra solúvel em água. Então, a alta quantidade de umidade permite que a inulina se solubilize neste "veículo" durante o processamento de extrusão e se torne mais suscetível ao cisalhamento durante o processo e, então, aumentando a perda de frutanos.

Ocorreu correlação negativa moderada entre o teor total de frutanos e a perda dos frutanos totais ($r = -0,66$; $p \leq 0,05$). Esse é um resultado que faz sentido, uma vez que quando o teor de frutanos aumenta nos extrusados, menor é a perda em relação à quantidade inicialmente adicionada.

A umidade dos extrusados (sem cobertura de açúcar) variou de 6,0 a 8,9 g/100 g (Tabela 2), sendo que as umidades dos extrusados do ponto central foram maiores em comparação ao extrusado controle (9,5 g/100 g; $p \leq 0,05$). Já a umidade do cereal matinal variou de 4,4 a 5,9 g/100 g (Tabela 2), ficando abaixo de 6% conforme recomendado por Silva et al. (2011). Ainda, as umidades dos cereais matinais do ponto central foram semelhantes ao cereal matinal controle (5,4 g/100 g; $p > 0,05$).

Os modelos matemáticos foram semelhantes tanto para a umidade dos extrusados quanto para a umidade dos cereais matinais. Observou-se efeito positivo do termo linear da umidade e negativo do termo linear da inulina (Tabela 3), ou seja, maiores umidades para os produtos são obtidas em maiores umidades da mistura ‘grits e inulina’ ou em menores valores de adição de inulina (Figuras 3C e 3D), sendo que a umidade da mistura teve um efeito mais pronunciado do que a inulina. Os efeitos da umidade da matéria-prima são esperados, uma vez que a alta umidade durante a extrusão pode dificultar a evaporação da água durante a saída da massa da extrusora quando não há alteração de temperatura, resultando em maior umidade nos produtos. Além disso, a baixa umidade do material a ser extrusado pode restringir seu fluxo dentro da extrusora, aumentando o cisalhamento e o tempo de residência do material (MESQUITA; LEONEL; MISCHAN, 2013), resultando em maior evaporação da água saindo do equipamento. Porém, o efeito da inulina foi inesperado, uma vez que o aumento da inulina reduz o cisalhamento dentro da extrusora (PERESSINI et al., 2015), o que também reduziria o tempo de residência e a perda de água, resultando em maiores umidades. Neste estudo, a inulina foi adicionada a uma mistura de farinhas (farinha de trigo, farinha de soja desengordurada, amido de milho, farinha de arroz e grits de milho) e até 7% de substituição da farinha de soja desengordurada pela inulina. Tais diferenças em relação ao presente estudo podem ser responsáveis por divergências nos resultados encontrados.

Figura 3. Teor de frutanos totais (A), perda de frutanos (B) dos extrusados, umidade dos extrusados (C) e dos cereais matinais (D) em função da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e da adição de inulina ao grits de milho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Propriedades físicas dos cereais matinais

As fotos das secções transversais e longitudinais dos cereais matinais estão representadas na Figura 4.

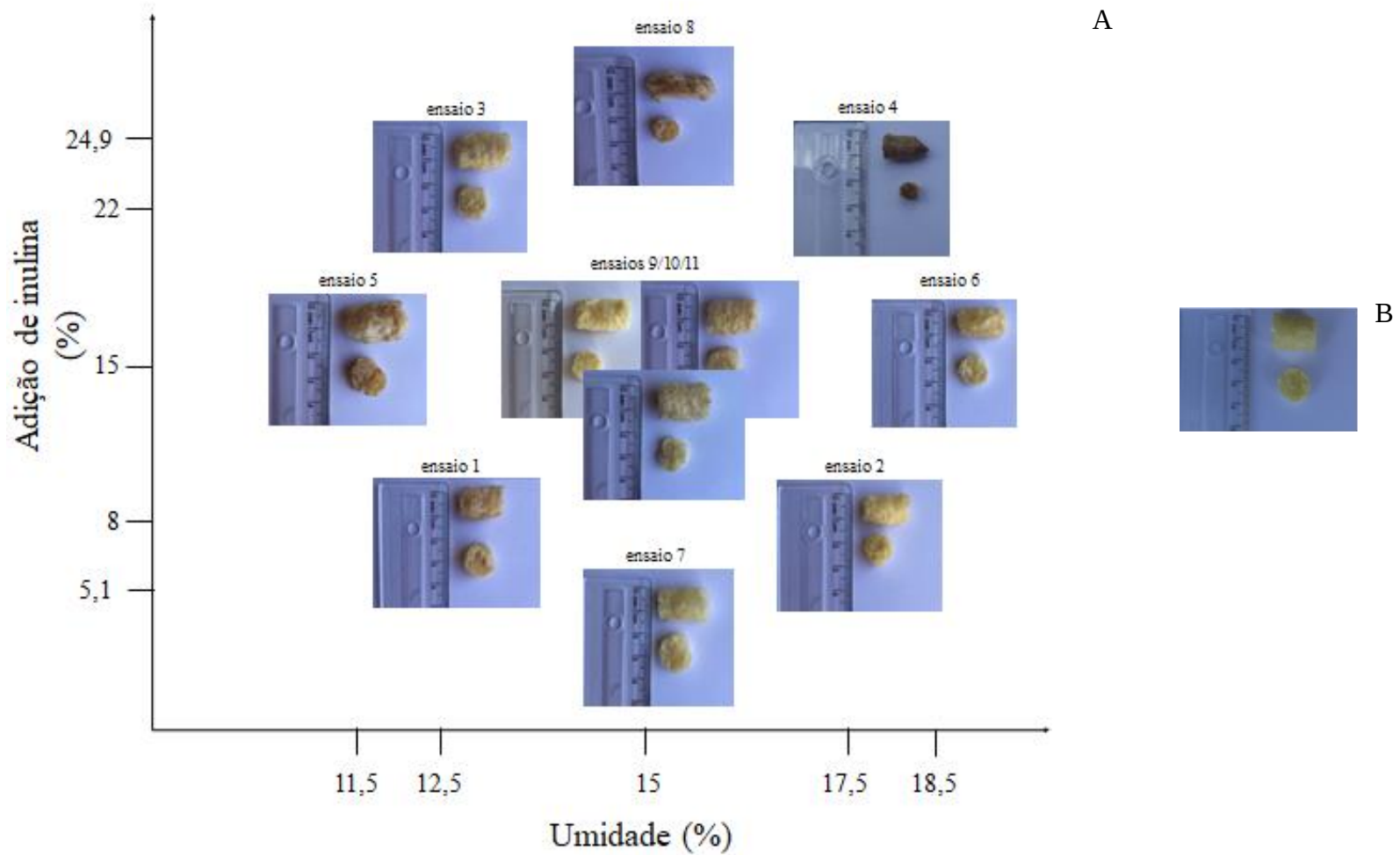
Os cereais matinais do delineamento experimental apresentaram razão de expansão variando de 1,9 a 4,4 e densidade de 0,11 a 0,31 g/cm³ (Tabela 4). A razão de expansão para produtos do ponto central foi menor do que para cereais matinais do cereal controle (4,8; $p \leq 0,05$), enquanto a densidade foi semelhante (0,13 g/cm³; $p > 0,05$). Altas concentrações de fibras, principalmente as insolúveis, geralmente resultam em produtos extrusados compactos e resistentes, apresentando textura indesejável devido à baixa taxa de expansão (BRENNAN;

MONRO; BRENNAN, 2008; BISHARAT et al. 2013) e aumento da densidade e dureza (MENIS-HENRIQUE et al. 2020). Fatores como o teor e tipo de fibra, umidade da matéria-prima e condições de processamento podem interferir na estrutura do extrusado, sendo que o efeito na redução da expansão pode ser devido à redução do conteúdo de amido na massa devido a adição da fibra, distribuição de água entre o amido e outros macronutrientes, formação de um maior número de poros com diâmetros menores e a presença de germe em grãos integrais (MENIS-HENRIQUE et al. 2020). A densidade dos extrusados de arroz aumentou com o aumento da concentração de inulina (TSOKOLAR-TSIKOPOULOS; KATSAVOU; KROKIDA, 2015) e o mesmo efeito foi observado para cereais matinais de milho adicionados com 5% de inulina GR (HAN; TRAN; LE, 2018). Apesar de observarmos neste trabalho uma redução na taxa de expansão e um aumento na densidade dos cereais matinais com o aumento da umidade na mistura e a adição de inulina (Tabela 4), não é possível demonstrar esses efeitos por meio de modelos matemáticos de regressão. No entanto, houve correlação negativa forte entre a razão de expansão e a densidade ($r = -0,91$; $p \leq 0,05$), o que é esperado uma vez que extrusados menos densos tendem a ser mais expandidos (MENG et al., 2010; YULIANI; TORLEY; BHANDARI, 2009).

Além disso, dos onze ensaios do planejamento experimental, nove apresentaram uma taxa de expansão acima de 3,6, o que é desejável para produtos obtidos a partir da extrusão de matérias-primas amiláceos. A razão de expansão acima de 2 é desejada para qualquer tipo de extrusado, pois indica que houve texturização e cozimento adequados do material durante o processo de extrusão (MENIS et al., 2013).

A força de corte dos cereais matinais, sem e com adição de leite, variou de 16,9 a 39,2 N e de 4,4 a 15,3, respectivamente (Tabela 4).

Figura 4. Disposição bidimensional dos cereais matinais do delineamento experimental (A) e cereal matinal controle (B).



Umidade (%) = umidade da mistura 'grits de milho + inulina' (base seca). Inulina (%) = % de adição de inulina em relação ao grits de milho.

Controle: cereal matinal produzido com grits de milho sem adição de inulina, extrusado com a mesma umidade do ponto central do delineamento experimental

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4. Propriedades de estrutura (média $\pm$ desvio padrão) dos cereais matinais do delineamento experimental e do controle.

Ensaio	U (%)*	Adição de inulina (%)*	Razão de Expansão	Densidade (g/cm ³)	Força de corte (N)	Força de corte após adição de leite (N)
1	12,5	8,0	4,3 $\pm$ 0,24	0,1 $\pm$ 0,02	21,5 $\pm$ 3,63	13,7 $\pm$ 2,89
2	17,5	8,0	3,7 $\pm$ 0,18	0,2 $\pm$ 0,02	39,2 $\pm$ 4,31	15,3 $\pm$ 3,84
3	12,5	22,0	4,0 $\pm$ 0,20	0,1 $\pm$ 0,02	16,9 $\pm$ 2,47	5,2 $\pm$ 1,96
4	17,5	22,0	1,9 $\pm$ 0,24	0,3 $\pm$ 0,11	18,4 $\pm$ 1,86	4,4 $\pm$ 1,84
5	11,5	15,0	3,6 $\pm$ 0,18	0,1 $\pm$ 0,03	26,8 $\pm$ 5,27	6,9 $\pm$ 3,87
6	18,5	15,0	3,9 $\pm$ 0,17	0,2 $\pm$ 0,03	27,8 $\pm$ 3,62	9,8 $\pm$ 3,29
7	15,0	5,1	4,4 $\pm$ 0,31	0,1 $\pm$ 0,02	29,0 $\pm$ 2,89	12,5 $\pm$ 1,86
8	15,0	24,9	2,4 $\pm$ 0,40	0,2 $\pm$ 0,06	24,1 $\pm$ 3,33	5,6 $\pm$ 2,02
9	15,0	15,0	4,2 $\pm$ 0,13 ^b	0,1 $\pm$ 0,02 ^b	21,8 $\pm$ 2,29 ^b	4,5 $\pm$ 0,57 ^b
10	15,0	15,0	4,2 $\pm$ 0,12 ^b	0,1 $\pm$ 0,01 ^a	21,4 $\pm$ 3,59 ^b	6,2 $\pm$ 0,99 ^b
11	15,0	15,0	4,1 $\pm$ 0,22 ^b	0,1 $\pm$ 0,01 ^b	21,3 $\pm$ 2,87 ^b	5,8 $\pm$ 2,11 ^b
Controle	15,0	0	4,8 $\pm$ 0,18 ^a	0,1 $\pm$ 0,01 ^{ab}	32,1 $\pm$ 3,06 ^a	19,7 $\pm$ 4,86 ^a

*U: umidade da mistura 'grits de milho e inulina' (base seca); % de adição de inulina em relação ao grits de milho.

Razão de expansão, densidade e força de corte (n = 10); força de corte após adição do leite (n = 12).

Controle: cereal matinal produzido com grits de milho sem adição de inulina, extrusado com a mesma umidade do ponto central do delineamento experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para ambos os casos, a força de corte dos cereais matinais dos pontos centrais foi menor ($p \leq 0,05$) em relação ao controle (32,1 N sem leite e 19,7 N com leite), ou seja, a adição de inulina reduziu a força de corte dos cereais matinais. No entanto, os cereais matinais conseguiram manter sua textura após a adição do leite. Tais resultados são semelhantes aos encontrados por Wójtowicz et al. (2014), uma vez que quando foram adicionados 15% a 20% de inulina, ocorreu uma diminuição significativa na dureza dos *snacks* de milho, enquanto quando adicionados de 5 a 15% de inulina, a dureza aumentou em relação ao produto sem inulina.

Diferentes estudos com produtos extrusados com adição de inulina e outros tipos de fibras (BRENNAN; MONRO; BRENNAN, 2008; ROBIN et al. 2012; PERESSINI et al., 2015) verificaram que o efeito da adição de fibra solúvel nas propriedades de expansão dos extrusados de cereais não é claro e depende do tipo de cereal e da fibra utilizada para o enriquecimento.

A adição de inulina teve influência linear negativa e influência quadrática na força de corte dos cereais matinais após a adição do leite (Tabela 5 e Figura 5). Ainda, houve correlação negativa forte entre a força de corte após adição do leite e o teor de frutanos totais ($r = -0,77$; $p \leq 0,05$).

Tabela 5. Modelo matemático para força de corte após adição de leite dos cereais matinais.

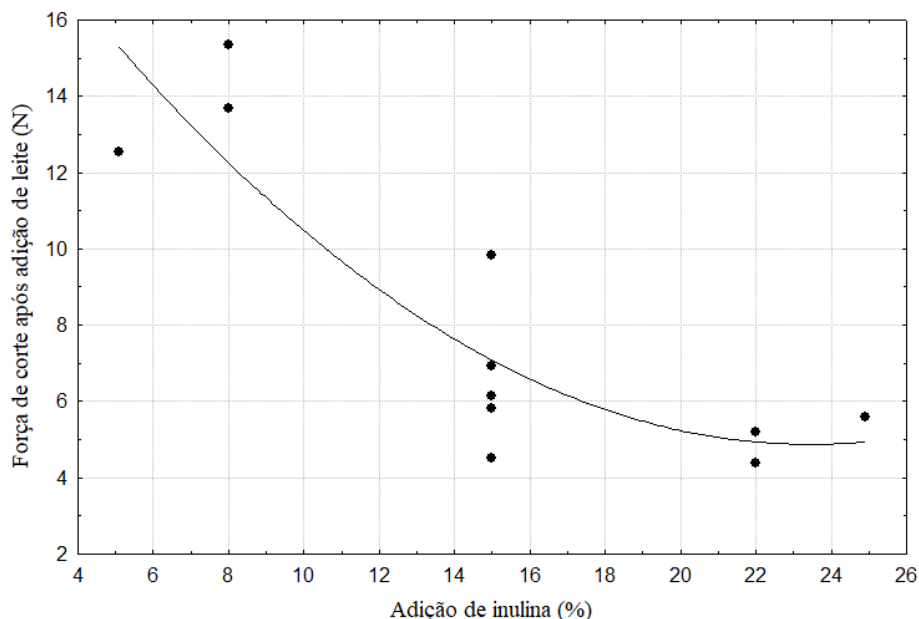
Variáveis dependentes	Modelo matemático	R ² ajustado (%)	valor de p	falta de ajuste (p)
Força de corte após adição de leite	$y_{FCL} = 5,51 - 3,76 I + 2,13 I \cdot I$	76,7	0,022	0,110

U: umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ (base seca); I: porcentagem de adição de inulina em relação ao grits de milho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A perda de textura pela adição de inulina pode ser devida ao fato de a inulina ser uma fibra hidrossolúvel, favorecendo sua interação com o leite, reduzindo assim a manutenção da textura dos cereais matinais. Para *snacks*, é desejável minimizar a dureza dos produtos extrusados, mas para cereais matinais é necessária uma estrutura mais fechada ou compacta para evitar a rápida absorção da umidade, já que normalmente é consumido em imersão no leite. Assim, cereais matinais, após imersos em meios aquosos, apresentam perda de sua estrutura física (vide Tabela 4).

