



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

Liara Silva Dias Faceto

Correlação entre análise sensorial e instrumental de textura de cereais
matinais expandidos e em formato de floco

São José do Rio Preto
2019

Liara Silva Dias Faceto

Correlação entre análise sensorial e instrumental de textura de cereais
matinais expandidos e em formato de floco

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 – Proc.
2014/24822-2; Proc. 2017/06713-0
CAPES

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina
Conti e Silva

São José do Rio Preto

2019

D541c Dias-Faceto, Liara Silva
Correlação entre análise sensorial e instrumental de textura de cereais
matinais expandidos e em formato de floco / Liara Silva Dias-Faceto. -- São
José do Rio Preto, 2019
181 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de
Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto
Orientadora: Ana Carolina Conti e Silva

1. Alimentos Avaliação sensorial. 2. Força (Mecânica). 3. Emissão acústica.
4. Produtos industrializados. 5. Correlação (Estatística). I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências
Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Liara Silva Dias Faceto

Correlação entre análise sensorial e instrumental de textura de cereais
matinais expandidos e em formato de floco

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 – Proc.
2014/24822-2; Proc. 2017/06713-0
CAPES

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Ana Carolina Conti e Silva
UNESP – São José do Rio Preto
Orientadora

Profa. Dra. Caroline Joy Steel
UNICAMP – Campinas/SP

Profa. Dra. Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici
UNICAMP – Campinas/SP

Profa. Dra. Célia Maria Landi Franco
UNESP – São José do Rio Preto/SP

Prof. Dr. Javier Telis Romero
UNESP – São José do Rio Preto/SP

São José do Rio Preto
26 de abril de 2019

Aos meus pais, meus irmãos e ao meu marido,

Ofereço.

A Deus,

*À minha mãe, Célia, rainha da minha vida, mulher forte e batalhadora,
À minha avó, Clélia (in memoriam), exemplo de ser humano e pessoa temente a Deus,
pelo apoio, interseção e amor além da vida,*

Dedico.

AGRADECIMENTO

Primeiramente, a Deus. Pelo dom da vida e pelas bênçãos e graças diárias em minha vida. Por me fazer sentir sua presença nos momentos mais difíceis, carregando-me em Seus braços para tornar a minha caminhada mais fácil.

À minha querida mãe, Célia, que sempre privilegiou minha educação e meus estudos, por seu apoio, dedicação e, a cima de tudo, seu amor incondicional em toda a minha vida.

Ao meu marido e companheiro, Dyego, por ser sempre esteio e refúgio na minha vida, por seu amor e apoio incondicionais, por sua paciência nos momentos mais difíceis e nas minhas, muitas, ausências, e pelo grande auxílio no preparo das análises sensoriais.

Aos meus irmãos, Bárbara, Davi e Luiza, que são a alegria da minha vida.

À minha família, que sempre me apoiou e incentivou.

Aos meus amigos que, de longe ou de perto, sempre foram muito importantes nos meus momentos de lazer, descontração e também quando precisei de conselhos e conforto

À minha querida orientadora, Profa. Dra. Ana Carolina Conti e Silva, exemplo de profissional e ser humano, pelo apoio incondicional desde o início (ou, mesmo, antes dele), pelo auxílio e disponibilidade em todos os momentos, pelos valiosos conhecimentos compartilhados, por sua importante contribuição na minha formação pessoal e profissional, e principalmente, pela amizade e companheirismo nesta caminhada.

À pesquisadora Dra. Ana Salvador, por aceitar ser minha supervisora durante o meu estágio de pesquisa no exterior, pela ajuda prestada desde a minha chegada à Espanha e pelos muitos conhecimentos compartilhados.

Aos amigos e companheiros de faculdade/laboratório e de vida, Aline, Ana Carolina, Carolina, Denise, Julaísa, Juliana (*in memoriam*), Lara, Larissa, Leonardo, Michele, Rachel, Samara, Suzane, Talita, Tatiane e Yara.

À técnica do laboratório e amiga, Alana, pelos ensinamentos, auxílio e disponibilidade sempre que precisei.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Contou também com o apoio do convênio FAPESP/CAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo/Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) com a concessão da bolsa de doutorado no país, processo nº 2014/24822-2, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

E com o apoio da FAPESP, pela concessão da bolsa de estágio em pesquisa no exterior (BEPE), processo nº 2017/06713-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