Figura 5. Força de corte após adição de leite dos cereais matinais em função da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e da adição de inulina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A perda de textura dos cereais matinais após imersão no leite deve-se à afinidade dos grupos hidrofílicos das moléculas dos dois constituintes do amido (amilose e amilopectina) pelos meios aquosos. Os grânulos de amido gelatinizam durante a extrusão e o amido pré-gelatinizado pode absorver mais água do que em seu estado natural, devido a alterações conformacionais e estruturais, visto que seu equilíbrio hidrofílico/hidrofóbico é alterado, contribuindo para a absorção de água e alteração de textura (ALVIM, SGARBIERI; CHANG, 2002).

Para os parâmetros de cor, a luminosidade (L^*) dos cereais matinais variou de 64,4 a 79,9, a cromaticidade vermelha (valores positivos a^*) de 5,1 a 8,4, a cromaticidade amarela (valores positivos b^*) de 25,8 a 35,2, o croma (C^*) de 27,2 a 35,5 e o tom de 71,9° a 83,3° (Tabela 6). Os cereais matinais do ponto central apresentaram cor mais escura (menor luminosidade), maior cromaticidade vermelha (a^*), menor cromaticidade amarela (b^*) e menor saturação (menor croma) em relação ao controle (80,1, 4,5, 36,1 e 36,4, respectivamente; $p \leq 0,05$).

Tabela 6. Parâmetros de cor (médias $\pm$ desvio padrão; n = 4) dos cereais matinais do delineamento experimental e do controle.

Ensaio	U (%)*	Adição de inulina (%)*	L*	a*	b*	C*	h ^(o)
1	12,5	8,0	69,8 $\pm$ 0,09	7,1 $\pm$ 0,06	28,9 $\pm$ 0,06	29,8 $\pm$ 0,15	76,3 $\pm$ 0,15
2	17,5	8,0	79,9 $\pm$ 0,16	4,2 $\pm$ 0,02	35,2 $\pm$ 0,10	35,5 $\pm$ 0,09	83,3 $\pm$ 0,05
3	12,5	22,0	68,4 $\pm$ 0,05	7,5 $\pm$ 0,01	27,8 $\pm$ 0,08	28,8 $\pm$ 0,04	74,9 $\pm$ 0,01
4	17,5	22,0	58,4 $\pm$ 0,20	8,4 $\pm$ 0,01	25,8 $\pm$ 0,04	27,2 $\pm$ 0,08	71,9 $\pm$ 0,04
5	11,5	15,0	64,4 $\pm$ 0,04	8,4 $\pm$ 0,03	27,2 $\pm$ 0,03	28,5 $\pm$ 0,03	72,8 $\pm$ 0,07
6	18,5	15,0	79,7 $\pm$ 0,08	5,1 $\pm$ 0,02	32,4 $\pm$ 0,02	32,8 $\pm$ 0,02	81,0 $\pm$ 0,03
7	15,0	5,1	78,8 $\pm$ 0,09	5,5 $\pm$ 0,02	31,0 $\pm$ 0,07	35,1 $\pm$ 0,07	80,9 $\pm$ 0,04
8	15,0	24,9	72,1 $\pm$ 0,05	6,8 $\pm$ 0,02	27,2 $\pm$ 0,11	28,0 $\pm$ 0,11	76,0 $\pm$ 0,05
9	15,0	15,0	78,5 $\pm$ 0,05 ^b	4,7 $\pm$ 0,04 ^c	29,3 $\pm$ 0,16 ^c	29,7 $\pm$ 0,16 ^d	80,9 $\pm$ 0,05 ^b
10	15,0	15,0	77,3 $\pm$ 0,06 ^c	5,8 $\pm$ 0,08 ^a	31,4 $\pm$ 0,29 ^b	31,9 $\pm$ 0,30 ^b	79,6 $\pm$ 0,05 ^c
11	15,0	15,0	76,4 $\pm$ 0,03 ^d	5,8 $\pm$ 0,02 ^b	29,5 $\pm$ 0,12 ^d	30,1 $\pm$ 0,12 ^c	78,9 $\pm$ 0,01 ^d
Controle	15,0	0	80,1 $\pm$ 0,07 ^a	4,5 $\pm$ 0,04 ^d	36,1 $\pm$ 0,06 ^a	36,4 $\pm$ 0,07 ^a	82,9 $\pm$ 0,06 ^a

*U: umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ (base seca); % de adição de inulina em relação ao grits de milho.

Controle: cereal matinal produzido com grits de milho sem adição de inulina, extrusado com a mesma umidade do ponto central do delineamento experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora diferenças estatísticas sejam observadas entre as amostras do ponto central e o controle, todos os cereais matinais possuem ângulos de tom de 70° a 100°, o que indica a cor amarela (RAMOS; GOMIDE, 2017), que é desejável para os cereais matinais por ser uma característica de produtos extrusados de milho.

A Tabela 7 mostra que houve efeito linear positivo da umidade e efeito linear negativo da inulina sobre a cromaticidade b^* , croma e tom, bem como a interação negativa entre essas variáveis, exceto na cromaticidade vermelha. Em relação à luminosidade, a cromaticidade a^* , apresentou uma correlação negativa forte ($r = -0,94$; $p \leq 0,05$) e a cromaticidade b^* uma correlação positiva forte ($r = 0,82$; $p \leq 0,05$), observando que com o aumento da cromaticidade a^* e diminuição da cromaticidade b^* , ocorre uma diminuição na luminosidade dos cereais matinais.

Tabela 7. Modelos matemáticos para os parâmetros de cor dos cereais matinais.

Variáveis dependentes	Modelo matemático	R ² ajustado (%)	valor de p	falta de ajuste (p)
a^*	$ya^* = 5,43 - 0,82 U + 0,81 I$	71,1	0,037	0,386
b^*	$yb^* = 30,01 + 1,46 U - 1,99 I - 2,07 U*I$	81,4	0,013	0,511
C^*	$yC^* = 30,59 + 1,27 U - 2,41 I - 1,83 U*I$	88,3	0,004	0,768
h (°)	$yh = 79,79 + 1,94 U - 2,46 I - 2,50 U*I$	77,0	0,022	0,202

U: umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ (base seca); I: porcentagem de adição de inulina em relação ao grits de milho.

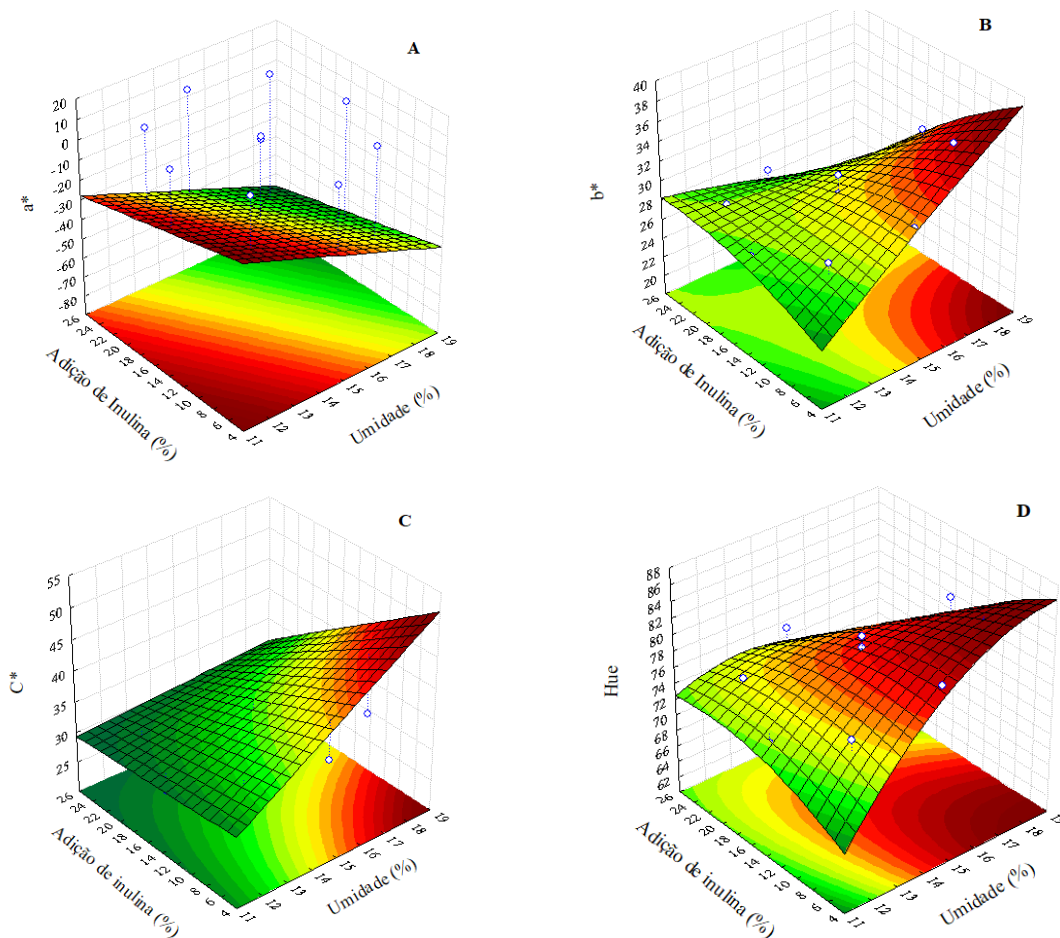
Fonte: Elaborado pelo autor.

A diminuição da luminosidade pode ser devido à reestruturação das macromoléculas de amido e fibra durante a extrusão, resultando em uma estrutura semicristalina altamente compacta, com um espaço reduzido entre as partículas, diminuindo a passagem de luz e diminuindo a luminosidade (RUIZ-ARMENTA et al., 2019).

Na Figura 6A, pode-se observar que, seja com menores valores de umidade da mistura ‘grits e inulina’ ou com menores valores de adição de inulina, ocorre um aumento na cromaticidade vermelha (valores positivos a^*).

Para a cromaticidade amarela, croma e tom, houve semelhança nas superfícies de resposta (Figuras 6B, 6C e 6D), sendo que valores mais altos para estas variáveis são obtidas para maior umidade e menor adição de inulina, indicando uma maior saturação de cor, provavelmente devido à manutenção da cor característica do milho (cromaticidade amarela) quando uma menor quantidade de inulina é adicionada. Além disso, com maior umidade, o cozimento da massa durante o processo é comprometido, mantendo novamente a cor característica do milho. Mudanças na cor de produtos extrusados fornecem informações sobre a influência das reações de escurecimento, como caramelização e a reação de *Maillard*, bem como sobre o grau de cozimento durante a extrusão (HAN; TRAN; LE, 2018; PERESSINI, et al., 2015; WÓJTOWICZ et al., 2014).

Figura 6. Parâmetros de cor dos cereais matinais em função da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e da adição de inulina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A cor dos produtos extrusados fornece informações sobre a influência de reações de escurecimento, como caramelização e reação de *Maillard*, bem como sobre o grau de cozimento durante a extrusão (HAN; TRAN; LE, 2018), justamente o que foi observado no atual trabalho. Além disso, a inulina de cadeia curta parece reduzir a cinética da reação de *Maillard*, sendo que o processamento também afeta a disponibilidade de reagentes (açúcares redutores) (PERESSINI et al., 2015).

5.3 Propriedades tecnológicas dos cereais matinais

Os valores de índice de absorção em água e de índice de solubilidade em água dos cereais matinais do delineamento experimental variaram de 7,8 a 14,6 g gel/g de matéria seca e de 35,4 a 56,9 g/100g, respectivamente. Os valores de índice de absorção em leite e de índice de solubilidade em leite variaram de 7,0 a 17,5 g gel/g de matéria seca e de 26,7 a 66,8 g/100 g, respectivamente (Tabela 8). Os valores obtidos dessas variáveis para o cereal matinal controle foram intermediários em relação aos cereais matinais do delineamento experimental. Ainda, os modelos para essas variáveis dependentes não foram significativos, e mesmo sem apresentarem falta de ajuste, não são aqui apresentados. Cereais matinais com farinha de milho e adição de até 24% de farelo de maracujá apresentaram índice de absorção em água entre 7,6 e 9,5 g gel/ g de matéria seca, índice de solubilidade em água entre 17,7 e 35,1 g /100g, índice de absorção em leite entre 9,3 e 15,4 g gel/ g de matéria seca e índice de solubilidade em leite entre 30,0 e 55,4 g/100g (LEORO, 2017). Pode-se observar que valores próximos foram encontrados a esse trabalho, embora as fontes de fibra sejam fibras solúveis.

O ISA permite verificar a severidade do tratamento térmico aplicado, já que a solubilização do material extrusado em água pode vir a ocorrer uma degradação molecular até a dextrinização do amido pela interferência do processo térmico e esforço mecânico (ASCHIERI; CARVALHO; ARAÚJO, 2009). Essas características tecnológicas estão diretamente relacionadas à manutenção da textura dos cereais matinais, medida por meio da força de corte após a adição do leite. Conforme explicado anteriormente, para cereais matinais, uma estrutura mais fechada ou compacta é necessária para evitar a rápida absorção, pois o produto é normalmente consumido por imerso em leite. Portanto, valores menores de índice de absorção de água são mais convenientes para os cereais matinais manterem a crocância após seu preparo e antes do consumo (SANTOS et al., 2015). Assim, a medição dos índices de solubilidade e absorção, tanto em água quanto em leite, tem aplicação prática para avaliação da capacidade do produto em manter a estrutura.

Tabela 8. Índices de absorção e de solubilidade em água e em leite (média $\pm$ desvio padrão; n = 3) dos cereais matinais do delineamento experimental e do controle.

Ensaio	U (%)*	Adição de inulina (%)*	IAA**	ISA**	IAL**	ISL**
1	12,5	8,0	14,6 $\pm$ 0,30	56,9 $\pm$ 0,92	17,1 $\pm$ 0,17	58,9 $\pm$ 3,00
2	17,5	8,0	11,0 $\pm$ 1,01	35,4 $\pm$ 2,41	8,8 $\pm$ 0,58	34,7 $\pm$ 0,52
3	12,5	22,0	12,3 $\pm$ 0,12	52,8 $\pm$ 1,35	15,6 $\pm$ 1,87	57,0 $\pm$ 2,70
4	17,5	22,0	11,1 $\pm$ 0,33	53,1 $\pm$ 0,62	14,4 $\pm$ 2,49	58,5 $\pm$ 2,54
5	11,5	15,0	10,8 $\pm$ 0,28	53,1 $\pm$ 1,15	17,5 $\pm$ 0,33	66,8 $\pm$ 1,09
6	18,5	15,0	12,0 $\pm$ 0,46	43,9 $\pm$ 1,57	9,7 $\pm$ 0,13	29,7 $\pm$ 0,65
7	15,0	5,1	13,2 $\pm$ 0,55	46,9 $\pm$ 2,30	9,8 $\pm$ 0,23	26,7 $\pm$ 1,43
8	15,0	24,9	7,8 $\pm$ 0,25	41,6 $\pm$ 1,91	7,0 $\pm$ 0,27	29,8 $\pm$ 1,40
9	15,0	15,0	14,3 $\pm$ 1,12 ^a	54,7 $\pm$ 3,52 ^b	13,3 $\pm$ 0,50 ^a	46,0 $\pm$ 2,58 ^a
10	15,0	15,0	12,5 $\pm$ 0,57 ^b	49,1 $\pm$ 3,12 ^{ab}	13,0 $\pm$ 1,28 ^a	46,2 $\pm$ 1,87 ^a
11	15,0	15,0	12,5 $\pm$ 0,54 ^b	49,3 $\pm$ 1,86 ^{ab}	14,0 $\pm$ 0,55 ^a	47,6 $\pm$ 1,27 ^a
Controle	15,0	0	12,0 $\pm$ 1,23 ^b	42,0 $\pm$ 2,92 ^a	15,1 $\pm$ 1,29 ^a	54,3 $\pm$ 3,44 ^a

*U: umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ (base seca); % de adição de inulina em relação ao grits de milho. **IAA = índice de absorção em água (g gel/g matéria seca); ISA = índice de solubilidade em água (g/100g); IAL = índice de absorção em leite (g gel/g matéria seca); ISL = índice de solubilidade em leite (g/100g).

Controle: cereal matinal produzido com grits de milho sem adição de inulina, extrusado com a mesma umidade do ponto central do delineamento experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando que os cereais matinais do ponto central do delineamento experimental não diferiram do controle em relação a essas variáveis dependentes ($p > 0,05$), a adição de inulina não prejudicou tais características tecnológicas.

As características das propriedades de pasta determinam as propriedades funcionais das matérias-primas amiláceas e suas diversas aplicações na indústria alimentícia. A curva de viscosidade representa o seu comportamento durante o aquecimento e permite avaliar as características da pasta formada devido às modificações estruturais da molécula de amido e, também, à tendência a retrogradação durante o resfriamento (CAMARGO; LEONEL; MICHAN, 2008).

Para as propriedades de pasta, os cereais matinais apresentaram valores de viscosidade inicial (V_{inic}) à 25 °C de 9,2 a 25,9 RVU, viscosidade máxima ($V_{\text{máx}}$) de 9,5 a 26,7 RVU, viscosidade mínima ($V_{\text{mín}}$) de 4,5 a 10,0 RVU, quebra de viscosidade (QV) de 3,2 a 19,1 RVU, viscosidade final (V_{fin}) de 7,2 a 24,0 RVU, tendência à retrogradação (TR) de 2,2 a 14,0 RVU e pico de viscosidade (PV) de 17,6 a 47,6 RVU (Tabela 9).

Houve efeito linear positivo da umidade e efeito linear negativo da inulina sobre a viscosidade final e tendência à retrogradação, além da interação negativa entre essas variáveis (Tabela 10), resultando em superfícies de resposta semelhantes (Figuras 7A e 7B), ou seja, o aumento na adição de inulina reduziu a viscosidade final e a tendência à retrogradação dos cereais matinais do delineamento experimental, devido à redução do teor de amido disponível para inchamento.

Essa semelhança nas superfícies de resposta faz sentido, uma vez que a retrogradação do amido influencia a viscosidade final dos produtos de amido, o que também pode ser observado pela correlação positiva forte entre essas duas variáveis ($r = 0,98$; $p \leq 0,05$).

A viscosidade final é uma característica que, nos produtos extrusados, dependerá das modificações que ocorrerem nas estruturas do grânulo e nas moléculas do amido durante o processamento térmico. Uma das características dos produtos de amido após aquecimento, seguido de gelatinização e resfriamento dos grânulos, é o processo de retrogradação, que se caracteriza pela recristalização das moléculas de amilose e amilopectina (TEBA; ASCHERI; CARVALHO, 2009) devido ao agrupamento das partes lineares das moléculas de amido por meio da formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de precipitados e ou géis (CARVALHO; ASCHERI, 2002). Este reagrupamento entre as frações de amilose e amilopectina resulta, na maioria dos casos, em um aumento na viscosidade final. Produtos com alta viscosidade são importantes na produção de alimentos, pois garantem que sejam solúveis ou dispersíveis em água fria ou em temperatura ambiente.

Tabela 9. Propriedades de pasta (média $\pm$ desvio padrão; n = 2) dos cereais matinais do delineamento experimental e do controle.

Ensaio	U (%)*	Adição de inulina (%)*	V inic**	V máx**	V mín**	QV**	V fin**	TR**	PV**
1	12,5	8,0	25,9 $\pm$ 0,52	26,1 $\pm$ 0,46	7,0 $\pm$ 0,53	19,1 $\pm$ 0,06	12,5 $\pm$ 0,70	5,5 $\pm$ 0,18	47,6 $\pm$ 0,28
2	17,5	8,0	16,5 $\pm$ 0,06	17,8 $\pm$ 0,06	10,0 $\pm$ 0,17	7,8 $\pm$ 0,11	24,0 $\pm$ 0,00	14,0 $\pm$ 0,17	30,5 $\pm$ 0,30
3	12,5	22,0	13,3 $\pm$ 1,71	15,6 $\pm$ 0,52	7,5 $\pm$ 0,51	8,1 $\pm$ 1,32	12,2 $\pm$ 1,20	4,7 $\pm$ 0,69	26,4 $\pm$ 2,56
4	17,5	22,0	9,2 $\pm$ 0,11	9,5 $\pm$ 1,90	6,3 $\pm$ 0,11	3,2 $\pm$ 0,11	8,7 $\pm$ 0,06	2,4 $\pm$ 0,17	19,7 $\pm$ 0,26
5	11,5	15,0	10,6 $\pm$ 0,34	10,9 $\pm$ 0,23	4,5 $\pm$ 0,81	6,3 $\pm$ 0,17	7,2 $\pm$ 0,40	3,0 $\pm$ 0,04	22,0 $\pm$ 0,40
6	18,5	15,0	18,0 $\pm$ 0,86	18,4 $\pm$ 0,63	9,3 $\pm$ 0,17	9,1 $\pm$ 1,09	20,3 $\pm$ 0,34	11,0 $\pm$ 0,17	34,7 $\pm$ 1,63
7	15,0	5,1	25,4 $\pm$ 1,20	25,7 $\pm$ 1,09	9,0 $\pm$ 0,23	16,7 $\pm$ 0,86	20,3 $\pm$ 0,86	11,4 $\pm$ 0,63	47,3 $\pm$ 0,78
8	15,0	24,9	11,3 $\pm$ 0,11	11,4 $\pm$ 1,77	5,9 $\pm$ 0,29	5,5 $\pm$ 0,17	8,1 $\pm$ 0,17	2,2 $\pm$ 0,46	17,6 $\pm$ 1,78
9	15,0	15,0	22,7 $\pm$ 1,07 ^b	24,3 $\pm$ 0,07 ^{bc}	7,4 $\pm$ 0,23 ^b	16,9 $\pm$ 0,17 ^a	14,4 $\pm$ 0,17 ^d	7,0 $\pm$ 0,40 ^{bc}	36,1 $\pm$ 0,83 ^b
10	15,0	15,0	25,8 $\pm$ 0,0 ^a	26,7 $\pm$ 0,40 ^a	9,4 $\pm$ 0,46 ^a	17,4 $\pm$ 0,11 ^a	17,1 $\pm$ 0,11 ^b	7,7 $\pm$ 0,35 ^b	45,7 $\pm$ 0,08 ^a
11	15,0	15,0	22,6 $\pm$ 0,40 ^b	23,1 $\pm$ 0,06 ^c	9,9 $\pm$ 0,06 ^a	13,2 $\pm$ 0,28 ^b	16,1 $\pm$ 0,28 ^c	6,1 $\pm$ 0,34 ^c	43,4 $\pm$ 4,07 ^a
Controle	15,0	0	24,9 $\pm$ 0,69 ^a	25,2 $\pm$ 0,69 ^{ab}	9,1 $\pm$ 0,46 ^a	16,1 $\pm$ 0,23 ^a	21,8 $\pm$ 0,23 ^a	12,6 $\pm$ 0,23 ^a	48,3 $\pm$ 4,01 ^a

*U: umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ (base seca); % de adição de inulina em relação ao grits de milho. **V inic = viscosidade inicial; V máx = viscosidade máxima; V mín = viscosidade mínima; QV = quebra de viscosidade; V fin = viscosidade final; TR = tendência à retrogradação; PV = pico de viscosidade.

Controle: cereal matinal produzido com grits de milho sem adição de inulina, extrusado com a mesma umidade do ponto central do delineamento experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor.

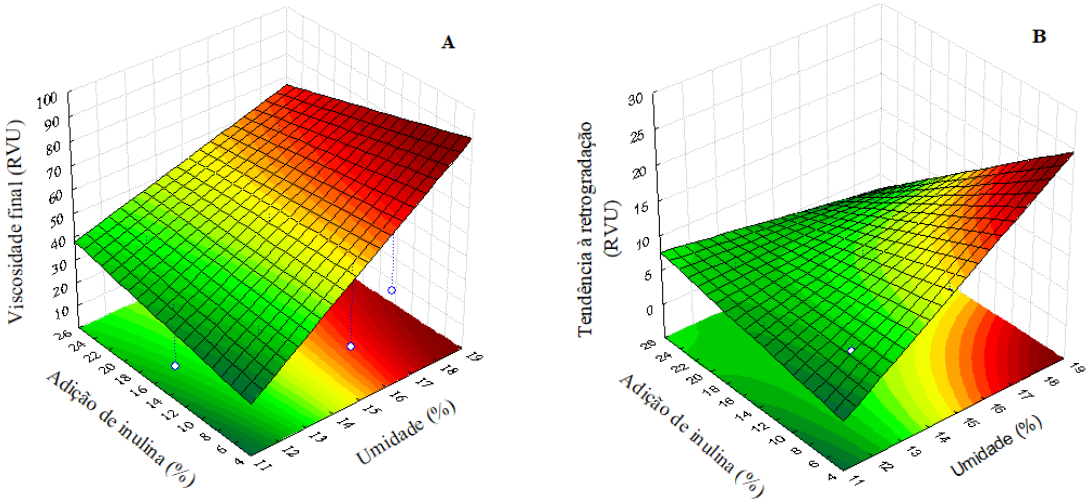
Tabela 10. Modelos matemáticos para as propriedades de pasta dos cereais matinais.

Variáveis dependentes	Modelo matemático	R ² ajustado (%)	valor de p	falta de ajuste (p)
Viscosidade final	$y_{VF} = 14,64 + 3,31 U - 4,11 I - 3,77 U*I$	88,3	0,004	0,282
Tendência à retrogradação	$y_{TR} = 6,94 + 2,20 U - 3,18 I - 2,72 U*I$	95,7	0,001	0,523

U: umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ (base seca); I: porcentagem de adição de inulina em relação ao grits de milho.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, considerando que maiores valores de umidade e menores quantidades de inulina adicionadas à mistura resultaram em aumento da viscosidade final e tendência à retrogradação (Figuras 7A e 7B), os extrusados obtidos no planejamento experimental, se não utilizados como cereais matinais e sim como ingrediente alimentar, poderiam ser adicionados como farinha pré-gelatinizada em uma variedade de produtos.

Figura 7. Viscosidade Final e tendência à retrogradação dos cereais matinais em função da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e da adição de inulina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A farinha pré-gelatinizada obtida pelo processo de extrusão termoplástica pode ser aplicada como ingrediente em alimentos pré-preparados para cozimento rápido e fácil, como sopas, cremes, devido à modificação estrutural do amido, facilitando a ligação de suas moléculas com a água (LOBO; SILVA, 2003).

Nesses tipos de produtos, é desejável uma viscosidade final superior a dos amidos nativos, para obtenção de uma melhor propriedade de espessamento, e também no preparo de sobremesas e pudins instantâneos, em que uma maior tendência à retrogradação é desejável para um aumento na firmeza do gel (FELLOWS, 2006). Farinhas pré-gelatinizadas que apresentam índices elevados de absorção de água, como obtidas no presente estudo, são interessantes para alimentos rápidos e práticos, pela sua facilidade de solubilização e formação de pasta à temperatura ambiente, sendo aplicadas como ingredientes em produtos panificados, sobremesas e outros produtos instantâneos (VERNAZA; CHANG, 2012).

Os parâmetros de viscosidade e de pasta possibilitam a determinação e o estudo do grau de cozimento do produto extrusado, bem como permitem avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo. Assim, as propriedades de pasta constituem propriedades funcionais de grande importância na elaboração de diversos produtos (TEBA; ASCHIERI; CARVALHO, 2009).

A pasta formada provavelmente apresentou ligações mais fracas entre polissacarídeos derivados de amido e componentes de fibras, devido à ruptura do amido resultante de suas transformações no processo de extrusão, e essa estrutura frágil levou à queda na viscosidade durante o tempo de espera (OLIVEIRA, ROSELL; STEEL, 2015). O mesmo comportamento foi observado em outros trabalhos que utilizaram diferentes fibras alimentares durante a extrusão de materiais amiláceos (PEKSA et al., 2016; PERESSINI, et al. 2015).

5.4 Seleção de algumas condições de extrusão para continuidade do estudo

Para a continuidade do estudo, foi realizada uma seleção de alguns ensaios do delineamento experimental para a execução das análises da resposta glicêmica e aceitação sensorial. Em função da dificuldade de se realizar os testes para obtenção do índice glicêmico, principalmente em função da fadiga do voluntário em participar de vários testes, determinou-se que seriam selecionados dois ensaios do delineamento experimental, uma vez que o produto controle, sem adição de inulina, também seria avaliado para verificar o efeito da adição da inulina nas características dos produtos, além do alimento de referência que é repetido pelo menos duas vezes por cada voluntário. Deste modo, idealmente, cada voluntário deveria participar de cinco testes de avaliação da resposta glicêmica.

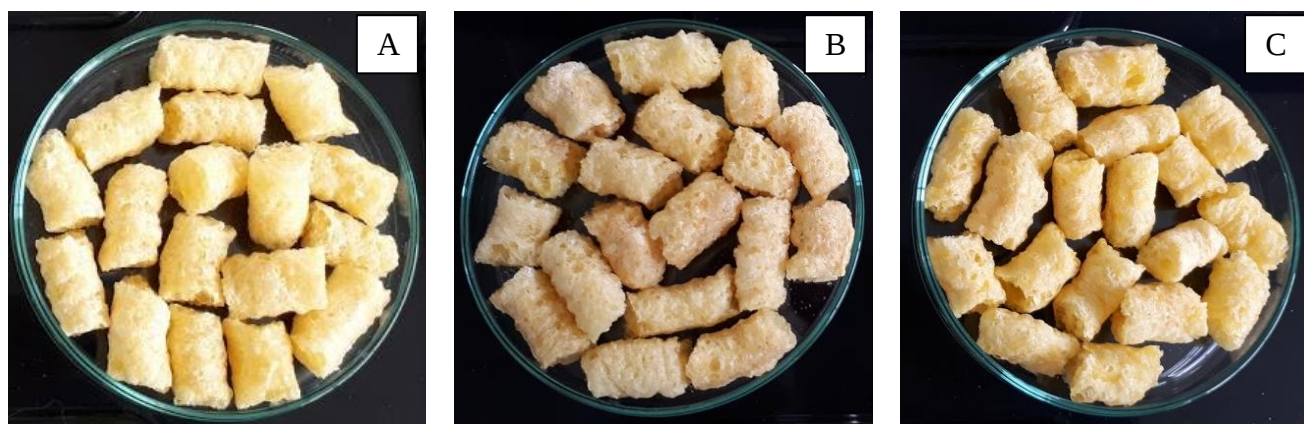
Inicialmente, foi proposta a utilização da técnica de desejabilidade para seleção de algumas condições de extrusão para continuidade do estudo. No entanto, esta técnica apontou condições inviáveis de serem aplicadas, como exemplo 11,5% de umidade e 24,9% de adição

de inulina, considerando as limitações de uma extrusora de rosca única como a utilizada neste estudo. Por isso, a seleção das condições foi baseada na observação dos resultados obtidos por meio do delineamento experimental.

Para essa seleção, focou-se, principalmente, no elevado teor de frutanos totais e na menor perda de frutanos totais, uma vez que a menor perda é um importante fator para a viabilidade comercial deste novo produto. Considerando essas duas variáveis dependentes do delineamento experimental (Tabela 2), o ensaio 6 se destaca por apresentar a menor perda de frutanos totais e um dos maiores teores de frutanos totais. Apesar do teor de frutanos totais ter chegado a 15,4 g/100 g para o ensaio 8 (Tabela 2), este extrusado apresentou baixa razão de expansão (Tabela 4), próxima de 2, o que não é desejável para produtos extrusados. Além disso, este foi um ensaio difícil de ser extrusado devido à alta quantidade de inulina adicionada ao grão de milho.

Observando os resultados dos demais ensaios do delineamento experimental, outros apresentaram elevado teor de frutanos, como os ensaios 3, 4, 5 e o ponto central (Tabela 2). No entanto, os ensaios 3 e 4 representam 22% de adição de inulina, enquanto o ponto central representa 15% de adição de inulina, ou seja, é um ensaio mais barato em termos deste ingrediente. Já o ensaio 5 teve menor razão de expansão ($p \leq 0,05$) que o ponto central (Tabela 4) (resultado estatístico não mostrado). Assim, o ponto central (15% de umidade e 15% de inulina) mostrou-se ser um ponto estratégico a ser utilizado na continuidade do estudo. Pelos motivos aqui elencados, chegaram-se em duas condições de extrusão, sendo elas 15% de umidade/15% de inulina e 18,5% de umidade/15% de inulina, além do extrusado controle (15% de umidade/sem inulina) (Figura 8).

Figura 8. Cereais matinais selecionados para a continuidade do estudo.