RESUMO

A textura envolve diversas características sensoriais e é considerada um atributo crítico para a qualidade de alguns produtos, como os cereais matinais. Os cereais matinais podem ser obtidos por dois principais processos tecnológicos: extrusão termoplástica e a laminação, sendo que ambos resultam em produtos crocantes e com reduzida atividade de água. Poucos trabalhos são encontrados na literatura científica a respeito da caracterização da textura instrumental e sensorial de cereais matinais expandidos e em formato de floco, além de estudos que correlacionem essas análises. Dessa forma, o objetivo geral do presente trabalho foi determinar o perfil de textura de cereais matinais comerciais expandidos e em formato de flocos, secos e após adição de leite, e a correlação entre análise sensorial e instrumental de textura destes alimentos. Foram avaliados cereais matinais expandidos nos formatos aglomerado de bolinhas (AB), bolinha (B1, B2, B3 e B4) e rosquinha (R); e cereais matinais em formato de floco (F1 a F8). Os cereais foram avaliados secos e após adição de leite. Foram realizados testes instrumentais de força e de propriedades acústicas utilizando um texturômetro com um detector acústico acoplado, e avaliando-se propriedades de força e acústicas obtidas por meio de diferentes testes/*probes*. As características sensoriais de textura foram avaliadas por meio de análise descritiva e de aceitação utilizando escala hedônica. Caracterizaram-se também os cereais expandidos por meio de microscopia eletrônica de varredura. As propriedades de força e acústicas mensuradas pelos diferentes tipos de aplicação de força/*probes* foram discriminadas dentre os cereais expandidos e em formato de flocos. O perfil sensorial de textura dos cereais matinais expandidos foi descrito por fraturabilidade, dureza, crocância, mastigabilidade e adesividade, e o dos cereais em formato de floco foi descrito por dureza, crocância e adesividade. A adição de leite causou perda da fraturabilidade dos cereais expandidos e a alteração do perfil do cereal em formato de floco F1. A elevada intensidade da dureza prejudicou a aceitação deste atributo nos cereais matinais expandidos secos, mas melhorou sua aceitação nos cereais após a adição de leite, enquanto o aumento da adesividade dos flocos após adição de leite prejudicou a aceitação da adesividade destes produtos. Microscopicamente, somente os cereais B3, B4 e R sofreram alteração significativa de sua estrutura interna pela adição de leite. Para os cereais matinais expandidos secos, os *probes blade set* (guilhotina e corte “V”) e *Ottawa* (com ambas as bases) se destacaram nas correlações instrumentais e sensoriais, enquanto apenas o *probe blade set* com guilhotina se destacou após a adição de leite.

Para os cereais matinais em formato de flocos, houve maior diversidade dentre os *probes* para se correlacionar com as características sensoriais, sendo os destaques os *probes blade set* com guilhotina, *Ottawa* (ambas as bases) e *Kramer* para os cereais secos, e os *probes blade set* com guilhotina e *Ottawa 17 blades* para os cereais após a adição de leite. As condições de análise acústica utilizadas permitiram obter correlações fortes entre as características acústicas instrumentais e sensoriais. As boas correlações entre análise sensorial e instrumental encontradas neste trabalho mostram que métodos instrumentais de avaliação de textura de cereais matinais, sejam eles expandidos ou em formato de floco, secos ou após adição de leite, possuem representatividade em relação a métodos sensoriais, e podem ser empregados pela indústria de alimentos gerando economia de tempo e redução de custos.

Palavras-chave: textura, cereais matinais, análise instrumental, análise descritiva, aceitação sensorial, microscopia eletrônica de varredura, correlação.

ABSTRACT

The texture involves several sensory characteristics and is considered a critical attribute for the quality of some products, such as breakfast cereals. Breakfast cereals can be obtained through two main technological processes: thermoplastic extrusion and lamination, and both result in crispy products with reduced water activity. Few studies are found in the scientific literature regarding the instrumental and sensory texture characterization of expanded and flake-shaped breakfast cereals, as well as studies that correlate these analyzes. Thus, the general aim of this study was to determine the sensory texture profile of commercial expanded and flake-shaped breakfast cereals, dry and after milk addition, and the correlation between sensory and texture analysis of these foods. Expanded breakfast cereals crowded-shaped (AB), ball-shaped (B1, B2, B3 and B4) and donut-shaped (R), and the flake-shaped (F1 to F8) were used. The cereals were evaluated dry and after milk addition. Instrumental tests of force and acoustic properties were performed using a texture analyzer with a coupled acoustic detector, and force and acoustic properties were obtained through different tests /probes. The sensory characteristics of texture were evaluated through descriptive analysis and acceptance using hedonic scale. The expanded cereals were also characterized through scanning electron microscopy. The force and acoustic properties measured through the different types of force/probes application were discriminated among the expanded cereals and the flake-shaped cereals. The sensory texture profile of the expanded cereals was described through fracturability, hardness, crispness, chewiness and adhesiveness, while the flake-shaped cereals was described by hardness, crispness and adhesiveness. The milk addition resulted in expanded cereals fracturability loss and in the change of the flake-shaped cereal F1 texture profile. The high intensity of hardness impaired the acceptance of this attribute in dry expanded cereals, but improved their acceptance after milk addition, while increasing the adhesiveness of the flake-shaped cereals after milk addition impaired the adhesiveness acceptance of these products. Microscopically, only B3, B4 and R expanded cereals have undergone significant alteration of their internal structure by milk addition. For dry expanded breakfast cereals, the blade set (guillotine and "V" shaped) and Ottawa (with both plates) stood out in the instrumental and sensory correlations, whereas only the probe blade set with guillotine stood out after the milk addition. For flake-shaped cereals, there was greater diversity among the probes to correlate with the sensory characteristics, being blade set with guillotine, Ottawa