*A = cereal controle; B = 15%U/15%I; C = 18,5%U/ 15%

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 Propriedades físicas dos cereais matinais

Os cereais matinais 15% U/15% I e 18,5% U/15% I mostraram, respectivamente, razão de expansão de 4,4 e 4,2, que não foram estatisticamente diferentes do cereal matinal de controle (4,4). O mesmo comportamento foi observado para a densidade, que não foi estatisticamente diferente entre todos os cereais matinais, que foi de 0,13 g/cm³, 0,15 g/cm³ e 0,15 g/cm³ para o controle, 15% U/15% I e 18,5% U/15 %I (Tabela 11). Assim, a adição de inulina não prejudicou as propriedades físicas que são tão importantes para os produtos extrusados (MENIS et al., 2013).

A força de corte dos cereais matinais 15% U/15% I e 18,5% U/15% I, sem e com adição de leite, foi de 22,1 N e 27,1 N, e 6,5 N e 7,3 N, respectivamente. Para ambos os casos, a força de corte dos cereais matinais com inulina foi menor ($p \leq 0,05$) em relação ao controle (31,3 N sem leite e 14,6 N com leite), ou seja, a inulina reduziu a força de corte dos cereais matinais, exceto ao comparar a força de corte entre o cereal matinal 18,5% U/15% I e o controle ($p > 0,05$).

Tabela 11. Propriedades físicas dos cereais matinais.

Propriedades	Cereal controle	15% U/15% I	18.5% U/15% I
Razão de expansão	4,4 ^{ns} ± 0,2	4,4 ^{ns} ± 0,3	4,2 ^{ns} ± 0,3
Densidade (g.cm ⁻³)	0,13 ^{ns} ± 0,02	0,15 ^{ns} ± 0,02	0,15 ^{ns} ± 0,03
Força de corte (N)	31,3 ^a ± 4,5	22,0 ^b ± 3,5	27,2 ^a ± 4,0
Força de corte após imersão em leite (N)	14,6 ^a ± 2,1	6,5 ^c ± 1,6	7,3 ^b ± 1,6
L*	81,1 ^a ± 1,6	78,7 ^b ± 1,8	79,4 ^b ± 2,2
a*	5,2 ^b ± 0,5	6,9 ^a ± 0,2	6,6 ^a ± 0,4
b*	41,6 ^a ± 2,6	36,9 ^b ± 1,8	42,3 ^a ± 2,4
C	42,0 ^a ± 2,6	37,5 ^b ± 1,8	42,8 ^a ± 2,3
h (°)	82,8 ^a ± 0,3	79,3 ^c ± 0,40	81,1 ^b ± 0,7
ΔE	-	5,6	2,3

U= umidade da mistura 'grits + inulina'. I = % de adição de inulina.

Razão de expansão, densidade e força de corte (n = 10); força de corte após adição do leite (n = 12); luminosidade, croma e ângulo de tonalidade (n = 4).

Letras diferentes na mesma linha indica diferença significativa por teste Tukey ($p \leq 0,05$).

ns = não significativo pela análise de variância ($p > 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, a força de corte de todos os produtos diminuiu quando o leite foi adicionado, embora os cereais matinais puderam manter sua textura desejável após a adição do leite. É necessária uma estrutura mais compacta para os cereais matinais para evitar a rápida absorção de umidade, já que este produto é normalmente consumido imerso em leite, mas não exclusivamente. A perda de textura dos cereais matinais após a imersão no leite se deve à afinidade dos grupos hidrofílicos das moléculas dos dois constituintes do amido (amilose e amilopectina) pelos meios aquosos (ALVIM; SGARBIERI; CHANG, 2002).

Para os parâmetros de cor, os cereais matinais com inulina apresentaram cor mais escura (menor luminosidade) em relação ao controle (Tabela 11). O cereal matinal 15% U/15% I apresentou cor menos saturada (menor croma) e menor ângulo de tonalidade em relação aos demais ($p \leq 0,05$).

Os frutanos são constituídos por polímeros de frutose e, uma vez que a frutose é um açúcar redutor, pode contribuir para a reação de *Maillard* e, consequentemente, para o escurecimento dos cereais matinais (MENSINK et al., 2015). Embora as tonalidades dos cereais matinais tenham sido estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$), todos os ângulos de tonalidade apresentaram-se no intervalo de 70° a 100°, indicando a cor amarela (RAMOS; GOMIDE, 2017), que é desejável para os cereais matinais por ser uma cor característica do milho em produtos extrusados.

Ainda em relação à cor, o ΔE fornece a distância entre duas cores no espaço de cores, ou seja, indica o tamanho da diferença entre duas cores. No nosso caso, o ΔE fornece o tamanho da diferença de cor dos cereais matinais com inulina em relação ao controle. O ΔE para cereais matinais 15% U/15% I e 18,5% U/15% I foi, respectivamente, 5,6 e 2,3 (Tabela 11), ou seja, o cereal matinal obtido a 18,5% U/15% I é menos diferente em relação ao controle em termos de cor. Por outro lado, valores de ΔE menores que 1,0 não são detectáveis visualmente, a menos que as amostras estejam lado a lado (AMSA, 2012). Portanto, é possível detectar diferenças na cor entre as amostras com inulina em relação ao controle.

5.6 Características químicas dos extrusados

A adição de inulina aumentou ($p \leq 0,05$) o teor de fibra alimentar total dos cereais matinais, conforme esperado, o que ocorreu em função do aumento do teor de frutanos totais (Tabela 12).

O aumento no teor de fibras alimentares totais foi de, pelo menos, 5,4 vezes em relação ao controle. Proporcionalmente, como esperado, os teores de umidade, proteína e

fibras insolúveis dos extrusados com inulina diminuíram ($p \leq 0,05$). No entanto, os lipídios aumentaram ($p \leq 0,05$) e não foram observadas alterações no teor de cinzas e fibras solúveis ($p > 0,05$) na comparação dos cereais matinais com inulina e com o cereal controle (Tabela 12).

A composição química semelhante, exceto frutanos totais, foi relatada por Han, Tran e Le (2018), que utilizaram 5% de adição de inulina GR em *snacks* de milho e controle. Comparando os cereais matinais com adição de inulina, não foram observadas alterações na composição centesimal, exceto na umidade e frutanos totais.

Tabela 12. Composição centesimal (g/100 g) (média $\pm$ desvio-padrão; n = 3; n = 2 para fibras) e valor energético dos extrusados.

Componentes	Controle	15% U/15% I	18,5% U/15% I
Umidade	7,20 ^c $\pm$ 0,04	8,0 ^b $\pm$ 0,03	8,8 ^a $\pm$ 0,01
Cinzas	0,3 ^{ns} $\pm$ 0,01	0,2 ^{ns} $\pm$ 0,01	0,2 ^{ns} $\pm$ 0,01
Lipídios	0,2 ^b $\pm$ 0,00	0,4 ^a $\pm$ 0,04	0,4 ^a $\pm$ 0,02
Proteínas	5,6 ^a $\pm$ 0,36	4,6 ^b $\pm$ 0,26	4,7 ^b $\pm$ 0,10
Fibras totais ¹	1,9	13,0	10,3
Fibras insolúveis	1,5 ^a $\pm$ 0,22	1,2 ^b $\pm$ 0,16	1,3 ^b $\pm$ 0,06
Fibras solúveis	0,3 ^{ns} $\pm$ 0,02	0,41 ^{ns} $\pm$ 0,02	0,3 ^{ns} $\pm$ 0,03
Frutanos totais	0,1 ^c $\pm$ 0,00	11,4 ^a $\pm$ 0,32	8,7 ^b $\pm$ 0,13
Carboidratos ²	84,8	73,8	75,6

U= umidade da mistura 'grits de milho e inulina'. I = % de adição de inulina.

¹Soma das fibras insolúveis, solúveis e frutanos totais.

²Resultado de 100 - (umidade + cinzas + lipídios + proteínas+ fibras totais).

Letras diferentes na mesma linha indica diferença significativa por teste Tukey ($p \leq 0,05$).

ns = não significativo pela análise de variância ($p > 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante destacar que ambos os extrusados com adição de inulina podem ser classificados como 'ricos em fibras', uma vez que contêm mais de 6% do total de fibra alimentar (CODEX ALIMENTARIUS, 2013). De acordo com a legislação brasileira responsável pela informação nutricional complementar (BRASIL, 2012), podem ser classificados como 'fontes de fibras', por conterem mínimo de 2,5 g de fibra por porção de 30 g do produto (BRASIL, 2003).

5.7 Resposta glicêmica dos extrusados

A Tabela 13 apresenta as porções de cada alimento consumidas pelos voluntários, considerando que cada uma continha 25 g de carboidratos disponíveis.

Tabela 13. Porções dos alimentos contendo 25 g de carboidratos disponíveis e utilizados para realização do teste de índice glicêmico.

Alimento	Porção (g)
Pão branco (alimento padrão)	51
Extrusado controle* (sem adição de inulina)	29
Extrusado (15% U/15% I)	34
Extrusado (18,5% U/15% I)	33

*Controle: extrusado produzido com grãos de milho sem adição de inulina, extrusado a 15% de umidade (base seca).

U: umidade da mistura 'grãos de milho e inulina' (base seca).

I: porcentagem de adição de inulina em relação ao grãos de milho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

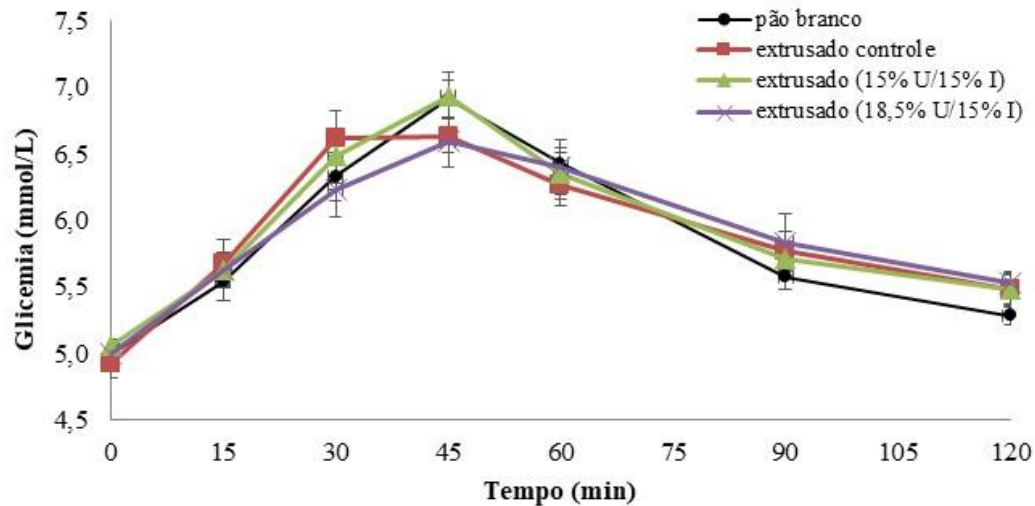
As formas das curvas de resposta glicêmica (Figura 9) são consistentes com os resultados de Brand-Miller et al. (2009) que avaliaram a resposta glicêmica de mais de mil alimentos e relataram que alimentos com alto índice glicêmico ou baixo índice glicêmico apresentam formas de curvas semelhantes e diferem apenas nos níveis de glicose no sangue em determinados pontos da curva, como em 30, 60 e 90 min. O pico glicêmico foi observado em 45 min para todos os produtos, exceto para o extrusado controle que apresentou um pico glicêmico em 30 min (Figura 9).

Além disso, os extrusados, tanto o controle como os com adição de inulina, apresentaram maior glicemia em relação ao pão após 90 min (diferenças não comparadas estatisticamente). Esse comportamento pode ser interessante em situações em que a manutenção da glicemia mais elevada seja necessária durante mais tempo, como em casos de atletas de resistência física. Vale ressaltar que a análise de resposta glicêmica foi finalizada durante a fase inicial da pandemia no Brasil, então diversas influências externas como ansiedade, medo, depressão, isolamento podem ter afetado e impactado nos resultados.

Todos os produtos apresentaram o mesmo índice glicêmico ($p > 0,05$; Figura 10), o que era inesperado em função da adição de inulina nos extrusados. Além disso, todos são considerados com alto índice glicêmico de acordo com Atkinson et al. (2008). Embora as quantidades de frutanos totais não sejam consideradas baixas (8,7 e 11,4 g/100g, Tabela 12), provavelmente o grau de polimerização da inulina após a extrusão pode estar relacionado à ausência de efeito na redução do índice glicêmico. Quando a inulina é adicionada como

ingrediente funcional em produtos tratados termicamente, a degradação da cadeia de frutanos deve ser considerada, e seus benefícios metabólicos podem ser alterados (CAPRILES; ARÊAS, 2013; PERESSINI et al., 2015).

Figura 9. Curvas de resposta glicêmica dos extrusados com e sem adição de inulina, em comparação ao pão branco.



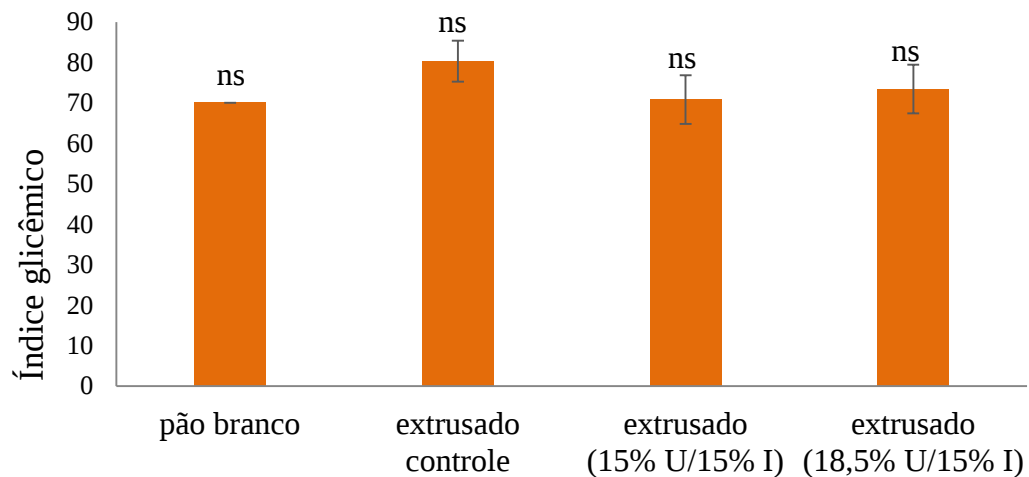
Amostras avaliadas em um grupo de 10 indivíduos saudáveis.

Os dados representam a média e as barras o erro padrão. Para o alimento controle, foi utilizada a média das 3 repetições.

Porção de produto contendo 25 g de carboidratos disponíveis: pão branco (51 g), extrusado controle (29 g), extrusado 15%U/15%I (34 g) e extrusado 18,5%U 15%I (33 g).

Fonte: Elaborado pelo autor.

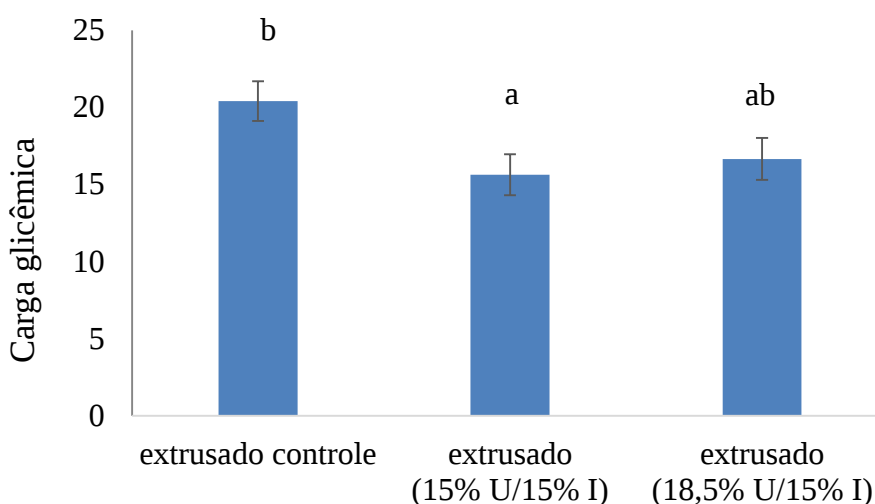
Figura 10. Índice glicêmico do pão branco e dos extrusados controle e com adição de inulina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Porém, ao comparar as cargas glicêmicas (Figura 11), os extrusados com adição de inulina (15% U/15% I) e (18,5%U/15%I) não diferiram entre si e o extrusado controle não diferiu do extrusado (18,5%U/15%I). Ainda, ambos os extrusados com adição de inulina podem ser classificados como alimentos com carga glicêmica moderada (11-19), enquanto o extrusado controle é classificado como de alta carga glicêmica (≥ 20) (ATKINSON; FOSTER-POWELL; BRAND-MILLER 2008). Isso significa que, ao consumir uma porção de 30 g de extrusado com adição de inulina, o incremento da carga glicêmica é moderado em relação ao extrusado controle. Portanto, a adição de inulina teve um impacto positivo na qualidade dos extrusados em termos de resposta glicêmica.

Figura 11. Carga glicêmica dos extrusados controle e com adição de inulina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em testes *in vitro* com cereais matinais à base de farinha de trigo, enriquecidos com 5, 10 e 15% de inulina, a adição de inulina reduziu a digestibilidade dos carboidratos em uma média de 12%, sendo que a adição de 5% e 15% de inulina reduziu 23 e 15%, respectivamente (BRENNAN; MONRO; BRENNAN, 2008).

Segundo Capriles & Arêas, (2016), os marcadores *in vitro* levam em consideração apenas os fatores intrínsecos dos alimentos que podem influenciar o aproveitamento dos carboidratos, e somente os ensaios *in vivo* para a determinação do índice glicêmico podem representar a resposta metabólica do organismo humano. No entanto, estudos sobre avaliação da resposta glicêmica em humanos pela adição de inulina antes do processo de extrusão, na

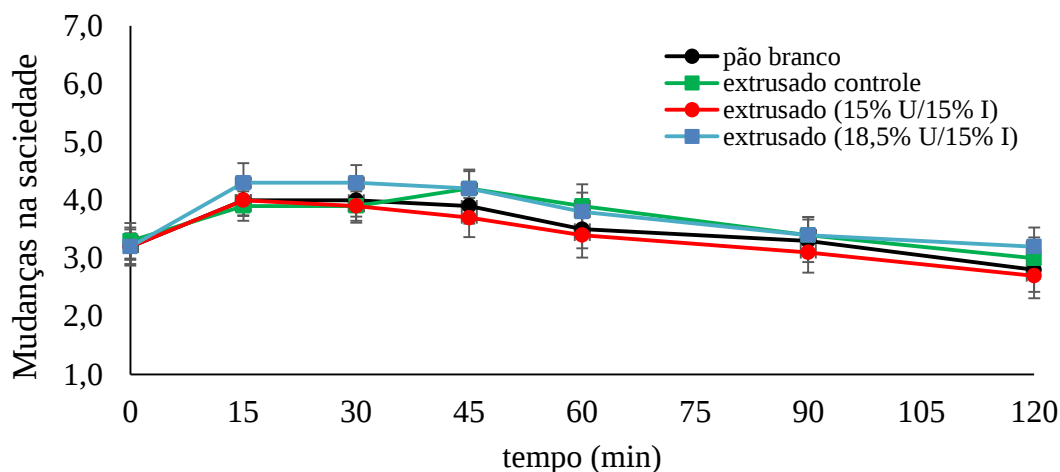
produção de cereais matinais/*snacks* e com adição inulina GR, em outros tipos de alimentos, não foram encontrados até o momento.

5.8 Índice de saciedade dos extrusados

A curva de saciedade promovida pelos produtos durante os tempos 0, 15, 30, 45, 60, 90 e 120 min e ficou entre os escores ‘pouco faminto’ e ‘pouco saciado’ (Figura 12).

O comportamento dos extrusados com inulina foi parecido ao do pão padrão, sendo que todos apresentaram uma saciedade mais alta entre os 15 e os 45 min de análise, com escores entre ‘sem fome/saciado’ e ‘pouco saciado’. No entanto, o escore de saciedade foi maior para o extrusado (18,5% U/15% I) em relação ao pão branco e ao extrusado (15% U/15% I) (diferenças não comparadas estatisticamente). Já o extrusado controle apresentou o pico de saciedade aos 45 min, com posterior queda na mesma.

Figura 12. Curvas de saciedade dos extrusados com e sem adição de inulina em comparação ao pão branco.



Amostras avaliadas em um grupo de 10 indivíduos saudáveis.

Os dados representam a média e as barras o erro padrão.

Para o alimento controle, foi utilizada a média das 3 repetições.

Porção de produto contendo 25 g de carboidratos disponíveis: pão branco (51 g), extrusado controle (29 g), extrusado 15%U/15%I (34 g) e extrusado 18,5%U 15%I (33 g).

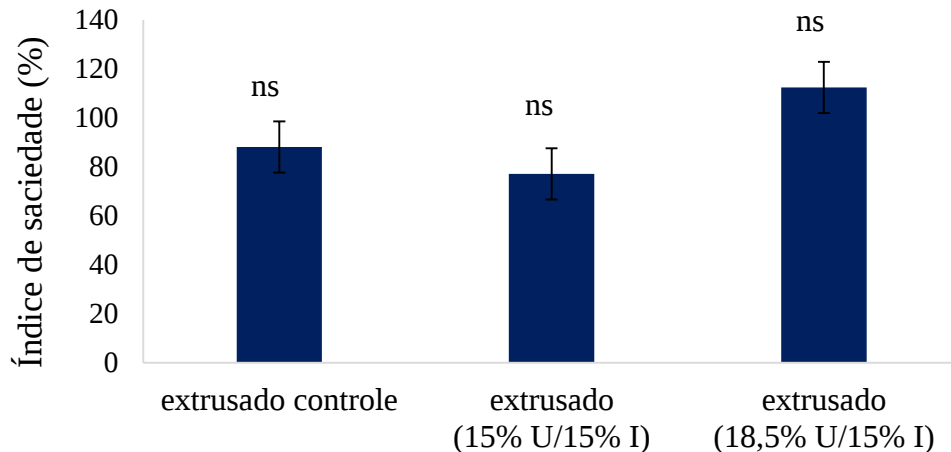
Legenda: 1 = extremamente faminto; 2 = faminto; 3 = pouco faminto; 4 = sem fome/saciado; 5 = pouco saciado; 6 = saciado; 7 = extremamente saciado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Não houve diferença estatística entre os extrusados em relação ao índice de saciedade (Figura 13). Segundo Slavim (2007), estudos usando fibras solúveis que não são viscosas,

como é o caso da inulina, não encontraram efeito na saciedade ou fome, mesmo quando grandes quantidades de fibras isoladas foram adicionadas. Ainda, Holt et al. (1995) encontraram índice de saciedade médio de 134% ($\pm 14\%$) para diversos tipos de cereais matinais adicionados de leite, valores acima aos encontrados no nosso trabalho.

Figura 13. Índice de saciedade do pão branco e dos extrusados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora durante a pesquisa termos tentado minimizar e controlar vários fatores conhecidos por afetar os níveis de glicose no sangue (estresse, exercício, doença pré-existente), outros fatores como ansiedade e depressão desencadeadas pela pandemia podem ter afetado tanto o resultado do índice glicêmico, como relatado anteriormente, como a saciedade dos alimentos. Dificuldades de controlar esses fatores externos durante o desenvolvimento da pesquisa do índice de saciedade também foram relatadas por Papakonstantinou et al. (2017).

5.9 Aceitação sensorial dos cereais matinais

Os cereais matinais com inulina e controle, sem leite, apresentaram semelhante grau de gostar para o odor, textura e sabor ($p > 0,05$) (Tabela 14), que variaram de 'gosto ligeiramente' (6,9 para sabor) a 'gosto muitíssimo' (7,6 para textura). O cereal matinal obtido a 15% U/15% I teve menor grau de gostar para aparência e cor em relação aos demais ($p \leq 0,05$), mas foi tão aceito quanto os demais produtos no que diz respeito à aceitação global ($p > 0,05$). Além disso, o cereal matinal obtido a 18,5% U/15% I foi mais aceito em termos de aceitação global em relação ao cereal matinal controle ($p \leq 0,05$).

Após a adição do leite (Tabela 14), o cereal matinal obtido a 15% U/15% I ainda apresentou menor grau de gostar para aparência e cor em relação aos demais ($p \leq 0,05$), enquanto todos os produtos apresentaram grau de gostar igual para o odor e textura, bem como para a aceitação global ($p > 0,05$), variando de 'gosto moderadamente' (7,0 para textura e aceitação global) a 'gosto muitíssimo' (7,3 para odor). No entanto, ambos os cereais matinais com inulina apresentaram maior grau de gostar para o sabor em relação ao controle ($p \leq 0,05$).

Todos os cereais matinais foram aceitos pelos consumidores, pois as médias foram superiores a 6,4. Além disso, a adição de inulina ainda teve impactos positivos na aceitação sensorial dos cereais matinais, além de manter a aceitação do produto.

Tabela 14. Aceitação sensorial (média $\pm$ desvio padrão; n = 90) dos cereais matinais.

Amostras	Aparência	Cor	Odor	Textura	Sabor	Aceitação global
Cereal matinal seco (sem adição de leite)						
Cereal controle	7,3 ^a $\pm$ 1,4	7,5 ^a $\pm$ 1,2	7,2 ^{ns} $\pm$ 1,3	7,2 ^{ns} $\pm$ 1,6	6,9 ^{ns} $\pm$ 1,6	7,3 ^b $\pm$ 1,2
15% U/15% I	6,8 ^b $\pm$ 1,4	6,9 ^b $\pm$ 1,2	7,3 ^{ns} $\pm$ 1,4	7,6 ^{ns} $\pm$ 1,4	7,3 ^{ns} $\pm$ 1,5	7,3 ^{ab} $\pm$ 1,3
18,5% U/15% I	7,2 ^a $\pm$ 1,5	7,5 ^a $\pm$ 1,2	7,2 ^{ns} $\pm$ 1,3	7,5 ^{ns} $\pm$ 1,2	7,3 ^{ns} $\pm$ 1,5	7,6 ^a $\pm$ 1,0
Cereal matinal com adição de leite						
Cereal controle	7,2 ^a $\pm$ 1,5	7,3 ^a $\pm$ 1,2	7,3 ^{ns} $\pm$ 1,3	7,0 ^{ns} $\pm$ 1,5	6,6 ^b $\pm$ 1,5	7,0 ^{ns} $\pm$ 1,4
15% U/15% I	6,4 ^b $\pm$ 1,5	6,8 ^b $\pm$ 1,4	7,2 ^{ns} $\pm$ 1,3	7,1 ^{ns} $\pm$ 1,6	7,0 ^a $\pm$ 1,6	7,1 ^{ns} $\pm$ 1,2
18,5% U/15% I	7,0 ^a $\pm$ 1,4	7,3 ^a $\pm$ 1,3	7,3 ^{ns} $\pm$ 1,3	7,1 ^{ns} $\pm$ 1,4	7,1 ^a $\pm$ 1,3	7,1 ^{ns} $\pm$ 1,2

U= umidade da mistura 'grits de milho e inulina'. I = % de adição de inulina.

Letras diferentes na mesma linha indica diferença significativa por teste Tukey ($p \leq 0,05$).

ns = não significativo pela análise de variância ($p > 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Snacks enriquecidos com inulina de 2 a 7% também foram tão aceitos quanto o produto controle em relação à doçura, crocância e aceitação global (PERESSINI et al., 2015). Além disso, nossos resultados de aceitação sensorial foram semelhantes a alguns produtos extrusados à base de arroz com inulina de 5 a 15%, considerando a escala hedônica estruturada de nove pontos (KATSAVOU et al., 2019).

A aparência de *snacks* de milho está relacionado com a expansão adequada durante a extrusão (PEŠKA et al., 2016), e a ruptura das paredes celulares e a ausência de expansão das bolhas de ar durante a extrusão foram as principais causas da baixa porosidade dos produtos finais (BISHARAT et al., 2013). No caso do nosso estudo, a razão de expansão foi a mesma

para todos os produtos, embora o cereal matinal obtido a 15% U/15% I tenha menor intensidade de cor (croma), o que pode explicar a menor aceitação para aparência e cor desta amostra (Tabela 11). Ainda, considerando que ΔE (Tabela 11) foi maior para cereais matinais 15% U/15% I (5,6) do que para cereais matinais 18,5% U/15% I (2,3), a maior diferença na cor pode ter influenciado a menor aceitação da aparência e cor para o cereal matinal obtido a 15% U/15% I.

A maior aceitação dos cereais matinais com inulina após a adição do leite em relação ao controle (Tabela 14) pode ser devido à leve doçura promovida pela inulina, conforme observado previamente em estudo de adição de oligofrutose/inulina em pães (SOUZA-BORGES; CONTI-SILVA, 2013).

6 CONCLUSÃO

A extrusão da mistura de grits de milho com inulina resultou em cereais matinais com razão de expansão adequada e com manutenção da textura após adição do leite e um impacto positivo na aceitação sensorial. Houve efeito das variáveis independentes da umidade da mistura 'grits e inulina' e da adição de inulina nas características do produto. O aumento da adição de inulina aumentou o teor total de frutanos e reduziu a força de corte após a adição do leite, embora junto com o aumento da umidade da mistura 'grits de milho e inulina' resultou em maiores perdas de frutanos totais. Além disso, houve interações negativas entre a umidade da mistura 'grits de milho e inulina' e adição de inulina, ou seja, a diminuição na adição de inulina e o aumento da umidade da mistura 'grits de milho e inulina' aumentou os parâmetros de cor (cromaticidade amarela, croma e tom) e as propriedades da pasta (viscosidade final e tendência à retrogradação). Os extrusados com inulina apresentaram alto conteúdo de fibras e redução da carga glicêmica em relação ao extrusado controle, de alta para moderada. Não houve diferenças no índice de saciedade promovido pelos produtos. Concluindo, a produção de cereais matinais por meio da extrusão de grits de milho e inulina é viável quanto às propriedades físicas, tecnológicas e sensoriais, fornecendo produtos com frutanos em sua composição e contribuindo para o consumo de cereais matinais com fibras alimentares e valor nutritivo agregado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho foi um desafio tecnológico muito grande, porque extrusar materiais ricos em fibras em extrusora de rosca única não é uma tarefa fácil. Ao contrário de extrusoras de rosca dupla, extrusoras de rosca única possuem limitações quanto à composição química da matéria-prima, como teor de umidade, lipídeos, açúcar e fibras. Ainda, unir duas dessas limitações, que foram o teor de umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e a porcentagem de adição de inulina, tornou o desafio ainda maior.

Apesar disso, neste trabalho inédito, foi possível obter cereais matinais com adequadas características físicas, tecnológicas e sensoriais, embora o efeito da inulina tenha sido pequeno na resposta glicêmica dos extrusados e não tão impactante quanto o desejado. No entanto, conciliar tantas características adequadas em um único produto, como foi feito neste projeto com tantas variáveis a serem consideradas, pode ser considerado um avanço, pois ainda há poucos estudos *in vivo* sobre a resposta glicêmica de produtos extrusados. Assim, sugere-se mais pesquisas *in vivo*, com a utilização de frutanos, para produção de alimentos com redução na resposta glicêmica e com valor agregado.

Ainda, o desenvolvimento deste trabalho pode ser considerado ainda mais desafiador para a doutoranda, uma vez que a mesma o realizou conjuntamente às atividades de docência e de gestão em sua maior parte do tempo. Mesmo assim, além da tese produzida, um artigo científico intitulado ‘*Breakfast cereals with inulin obtained through thermoplastic extrusion: chemical characteristics and physical and technological properties*’ já foi aceito para publicação na *LWT - Food Science and Technology*, e outro intitulado ‘*Inulin as an ingredient for improvement of glycemic response and sensory acceptance of breakfast cereals*’ já foi submetido à *Food Research International*.

Portanto, acredita-se que este trabalho fornece informações relevantes para a área de Tecnologia de Alimentos, assim como para a área de Nutrição, contribuindo também para o meio acadêmico e para a indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R. A. *et al.* Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, v.14, n.1, p.4-12, 1969.
- ALVIM, I. D.; SGARBIERI, V. C.; CHANG, Y. K. Desenvolvimento de farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.22, n.2, p.170-176, 2002.
- AMSA. **Meat color measurement guidelines**. Illinois: American Meat Science Association, 2012.
- ANNUNZIATA A.; VECCHIO R. Consumer perception of functional foods: a conjoint analysis with probiotics. **Food Quality and Preference**, v. 28, n. 1, p. 348-355, 2013.
- AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16. ed., v. 2. Gaithersburg: 1997.
- AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18. ed., v. 1. Gaithersburg: 2006.
- ASCHERI, D. P. R. *et al.* Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim CEPPA**, v. 24, n. 1, p. 115-144, 2006.
- ATKINSON, F. S.; FOSTER-POWELL, K.; BRAND-MILLER, J. International tables of glycemic index and glycemic load values. **Diabetes Care**, v. 31, n. 12, p. 2281-2283, 2008.
- AUGUSTIN, L. S. A., *et al.* Glycemic index in chronic disease: a review. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 56, n. 11, p. 1049-1071, 2002.
- AUGUSTIN, L. S. A. *et al.* Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). **Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases**. v. 25, n.1, p.795-815, 2015.
- BARCLAY, A.W. *et al.* Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk— A meta-analysis of observational studies. **American Journal Clinical Nutrition**, v. 87, p. 627-637, 2008.
- BARRON, C. *et al.* Structural modifications of low hydrated pea starch subjected to high thermomechanical processing. **Carbohydrate Polymers**, v. 43, n. 1, p. 171-181, 2000.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 4^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 480p.
- BASTOS, A. **Pesquisas desenvolvem cereais matinais a base de sorgo**. Embrapa, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3170031/pesquisa-desenvolve-cereal-matinal-de-sorgo> . Acesso em: 01 mai. 2019.

BENEO. **Orafti® Inulin from natural sources**. Disponível em: http://www.beneo.com/Ingredients/Human_Nutrition/Functional_Fibres/Inulin/ Acesso em: 28 set. 2019.

BENEO. **Matching today's expectations. New perspective on blood sugar management**. Disponível em: <https://www.beneo.com/benefits/human-nutrition-benefit/blood-sugar-management> Acesso em: 13 mai. 2020.

BERK, Z. **Food Process Engineering and Technology**. 2. ed., San Diego: Academic Press, 2013.

BIEDRZYCKA, E.; BIELECKA, M. Prebiotic effectiveness of fructans of different degrees of polymerization. **Trends in Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 15, n. 3 - 4, p. 170 - 175, 2004.

BISHARAT, G. I. *et al.* Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. **Food Research International**, v. 53, n. 1, p. 1 - 14, 2013.

BISHARAT, G. I. *et al.* Thermal, textural, and physicochemical analysis of corn extrudates enriched with broccoli or olive paste. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 9, p. 2100 - 2116, 2014.

BRAND-MILLER, J. C.; FOSTER-POWELL, K.; COLAGIURI, S. **A nova revolução da glicose: a solução para a saúde ideal**. Rio de Janeiro: Elsevier; 2003.

BRAND-MILLER, J. *et al.* Glycemic index, postprandial glycemia, and the shape of the curve in healthy subjects: analysis of a database of more than 1000 foods. **American Journal of Clinic Nutrition**, v. 89, n. 1, p. 97-105, 2009.

BRAND-MILLER, J.; BUYKEN, A. E. The Relationship between glycemic index and health. **Nutrients**, v.12, n. 536, p. 1-3, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 359, de 23 de dezembro de 2003. **Regulamento técnico de porções de alimentos embalados para fins de rotulagem nutricional**. Brasília: Diário Oficial da União.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. **Fixar a identidade e as características mínimas de qualidade a que devem obedecer os Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos**. Exclui-se deste Regulamento a Farinha Desengordurada de Soja.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº54 **Regulamento técnico sobre informação nutricional complementar**. Brasília: Diário Oficial da União.

BRENNAN, M. A.; MONRO, J. A.; BRENNAN, C. S. Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, n. 1, p. 2278-2288, 2008.

BRENNAN, M. A. *et al.* Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks - Invited review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n.1, p.893-902, 2013.

BROUWER- BROLSMA, E. M. *et al.* The glycaemic index-food-frequency questionnaire: development and validation of a food frequency questionnaire designed to estimate the dietary intake of glycaemic index and glycaemic load: an effort by the preview. **Nutrients**, v. 11, n. 13, p. 1-16, 2019.

CALCUTÁ, M. T. **Madre Teresa: Amor maior não há (portuguese edition)**. São Paulo: Universo dos Livros, 2017.

CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Propriedades viscoamilográficas de misturas extrusadas de polvilho azedo e farelo de mandioca. **Revista raízes de amidos tropicais**, v.4, n.1, p. 22-36, 2008.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 29, n. 1, p. 35-57, 1990.

CAPRILES, V. D. **Otimização de propriedades nutricionais e sensoriais de produtos à base de amaranto enriquecidos com frutanos, para intervenção em celíacos**. Orientador: José Alfredo Gomes Arêas. 2009. 199 p. Tese (Doutorado em Ciências) Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Effects of prebiotic inulin-type fructans on structure, quality, sensory acceptance and glycemic response of gluten-free breads. **Food & Function**, v. 4, n. 1, p. 104-110, 2013.

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Approaches to reduce the glycemic response of gluten-free products: in vivo and in vitro studies. **Food & Function**, v. 7, n. 1, p. 1266-1272, 2016.

CARABIN, I. G.; FLAMM, W. G. Evaluation of safety of inulina and oligofructose as dietary fiber. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 30, n. 3, p. 268-282, 1999.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 5, p.1006 -1018, 2002.

CHAU, C.F.; HUANG, Y. L. Characterization of passion fruit seed fibres: a potential fibre source. **Food Chemistry**, v.85, p.189-194, 2004.

CHÁVEZ-JÁUREGUI, R. N.; SILVA, M. E. M. P. E.; ARÊAS, J. A. G. Extrusion cooking process for amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1009-1015, 2000.

CLEIRICI, M. T. P. S.; STEEL, C. J.; CHANG, Y. K. **Produtos probióticos e prebióticos à base de cereais**. IN: SAAD, S. M. I., CRUZ, A. G., FARIA, J. A. F. Probióticos e prebióticos em alimentos: Fundamentos e aplicações tecnológicas. São Paulo: Livraria Varela, 2011.

CODEX ALIMENTARIUS. **Guidelines for Use of Nutrition and Health Claims – (CAC/GL 23-1997)** (2013). Disponível em: <http://www.fao.org/ag/humannutrition/32444-09f5545b8abe9a0c3baf01a4502ac36e4.pdf>. Acesso em : 11 mai. 2020.

CONTI-SILVA, A. C.; BASTOS, D. H. M.; ARÊAS, J. A. G. The effects of extrusion conditions and the addition of volatile compounds and flavour enhancers to corn grits on the retention of the volatile compounds and texture of the extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 1896-1902, 2012.

CRUZ, C. R. *et al.* Extrusion temperature of the die effects on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. **Animal Feed Science and Technology**, v. 199, n. 1, p. 137-145, 2015.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DAVISON, K. M., TEMPLE, N. J. Cereal fiber, fruit fiber, and type 2 diabetes: explaining the paradox. **Journal of diabetes and its complications**, v. 32, n. 1, p. 240-245, 2018.

DRABIŃSKA, N. *et al.* Technological benefits of inulin-type fructans application in gluten-free products - A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 149-157, 2016.

DREHER, M. L. Whole fruits and fruit fiber emerging health effects. **Nutrients**, .v. 10, n. 1, p. 18- 33, 2018.

EMBRAPA. **Agroindústria de Alimentos. Processo de extrusão de alimentos: Aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**. Rio de Janeiro, 2011.

FAO/ WHO – Food and Agriculture Organization/ World Health Organization. **Carbohydrates in human nutrition**. Report of a Join FAO/ WHO Expert Consultation. 66, 1998.

FAO/ WHO - Food and Agriculture Organization/ World Health Organization. **Food energy e methods of analysis and conversion factors**. Rome: Food and Agriculture Organisation. Food and nutrition paper 77, 2003.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2. ed. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FIORDA, F. *et al.* Physical quality of snacks and technological properties of pre-gelatinized flours formulated with cassava starch and dehydrated cassava bagasse as a function of extrusion variables. **LWT-Food Science and Technology**, v. 62, n. 2, p. 1112-1119, 2015.

FOSCHIA, M. *et al.* The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. **Journal of Cereal Science**, v. 58, n. 1, p. 216-227, 2013.

FRANK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v. 87, n. 2, p. S287– S291, 2002.

GIBSON, G. R. *et al.* Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. **Nutrition Research Review**, New York, v. 17, n. 2, p. 259-275, 2004.

GIBSON, G. R. *et al.* The International Scientific Association and scope of prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature Reviews**, v. 14, n. 8, p. 491–502, 2017.

GUY, R. **Extrusion cooking: technologies and applications**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001.

HAN, Y. J.; TRAN, T. T. T.; LE, V. V. M. Corn snack with high fiber content: Effects of different fiber types on the product quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 96, n. 1, p. 1-6, 2018.

HOLT, S. H. A., *et al.* A satiety index of common foods. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 49, p. 675 – 690, 1995.

HOUGH, G. *et al.* Sensory texture of commercial biscuits as a function of water activity. **Journal of texture studies**, v.32, n. 1, p.57-74, 2001.

JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; TAYLOR, R. H. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. **American Journal Clinical Nutrition**, v. 34, n.1, p. 362– 366, 1981.

JENKINS, L., *et al.* Depression of the glycemic index by high levels of beta-glucan fiber in two functional foods tested in type 2 diabetes. **European Journal Clinical Nutrition**, v. 56 n.7, p. 622-628, 2002.

JENKINS, A.L *et al.* Comparable postprandial glucose reductions with viscous fiber blend enriched biscuits in healthy subjects and patients with diabetes mellitus: Acute randomized controlled clinical trial. **Croatian Medical Journal**, v. 49, n.6, p. 772-782, 2008.

JOZINOVIC, A. *et al.* Influence of addition of spelled flour properties in extruded products based on maize grains. **Journal of Food Engineering**, v. 172, n. 1, p. 31-37, 2016.

KELLY, G. Inulin-type prebiotics: A review: Part 1. **Alternative Medicine Review**, v. 13, n. 4, 315 - 329, 2008.

KOLIDA, S.; GIBSON, G. R. The prebiotic effect: review of experimental and human data. In: GIBSON, G. R.; ROBERFROID, M. B. Handbook of prebiotics. Boca Raton: CRC. p. 69-92, 2008.

LEONARD, W. *et al.* Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 1, p. 218–246, 2020.

LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. Orientador: Caroline Joy Steel. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LEYVA-PORRAS, C. *et al.* Physical properties of inulin and technological applications. **Polysaccharides**, v. 1., p. 1-22, 2014.

LIGHTOWLER, H., *et al.* Replacement of glycaemic carbohydrates by inulin-type fructans from chicory (oligofructose, inulin) reduces the postprandial blood glucose and insulin response to foods: report of two double-blind, randomized, controlled trials. **European Journal of Nutrition**, v. 5, n.3, p. 1259-1268, 2018.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

MCCLEARY, B.; ROSSITER, P. Measurement of novel dietary fibers. **Journal AOAC International**, v. 87, n. 3, p. 707-717, 2004.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press. 2007.

MELLENTIN, J. **2020: The year of inulin?** New nutrition business, 2019. Disponível em : https://www.beneo.com/beneo_news/the-year-of-inulin-2020. Acesso em: 13 mai. 2020.

MENG, X., *et al.* Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. **Food Research International**, v. 43, n. 1, p. 650-658, 2010.

MENIS, M. E. C. *et al.* Extrusion of flavored corn grits: Structural characteristics, volatile compounds retention and sensory acceptability. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 434-439, 2013.

MENIS-HENRIQUE, M. E. C. *et al.* Cereal fiber: extrusion modifications for food industry. **Current Opinion in Food Science**, v.33, n. 1, p. 141-148, 2020.

MENSINK, M. A. *et al.* Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. **Carbohydrate Polymers**, v.130, n. 1, p. 405-419, 2015.

MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. 2a ed., St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998.

MIKALOUSKI, F. B. S. *et al.* Influence of raw material particle size on the expansion of extruded corn. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.17, n. 1, p. 28-32, 2014.

OLIVEIRA, L. C.; ROSELL, C. M.; STEEL, C. J. Effect of the addition of whole grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 6, p. 1504–1514, 2015.

OLIVEIRA, L. C. SCHMIELE, M.; STEEL, C. J. Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. **LWT - Food Science and Technology**, v. 75, n.1, p. 261 -270, 2017.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1, p. 261-265.

PARADA, J.; AGUILERA, J. M.; BRENNAN, C. Effect of guar gum content on some physical and nutritional properties of extruded products. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 3, p. 324–332, 2011.

PAPAKONSTANTINO, E *et al.* Short-term effects of a low glycemic index carob-containing snack on energy intake, satiety, and glycemic response in normal-weight, healthy adults: Results from two randomized trials. **Nutrition**, v. 42, n. 1, p. 12-19, 2017.

PAULA, A. M.; CONTI-SILVA, A. C. Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 121, n.1, p. 9-14, 2014.

PEKSA, A. *et al.* Sensory attributes and physicochemical features of corn snacks as affected by different flour types and extrusion conditions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 72, p. 26–36, 2016.

PERESSINI, D. *et al.* Impact of soluble dietary fibre on the characteristics of extruded snacks. **Food Hydrocolloids**, v. 43, n. 1, p. 73-81, 2015.

PROSKY, L. *et al.* Determination of insoluble and soluble, and total dietary fibre in foods and food products: interlaboratory study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v.71, n.1, p. 1017-1023, 1988.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Ed. 2. Viçosa: UFV, 2017.

ROBERFROID, M. Introducing inulin-type fructans. **British Journal of Nutrition**, v. 93, Suppl.1, p. S13-25, 2005.

ROBIN, F. *et al.* Effect of wheat bran on the mechanical properties of extruded starchy foams. **Food Research International**, v. 44, n.1, p. 2880-2888. 2011.

ROLLI, C. **Em Alimentação, Zero-Cal completa 15 anos à frente e cereal matinal tem empate quádruplo**. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/topofmind/2018/10/1983665-em-alimentacao-zero-cal-completa-15-anos-a-frente-e-cereal-matinal-tem-empate-quadruplo.shtml>. Acesso em: 12 dez. 2018.

SAAD, S. M. I.; CRUZ, A. G.; FARIA, J. A. F. **Probióticos e prebióticos em alimentos: Fundamentos e aplicações tecnológicas**. São Paulo: Livraria Varela, 2011.

SACCHETI, G. *et al.* Kinetic modelling of textural changes in ready-to-eat breakfast cereals during soaking in semi-skimmed milk. **International Journal of Food Science & Technology**, v.38, n. 1, p.135 -143, 2003.

SACCHETI, G.; PITTIA P.; PINNAVAIA, G. G. The effect of extrusion temperature and drying-tempering on both the kinetics of hydration and the textural changes in extruded ready-to-eat breakfast cereals during soaking in semi-skimmed milk. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 40, n.1, p. 655-663, 2005.

SANTOS, P. A. *et al.* Whey powder, broken rice grains and passion fruit peel flour in extruded breakfast cereals: physical, chemical and functional characteristics. **Food Science and Technology Research**, v. 21, n. 3, p. 317-325, 2015.

SHOAIB, M. *et al.* Inulin : Properties, health benefits and food applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 147, n.1, p. 444-454, 2016.

SILVA, F. M. *et al.* Papel do índice glicêmico e da carga glicêmica na prevenção e no controle metabólico de pacientes com diabetes melito tipo 2. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 53, n.5, p. 560-571, 2009.

SILVA, P. A. *et al.* Desenvolvimento e caracterização de cereal matinal extrudado de mandioca enriquecido com concentrado proteico de soro de leite. **Brazilian Journal of Food and Technology**, v. 14, n. 4, p. 260-266, 2011.

SINGH, S.; GAMLATH, S.; WAKELING, L. Original article Nutritional aspects of food extrusion : a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 42, n.1, p. 916-929, 2007.

SLAVIN, L. J. Dietary fiber and body weight. **Nutrition**, v.21, n. 1, p.411-418, 2005.

SOUZA-BORGES, P. K. *et al.* Características químicas, físicas e sensoriais de bolos de laranja e pães adicionados de inulina e oligofrutose. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 34, n. 6, p. 2837-2846, 2013.

SPENCE, C. Breakfast: The most important meal of the day? **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 8, n.1, p. 1-6, 2017.

TAKEUCHI, K. P.; SABADINI, 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.

TEBA, C. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Effect of extrusion parameters on the pasting properties of pre-cooked pasta rice and bean. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3, p. 411-426, 2009.

TSOKOLAR-TSIKOPOULOS, K.C.; KATSAVOU, I.D.; KROKIDA, M. K. The effect of inulin addition on structural and textural properties of extruded products under several extrusion conditions. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 6170-6181, 2015.

VERNAZA, M. G.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. Efeito do teor de farelo de maracujá e da umidade e temperatura de extrusão no desenvolvimento de cereal matinal funcional orgânico. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 2, p. 145-154, 2009.

VERNAZA, M. G.; CHANG, Y. K. Evaluation of guar gum and salt addition on the water absorption and on the quality of instant noodles. **Alimentos e Nutrição**. v.23, p. 435-442, 2012.

WÓJTOWICZ, A. *et al.* The effect of fiber addition on the extrusion-cooking stability and quality of enriched corn snacks. **TEKA Comission of Motorization and Energetics in Agriculture**, v. 14, n. 3, 141–146, 2014.

WOLEVER, T. *et al.* Measuring the glycemic index of foods: interlaboratory study. The American **Journal of Clinical Nutrition**, v. 87, n. 1, p. 247S-257S, 2008.

YANG, Y. *et al.* Modification and application of dietary fiber in foods – Review article. **Journal of Chemistry**, v. 2017, n.1, p. 1-8, 2017.

YULIANI, S.; TORLEY, P. J.; BHANDARI, B. Physical and processing characteristics of extrudates made from starch and D-limonene mixtures. **International Journal of Food Properties**, v.12, n.1, 482-495, 2009.

APÊNDICE A - Testes preliminares para definição da matéria-prima e parâmetros de extrusão

A1. INTRODUÇÃO

Antes de iniciar o trabalho proposto, foram feitos testes para verificar se as condições propostas no projeto inicial iriam ser correspondidas. Inicialmente, foram feitos testes comparando a inulina GR e a inulina HP. Desses testes, os extrusados com inulina GR mostraram-se mais promissores em termos de propriedades físicas do que os extrusados com inulina HP. Na sequência, foram feitos testes utilizando o fubá de milho como matéria-prima, com uma granulometria mais próxima da inulina, para fazer o preparo da mistura inicial com a inulina. Porém, após diversas tentativas, foi verificado que não era possível obter material extrusado nesse tipo de extrusora, por ser rosca única, sempre travando a rosca ou obstruindo a subtrafila e trafilas. Assim, novos testes foram conduzidos utilizando o grits de milho como matéria-prima e, a partir disso, foi elaborado um delineamento para serem testadas condições extremas de extrusão. Desta maneira, uma descrição dos testes realizados e resultados obtidos até que se chegassem às condições necessárias para se construir o delineamento experimental final é aqui apresentada.

A2. MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foram realizados testes preliminares para se determinar as quantidades de inulina GR que iriam ser utilizadas. Foi utilizado grits de milho (Master SP Alimentos, Capela do Alto, Brasil) adquirido em comércio local.

Para isso, foi aplicado um delineamento composto central rotacional (Tabela A), por meio da Metodologia de Superfície de Resposta, contendo 17 ensaios, sendo eles:

- uma parte fatorial contendo oito pontos (combinações entre os níveis -1 e $+1$), que consiste no fatorial 2^3 ;
- uma parte axial contendo seis pontos (uma variável no nível $+\alpha$ e duas em 0; e uma no nível $-\alpha$ e duas em 0);
- três pontos centrais (as três variáveis independentes no nível 0), a fim de aumentar a precisão em torno do ponto central (BARROS-NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Tabela A. Primeiro delineamento composto central rotacional.

Ensaio	Ordem de extrusão	X₁	X₂	X₃	U (%)	T (°C)	(%) adição de inulina
1	2°	-1	-1	-1	13	105	8
2	3°	+1	-1	-1	17	105	8
3	16°	-1	+1	-1	13	135	8
4	14°	+1	+1	-1	17	135	8
5	4°	-1	-1	+1	13	105	22
6	5°	+1	-1	+1	17	105	22
7	13°	-1	+1	+1	13	135	22
8	15°	+1	+1	+1	17	135	22
9	9°	-1,682	0	0	11,64	120	15
10	11°	+1,682	0	0	18,36	120	15
11	1°	0	-1,682	0	15	94,77	15
12	17°	0	+1,682	0	15	145,23	15
13	8°	0	0	-1,682	15	120	4,0
14	10°	0	0	+1,682	15	120	26,8
15	12°	0	0	0	15	120	15
16	6°	0	0	0	15	120	15
17	7°	0	0	0	15	120	15

X₁, X₂, X₃: variáveis independentes; U: umidade do fubá de milho(b.s.) T: temperatura da 4ª e 5ª zona da extrusora; % adição de inulina.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o ajuste da umidade do fubá de milho, porções de 450 g foram adicionadas de água com o auxílio de um borrifador. A água destilada, previamente pesada e necessária para atingir as umidades do delineamento experimental, foi continuamente aspergida à mistura, utilizando uma batedeira Premium (Mondial, Barueri, Brasil), na velocidade mínima. Ao final, a inulina foi adicionada ao fubá de milho, e as amostras foram acondicionadas em saco de polietileno (0,2 mm de espessura) e estocadas em geladeira (± 8 °C) por 24 h para o equilíbrio da umidade. As umidades das misturas foram novamente analisadas pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997) e as misturas com as umidades ajustadas foram retornadas à temperatura ambiente 3 h antes da extrusão.

As amostras foram extrusadas em extrusora de rosca única, com capacidade de produção semi-industrial (modelo RXPQ Labor 24, INBRAMAQ, Brasil). Algumas condições de extrusão foram fixadas, sendo: três camisas helicoidais; rosca única de passo largo com taxa de compressão de 2,3:1 e relação comprimento/diâmetro (L/D) de 15,5:1; subtrafila de orifícios de 5,5 mm; trafilagem de um orifício de 3,2 mm de diâmetro; temperaturas do canhão: zona 1 = desligada, zona 2 = 70 °C, zona 3 = 90 °C, vazão de alimentação de 247 g/min; e velocidade de rotação da rosca de 247,8 rpm.

1º Teste

Foi iniciada a extrusão segundo a Tabela A. No entanto, primeiramente optou-se por extrudar o fubá de milho, nas condições do ponto central (15% U da mistura e 120 °C), sem inulina. As condições do ponto central foram baseadas em Menis et al. (2013), onde foi o melhor ponto para as condições tecnológicas em extrusão de *snacks* de milho, no mesmo equipamento. Neste momento, o equipamento já apresentou vazamento e houve bastante dificuldade para desmontar o equipamento, tendo que levar ao torneiro para retirar a última camisa do canhão.

Figura A. Extrusora com camisa presa no canhão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2ª Teste

Depois das dificuldades encontradas em somente passar o fubá de milho, sem adição de inulina, foi decidido passar novamente o 'fubá de milho + inulina' nas condições (12% U/15% I), (15% U /26,8% I) e (18% U/15% I) somente na temperatura de 120 °C

(temperatura essa do ponto central) (Tabela A), e um teste com a mistura ‘flocão de milho e inulina’ e ‘grits antes de tentar passar o delineamento todo novamente.

Todas as amostras passaram (bateladas de 400 g), porém observou-se a necessidade de se reduzir a velocidade de rotação da rosca para as amostras com a mistura ‘grits e inulina’ para 192 rpm, pois estava saindo com pedaços de grits de milho no produto extrusado. O ponto com (15% U/26,8% I) passou, mais muito queimado e no final entupiu o equipamento (Figura B) e gerando um resíduo com alta caramelização e muito difícil de limpar as peças da extrusora.

Figura B. Resíduo de inulina saindo durante o desmonte da extrusora.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3° Teste

Foi elaborado um novo teste, substituindo o fubá de milho pelo flocão (granulometria maior) (Yoki), nas mesmas condições de extrusão anteriores. Começaram a passar os ensaios de ordem crescente de temperatura, e no ensaio (13% U/22% I/105 °C) entupiu a trafilha, vazando material. Foi realizada uma nova tentativa com o ensaio (17% U/ 22% I/105 °C), as amostras empelotaram muito quando misturadas com a inulina e a alimentação da máquina ficou comprometida, gerando entupimento da trafilha, vazamento do material e a camisa presa no canhão (Figura C).

Figura C. Extrusora após testes preliminares.



Fonte: Elaborado pelo autor

Com isso, concluímos que devido às três variáveis dependentes e o equipamento ser de rosca única, foi decidido reduzir o número de variáveis, deixando apenas umidade e adição de inulina e fixar a temperatura de 120 °C para todos os ensaios. A matéria-prima voltaria sendo o fubá de milho (devido ser a granulometria mais fina), com a diferença que a umidade seria não só do fubá, com o da mistura (fubá e inulina), para evitar que as amostras com maior umidade empelotassem.

4° Teste

Foi definida uma nova metodologia para o ajuste da umidade, agora sendo da mistura ‘fubá e inulina’. Para o ajuste da umidade da mistura ‘fubá e inulina’, porções de 450 g de grits de milho foram trituradas em liquidificador Mallory (Fortaleza, Brasil) no modo pulsar por 20 s, e posteriormente a inulina, nas quantidades do delineamento experimental (Tabela B) foi misturada ao fubá, em batedeira orbital Premium (Mondial, Barueri, Brasil), na velocidade mínima. Com o auxílio de um borrifador, a água destilada previamente pesada e necessária para atingir as umidades do delineamento experimental foi continuamente aspergida à mistura, utilizando uma batedeira Premium (Mondial, Barueri, Brasil), na velocidade mínima. Ao final, as misturas foram acondicionadas em saco de polietileno (0,2

mm de espessura) e estocadas em geladeira ($\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$) por 24 h para o equilíbrio da umidade. Também foi definido um novo delineamento, o utilizado nesse trabalho (seção 4.3).

Na extrusão das amostras com o novo delineamento, as amostras dos 4 primeiros ensaios com ‘fubá e inulina’ não passaram, mesmo fixando a temperatura a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5° Teste

Como a utilização do fubá de milho se mostrou inviável, mesmo modificando a forma de padronizar a umidade e misturar a inulina, foi decidido utilizar o grits de milho, como matéria-prima, já que essa extrusora trabalha muito bem com esse tipo de matéria-prima. Também foi decidido ajustar a umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ e não só do grits, porque a inulina é um material bastante higroscópico e com alto potencial de caramelização, depois que passam as amostras, dificultando para fazer o desmonte do equipamento.

Para o ajuste da umidade da mistura ‘grits de milho e inulina’ (seção 4.3), porções de 450 g de grits de milho foram trituradas em liquidificador Mallory (Fortaleza, Brasil) no modo pulsar por 20 s, e posteriormente a inulina, nas quantidades do delineamento experimental (Tabela B), foi misturada ao grits de milho, em batedeira orbital Premium (Mondial, Barueri, Brasil), na velocidade mínima. Com o auxílio de um borrifador, a água destilada previamente pesada e necessária para atingir as umidades do delineamento experimental foi continuamente aspergida à mistura. Ao final, as misturas foram acondicionadas em saco de polietileno (0,2 mm de espessura) e estocadas em geladeira ($\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$) por 24 h para o equilíbrio da umidade.

Em um pré-teste com as condições extremas do delineamento (Tabela B), as amostras saíram muito secas e duras, na temperatura de $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, e algumas com pedaços de grits. Então foi passado na temperatura de $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ e as amostras saíram completamente pré-gelatinizadas.

Com isso, chegou-se as condições utilizadas nesse presente trabalho, sendo: três camisas helicoidais; rosca única de passo largo com taxa de compressão de 2,3:1 e relação comprimento/diâmetro (L/D) de 15,5:1; subtrafila de orifícios de 5,5 mm; trafilas de um orifício de 3,2 mm de diâmetro; temperaturas do canhão: zona 1 = desligada, zona 2 = $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, zona 3 = $90\text{ }^{\circ}\text{C}$; zona 4 e 5 = 140°C ; vazão de alimentação de 247 g/min; e velocidade de rotação da rosca de 192 rpm.

APÊNDICE B - RECRUTAMENTO DE VOLUNTÁRIOS PARA ANÁLISE DA RESPOSTA GLICÊMICA

IMPORTANTE: AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE FORMULÁRIO SÃO SIGILOSAS E CONFIDENCIAIS E É GARANTIDA A LIBERDADE DA RETIRADA DE SEU CONSENTIMENTO A QUALQUER MOMENTO PARA DEIXAR DE PARTICIPAR DESSE ESTUDO

A finalidade deste formulário é orientar e convidar consumidores interessados em participar da avaliação da resposta glicêmica em cereais matinais com adição de inulina desenvolvidos em uma pesquisa de doutorado da Universidade Estadual Paulista, campus São José do Rio Preto. As responsáveis por este estudo são a doutoranda Engenheira de Alimentos Suzane Martins Ferreira e a nutricionista Profa. Dra. Ana Carolina Conti e Silva.

A resposta glicêmica é uma análise utilizada para classificar os alimentos com base em seu potencial de elevada glicemia (taxa de açúcar no sangue). Assim, esse recrutamento se faz necessário para avaliação da resposta glicêmica de cereais matinais à base de grits de milho com adição de inulina, e com isso conhecermos o real efeito desses ingredientes na resposta glicêmica destes alimentos desenvolvidos na pesquisa.

Estudos científicos destacam que a resposta glicêmica de produtos panificados, cereais matinais com milho foi reduzida por meio da adição por matérias-primas ricas em fibra alimentar, como a inulina (frutanos). Dessa forma, a incorporação de fibras alimentares aos alimentos é uma das formas de melhorar a resposta glicêmica dos produtos, sendo os frutanos uma alternativa bastante estudada.

Assim, se você deseja contribuir com essa pesquisa esclarecemos alguns critérios necessários e importantes para sua participação:

- Ter mais que 18 anos de idade;
- Responder este questionário eletrônico;
- Fazer jejum de no mínimo 10 e no máximo 12 horas, antes do teste;
- Não consumir álcool e manter os hábitos alimentares e atividade física costumeiros, nos dias anteriores aos testes;

- Estar disponível durante 2h no período da manhã (entre terça a sexta-feira, com início das 7h às 9h, conforme sua disponibilidade) para participar de 5 dias de teste (1 por semana).

Descrição do que acontecerá durante a análise:

- 1) Medição da glicemia de jejum;
- 2) Consumo, em 10 minutos, de uma porção de pão (com 25g de carboidratos);
- 3) Medição das glicemias nos tempos de 15, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos após a ingestão (primeira mordida) do alimento
- 4) Entrega e explicação do preenchimento de uma ficha de avaliação de fome e saciedade

Portanto, trata-se de um trabalho importante, de cunho científico e acadêmico. Desse modo, pedimos que respondam as perguntas do questionário com calma e somente se tiver interesse e disponibilidade para participar dos testes. Então, vamos começar?

Dados pessoais:

Nome completo: _____

Idade: _____ Peso atual: _____ Altura: _____

Sexo: () Masculino () Feminino

Telefone (ou WhatsApp) para contato: _____

Email: _____

Condição atual de saúde:

Se mulher, está gestante ou amamentando: () Sim () Não

É fumante: () Sim () Não

É diabético () Sim () Não

Faz uso de alguma medicação? () Sim () Não.

Se sim, qual (is)? Por quê? _____

Pratica atividade física? () Sim () Não.

Se sim, qual (is)? Quantas vezes por semana _____

Fez teste de glicemia alguma vez por meio de punção da polpa digital (conforme ilustra a imagem ao lado)?

() Sim () Não

Se respondeu sim para a pergunta anterior, apresentou sensibilidade exacerbada?

Explique _____

Por favor, indique se algum dos alimentos abaixo te causa desconforto ou alergia:

() Pão

- ☐ Milho
- ☐ Fibra alimentar (inulina)
- ☐ Nenhum
- ☐ Outros: _____

Disponibilidade de participação:

Possui disponibilidade de participar de 5 dias de testes da resposta glicêmica de pão e cereal matinal, durante 2 horas cada, com intervalo de 1 semana entre eles? ☐ Sim ☐ Não

Qual seria o melhor dia da semana para você participar dos testes? Obs: Pode selecionar mais de uma opção*

- ☐ Terça-feira
- ☐ Quarta-feira
- ☐ Sexta-feira

Qual melhor horário da manhã para início dos testes para você? Obs: Pode selecionar mais de uma opção.

- ☐ 7:30 horas (término previsto às 9:30h)
- ☐ 8 horas (término previsto às 10h)
- ☐ 9 horas (término previsto às 11h)

APÊNDICE C - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 1

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE 1

(Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/2012 e Resolução 510/2016)

Você está sendo convidado a participar como voluntário do projeto de pesquisa “Cereal matinal de grits de milho adicionado de inulina: caracterização química, física, tecnológica e sensorial e determinação da resposta glicêmica”, sob responsabilidade da pesquisadora Suzane Martins Ferreira. Esta etapa da pesquisa consiste na análise de índice glicêmico de cereais matinais, a qual será realizada em quatro sessões (duas sessões para análise do pão branco, chamado de alimento controle, e duas sessões para análise de cereais matinais produzidos com fubá de milho, com ou sem inulina, que é uma fibra alimentar). A análise de índice glicêmico é um teste invasivo, realizado a partir de sete coletas de sangue por punções da polpa digital em cada dia de teste. Cada teste tem a duração de duas horas, com espaçamento de uma semana entre os experimentos. Haverá a coleta de sangue capilar da polpa digital com lancetas (agulhas) descartáveis, nos tempos 0 (jejum de 10 a 12 horas), 15, 30, 45, 60 e 120 minutos após a ingestão do alimento. Após o término da análise, será oferecido a você um café da manhã (produtos de panificação, suco, leite, café), devido ao jejum, e para que você possa retornar normalmente às suas atividades. Os riscos físicos à sua saúde são mínimos, embora os produtos sejam de consumo comum, além de serem manipulados utilizando-se as Boas Práticas de Manipulação/Fabricação. Ainda quanto aos riscos físicos, você poderá apresentar sensibilidade no local. Por isso, buscar-se-á reduzir tais desconfortos a partir da utilização de um lancetador com cinco níveis de profundidade de perfuração, sendo que o teste será iniciado com o menor nível para que seja possível encontrar o mais adequado para você, evitando desconfortos desnecessários. Serão excluídos os indivíduos fumantes, com uso de medicamentos controlados, e com qualquer patologia relacionada à ingestão de alimentos. Você poderá consultar a pesquisadora responsável em qualquer época, pessoalmente ou pelo telefone da instituição, para esclarecimento de qualquer dúvida. Você está livre para, a qualquer momento, deixar de participar da pesquisa. Todas as informações por você fornecidas e os resultados obtidos serão mantidos em sigilo, e estes últimos apenas serão utilizados para divulgação em reuniões e revistas científicas. Você será informado de todos os resultados obtidos, independentemente do fato destes poderem mudar seu consentimento em participar da pesquisa. Você não terá quaisquer benefícios ou direitos financeiros sobre os eventuais resultados decorrentes da pesquisa. No caso de eventual problema de saúde (efeito adverso) decorrente de sua participação nos testes sensoriais, você será encaminhado à Seção Técnica de Saúde do IBILCE, situado à Rua Cristóvão Colombo, 2265 – Jardim Nazareth – São José do Rio Preto/SP – Telefones (17) 3221.2415 – 3221.2416 – 3221.2485.

Diante das explicações, se você concorda em participar deste projeto, por favor, informe seus dados abaixo e assine este Termo.

Nome: _____ R.G. _____
Endereço: _____ Fone: _____

São José do Rio Preto, _____ de _____ de 2019

Usuário ou responsável legal

Pesquisador responsável

OBS.: Termo apresentado em duas vias, uma destinada ao usuário ou seu representante e a outra ao pesquisador.

Nome: Suzane Martins Ferreira.	Cargo/Função: Doutoranda.
Instituição: Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos/Ibilce/Unesp	
Endereço: Rua Cristóvão Colombo, 2265 – Jd. Nazareth – São José do Rio Preto/SP – Telefone: (17) 3221 2548	
Projeto submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa do IBILCE/UNESP São José do Rio Preto – Fone (17) 3221.2480 e 3221.2545	

APÊNDICE D - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 2

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE 2
(Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/2012 e Resolução 510/2016)

Você está sendo convidado a participar como voluntário do projeto de pesquisa “Cereal matinal de grits de milho adicionado de inulina: caracterização química, física, tecnológica e sensorial e determinação da resposta glicêmica”, sob responsabilidade da pesquisadora Suzane Martins Ferreira. Nesta etapa da pesquisa, você provará cereais matinais produzidos a partir de fubá de milho adicionado de inulina (fibra alimentar) e os avaliará sensorialmente. Os riscos físicos à sua saúde são mínimos, embora os produtos para elaboração dos cereais matinais sejam de consumo comum e tenham sido manipulados utilizando-se as Boas Práticas de Manipulação/Fabricação. Serão excluídos da pesquisa quaisquer indivíduos que possuam alergias e/ou intolerâncias alimentares, além de outras possíveis patologias associadas aos alimentos testados. Você poderá consultar a pesquisadora responsável em qualquer época, pessoalmente ou pelo telefone da instituição, para esclarecimento de qualquer dúvida. Você está livre para, a qualquer momento, deixar de participar da pesquisa. Todas as informações por você fornecidas e os resultados obtidos serão mantidos em sigilo, e estes últimos apenas serão utilizados para divulgação em reuniões e revistas científicas. Você será informado de todos os resultados obtidos, independentemente do fato destes poderem mudar seu consentimento em participar da pesquisa. Você não terá quaisquer benefícios ou direitos financeiros sobre os eventuais resultados decorrentes da pesquisa. No caso de eventual problema de saúde (efeito adverso) decorrente de sua participação nos testes sensoriais, você será encaminhado à Seção Técnica de Saúde do IBILCE, situado à Rua Cristóvão Colombo, 2265 – Jardim Nazareth – São José do Rio Preto/SP – Telefones (17) 3221.2415 – 3221.2416 – 3221.2485.

Diante das explicações, se você concorda em participar deste projeto, por favor, informe seus dados abaixo e assine este Termo.

Nome: _____ R.G. _____
Endereço: _____ Fone: _____

São José do Rio Preto, _____ de _____ de 2019

Usuário ou responsável legal

Pesquisador responsável

OBS.: Termo apresentado em duas vias, uma destinada ao usuário ou seu representante e a outra ao pesquisador.

Nome: Suzane Martins Ferreira.	Cargo/Função: Doutoranda.
Instituição: Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos/Ibilce/Unesp	
Endereço: Rua Cristóvão Colombo, 2265 – Jd. Nazareth – São José do Rio Preto/SP – Telefone: (17) 3221 2548	
Projeto submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa do IBILCE/UNESP São José do Rio Preto – Fone (17) 3221.2480 e 3221.2545	

ANEXO A - FICHA TÉCNICA DA INULINA GR

benec
connecting health from and inside

CRAFT CHILE S.A.
ALVARO RUTA 5 SUR
PAREDON
CHILE

Attention of Customer: Sweetener - Industria Comercio Exportacion e Exportacion Ltda
Sweetener - Industria Comercio Importacion e Exportacion Ltda
Rua Alcide de Castro 108
18045-751 Sorocaba-SP
Brasil

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of issuance : 08.12.2018
Doc. no : 170175
Site to : 170175 Sweetener - Industria Comercio
Order no. : 3200618796 / 31188728
Your order no : 118310202
Product : 43082019 CRAFT CH BAG 25KG (1T)
Batch no : RYVYKBANXB; pH: from 3.1 to 4.0
Best before date : 23.10.2023
Quantity : 1.000,00 KG **Date of production** : 23.10.2018

Analysis	Unit	Value	Range
Specifications:			
Physical-Chemical - white, amorphous product	Dry matter (g/100g)	99.5 %	99.0 - 99.9
	Color (brown)	4.0	0 - 500
	pH	3.3	3.0 - 4.0
	Conductivity (µS/cm)	14	0 - 250
Chromatography - powdered product	inulin (% DM)	80.8 %	80.0 - 90.0
	Glucose + Fructose + Sucrose (SOM)	9.1 %	0.0 - 10.0
Microbiology	Total viable bacteria (g dry)	0	0 - 1000
	Yeast (g dry)	0	0 - 30
	Mould (g dry)	0	0 - 30
	Enterobacteriaceae (g dry)	0	0 - 1000
	Thermotolerant spores (g dry)	0	0 - 1000

Customer note:
Insoluble in water, including (Glycerol, G. and
Water and other slightly sweet
Inorganic powder

Customer note for customer:
MONICA PERA VALLEJO
QUALITY ASSURANCE
& CONTROL MANAGER
CRAFT CHILE S.A.

[Signature]
Quality Control Manager

Page: 1 / 1

ANEXO B - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

UNESP - INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS LETRAS E CIÊNCIAS EXATAS/ CAMPUS											
PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP											
DADOS DO PROJETO DE PESQUISA											
Título da Pesquisa: DESENVOLVIMENTO DE CEREAL MATINAL OBTIDO POR MEIO DE EXTRUSÃO DE FUBÁ DE MILHO ADICIONADO DE INULINA: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA, TECNOLÓGICA E SENSORIAL E DETERMINAÇÃO DA RESPOSTA											
Pesquisador: SUZANE MARTINS FERREIRA											
Área Temática:											
Versão: 1											
CAAE: 80201617.1.0000.5466											
Instituição Proponente: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"											
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio											
DADOS DO PARECER											
Número do Parecer: 2.534.376											
Apresentação do Projeto:											
Trata-se de projeto de pesquisa, sob a responsabilidade de Suzane Martins Ferreira, aluna de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, com participação da Profa Dra. Ana Carolina Conti e Silva, orientadora e professora do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos deste Instituto. Pretende-se com o estudo desenvolver cereais matinais com valor nutricional e funcional agregados, e que possam contribuir para a redução do risco de uma série de doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes, resistência à insulina, obesidade e doenças cardiovasculares por meio da redução da resposta glicêmica.											
Objetivo da Pesquisa:											
Os objetivos da pesquisa serão produzir extrusados a partir de fubá de milho e inulina (fibra alimentar) utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta tendo como variáveis independentes a umidade, temperatura e porcentagem de inulina adicionada ao fubá, e como variáveis dependentes o teor de frutanos totais, as propriedades físicas e as propriedades tecnológicas dos extrusados. Será também utilizada a técnica de desejabilidade para que sejam selecionadas as melhores condições de cada variável independente para a obtenção de características de interesse nos extrusados. Depois de selecionadas as novas condições de extrusão, os novos extrusados serão obtidos e aspergidos sobre os mesmos uma solução de sacarose a 60 °Brix, na proporção de 14%, que serão secos a 60 °C, até se obter umidade final de 6% (base úmida), para a obtenção dos											
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">Endereço: CRISTOVÃO COLOMBO 2285</td> <td style="border: none;">CEP: 15.054-000</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Bairro: JARDIM NAZARETH</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;">UF: SP</td> <td style="border: none;">Município: SÃO JOSÉ DO RIO PRETO</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Telefone: (17)3221-2545</td> <td style="border: none;">Fax: (17)3221-2500</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border: none;">E-mail: camilabn@bilco.unesp.br</td> </tr> </table>		Endereço: CRISTOVÃO COLOMBO 2285	CEP: 15.054-000	Bairro: JARDIM NAZARETH		UF: SP	Município: SÃO JOSÉ DO RIO PRETO	Telefone: (17)3221-2545	Fax: (17)3221-2500	E-mail: camilabn@bilco.unesp.br	
Endereço: CRISTOVÃO COLOMBO 2285	CEP: 15.054-000										
Bairro: JARDIM NAZARETH											
UF: SP	Município: SÃO JOSÉ DO RIO PRETO										
Telefone: (17)3221-2545	Fax: (17)3221-2500										
E-mail: camilabn@bilco.unesp.br											

UNESP - INSTITUTO DE
BIOCIÊNCIAS LETRAS E
CIÊNCIAS EXATAS/ CAMPUS



Continuação do Parecer: 2.534.376

cereais matinais. Os cereais matinais serão avaliados quanto a composição centesimal, análise sensorial (teste de aceitação e perfil sensorial) e análise glicêmica in vivo.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os riscos físicos à saúde serão mínimos para os participantes da análise sensorial e da análise glicêmica. Os produtos serão manipulados utilizando-se as Boas Práticas de Manipulação/Fabricação. Na análise de índice glicêmico serão realizadas sete coletas de sangue por punções da polpa digital com lancetas (agulhas) descartáveis em cada dia de teste. Cada teste terá a duração de duas horas, com espaçamento de uma semana entre os testes. Haverá a coleta de sangue nos tempos 0 (jejum de 10 a 12 horas), 15, 30, 45, 60 e 120 minutos após a ingestão do alimento. Após o término de cada teste, será oferecido um café da manhã (produtos de panificação, suco, leite, café) ao participante, devido ao jejum, e para que retorne normalmente às suas atividades. Nesta análise poderá ocorrer uma pequena sensibilidade no local devido ao teste ser invasivo. A medida de glicose será feita em glicosímetro, equipamento de uso próprio para automonitoramento do controle de glicemia por indivíduos diabéticos. Não será, portanto necessário Profissional da Saúde especializado para coleta de sangue e medida da glicose.

Serão excluídos os indivíduos fumantes, com uso de medicamentos controlados, além dos que possuam alergias e/ou intolerâncias alimentares e possíveis patologias associadas aos alimentos testados.

Benefícios: a pesquisa poderá contribuir para o segmento de cereais matinais, pois fornecerá uma nova opção de cereal matinal adicionado de inulina (fibra alimentar) e com possível redução na resposta glicêmica.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa é relevante para a área de ciência e tecnologia de alimentos, pois se pretende produzir cereais matinais a partir de fubá de milho com adição de fibra alimentar. A pesquisa está bem referendada pela literatura. Há infraestrutura necessária da instituição proponente para execução do projeto. O projeto terá o custo de R\$ 6000,00 que será custeado por meio da Fapesp (projeto em avaliação).

Serão utilizados 150 participantes, 135 para as análises sensoriais, sendo 120 participantes para o teste de aceitação e 15 para o teste descritivo, e 20 participantes para a análise glicêmica.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

A pesquisadora preferiu apresentar dois TCLEs, um para as análises sensoriais e outro para a

Endereço: CRISTOVÃO COLOMBO 2265
Bairro: JARDIM NAZARETH CEP: 15.054-000
UF: SP Município: SÃO JOSÉ DO RIO PRETO
Telefone: (17)3221-2545 Fax: (17)3221-2500 E-mail: camilabn@ibilce.unesp.br

**UNESP - INSTITUTO DE
BIOCIÊNCIAS LETRAS E
CIÊNCIAS EXATAS/ CAMPUS**



Continuação do Parecer: 2.534.376

análise glicêmica. Todos os termos de apresentação obrigatória foram apresentados, com exceção da inclusão da "Resolução 466/2012 e Resolução 510/2016" conforme recomendação do Conselho Nacional de Saúde e modelo do Comitê de Ética deste Instituto (<http://www.ibilce.unesp.br/#!/comite/etica-em-pesquisa/termo-de-consentimento-livre-e-esclarecido---tcle/>). O TCLE é apresentado de forma adequada.

Recomendações:

Nada a declarar.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Os TCLEs devem ser corrigidos.

Considerações Finais a critério do CEP:

O Comitê de Ética em Pesquisa, em reunião ordinária de 22 de fevereiro de 2018, deliberou, por unanimidade, pela aprovação do presente Projeto de Pesquisa, entretanto, solicita à pesquisadora que faça a seguinte alteração nos TCLEs:

- complementar o cabeçalho com a informação - "Resolução 466/2012 e Resolução 510/2016".

Os relatórios parciais deverão ser encaminhados semestralmente, contando a partir desta data, conforme modelo em nossa página: <http://www.ibilce.unesp.br/#!/comite/etica-em-pesquisa/relatorio-projeto>.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB INFORMACOES_BASICAS_DO_P ROJETO_1033192.pdf	21/11/2017 14:25:53		Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto_Suzane.pdf	21/11/2017 14:23:27	SUZANE MARTINS FERREIRA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_pronto_cereais_matinas_comite _etica.doc	14/11/2017 11:37:06	SUZANE MARTINS FERREIRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_2017_Resposta_Glicemica.doc	14/11/2017 11:34:56	SUZANE MARTINS FERREIRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_2017_Aceitacao.doc	14/11/2017 11:33:31	SUZANE MARTINS FERREIRA	Aceito

Endereço: CRISTOVAO COLOMBO 2285
Bairro: JARDIM NAZARETH CEP: 13.054-000
UF: SP Município: SAO JOSE DO RIO PRETO
Telefone: (17)3221-2545 Fax: (17)3221-2500 E-mail: comitebm@ibilce.unesp.br

UNESP - INSTITUTO DE
BIOCIÊNCIAS LETRAS E
CIÊNCIAS EXATAS/ CAMPUS



Continuação do Parecer: 2.534.376

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

SAO JOSE DO RIO PRETO, 09 de Março de 2018

Assinado por:
Monica Abrantes Galindo de Oliveira
(Coordenador)

Endereço: CRISTOVÃO COLOMBO 2205 CEP: 13.054-000
Bairro: JARDIM NAZARETH
UF: SP Município: SAO JOSE DO RIO PRETO
Telefone: (17)3221-2545 Fax: (17)3221-2500 E-mail: camilabm@bilica.unesp.br