(both plates) and Kramer highlighted for dry cereals, and the probes blade set with guillotine and Ottawa 17 blades for the cereals after adding milk. The acoustic analysis conditions used allowed strong correlations between instrumental and sensory acoustic characteristics. The good correlations between sensory and instrumental analysis found in this study show that instrumental evaluation methods for breakfast cereals texture, whether expanded or flake-shaped, dry or after milk addition, are representative of sensory methods and can be used by the food industry, saving time and reducing costs.

Keywords: *texture, breakfast cereals, instrumental analysis, descriptive analysis, sensory acceptance, scanning electron microscopy, correlation.*

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Fluxograma ilustrativo das transformações de energia necessárias para mensurar o som desde a sua emissão29
- Figura 2.** Representação das partes de uma extrusora33
- Figura 3.** Fluxograma explicativo do processo de laminação do milho35

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Cereais matinais expandidos48
- Figura 2.** *Probes* utilizados para a análise instrumental da textura dos cereais matinais. A. Cilíndrico 36 mm, B. *Blade set* com guilhotina, C. *Blade set* com corte “V”, D. *Ottawa*, D1. Base 3 mm, D2. Base *17 blades*, E. *Kramer*51
- Figura 3.** Disposição das amostras nos *probes Ottawa* e *Kramer*. A. *Ottawa* base 3 mm, B. *Ottawa* base *17 blades*, C. *Kramer*52
- Figura 4.** Microfone (A) e unidade de detecção acústica (B)52
- Figura 5.** Posição do microfone para cada *probe*. A. Cilíndrico, B. *Blade set* com guilhotina, C. *Blade set* com corte “V”, D. *Ottawa*, E. *Kramer*53
- Figura 6.** Questionário de recrutamento dos avaliadores56
- Figura 7.** Ficha do teste de diferença do controle – pré-seleção57
- Figura 8.** Modelo de ficha do método de rede adaptado – levantamento de termos57
- Figura 9.** Questionário de caracterização dos consumidores60
- Figura 10.** Modelo de ficha empregado para a análise de aceitação da textura dos cereais matinais expandidos secos. A. Ficha de avaliação dos cereais matinais expandidos secos, B. Ficha de avaliação dos cereais matinais expandidos após adição de leite62
- Figura 11.** Representação gráfica da correlação entre as variáveis para os dois primeiros fatores da análise multifatorial das características instrumentais e sensoriais dos cereais matinais expandidos. A. Secos, B. Após adição de leite87
- Figura 12.** Microfotografias eletrônicas de varredura dos cereais matinais expandidos90

CAPÍTULO 3

- Figura 1.** Cereais matinais em formato de floco101
- Figura 2.** *Probes* utilizados para a análise instrumental da textura dos cereais matinais. A. *Three point bending*, B. *Blade set* com guilhotina, C. *Blade set* com corte “V”, D. *Ottawa*, D1. Base

3 mm, D2. Base 17 blades, E. Kramer	105
Figura 3. Disposição das amostras nos <i>probes Ottawa</i> e <i>Kramer</i> . A. <i>Ottawa</i> base 3 mm, B. <i>Ottawa</i> base 17 blades, C. <i>Kramer</i>	106
Figura 4. Posição do microfone para cada <i>probe</i> . A. <i>Three point bending</i> , B. <i>Blade set</i> com guilhotina, C. <i>Blade set</i> com corte “V”, D. <i>Ottawa</i> , E. <i>Kramer</i>	106
Figura 5. Ficha de avaliação do perfil sensorial dos cereais matinais em formato de floco a partir do <i>FIZZ Sensory Analysis Software</i>	110
Figura 6. Modelo de ficha empregado para a análise de aceitação da textura dos cereais matinais em formato de floco no <i>FIZZ Sensory Analysis Software</i>	111
Figura 7. Cereal matinal em formato de floco após adição de leite durante análise com o <i>probe three point bending</i>	114
Figura 8. Análise multifatorial das características instrumentais e sensoriais dos cereais matinais em formato de floco. A. Secos, B. Após adição de leite	137

CAPÍTULO 4

Fig. 1. Crispy foods used in this study	150
Fig. 2. Combination of texture analyzer and acoustic envelope detector used for instrumental measurements: A. Volodkevich Bite Jaws probe (HDP/VB), B. heavy duty platform (HDP/90), C. circular support insert with a support ring (HDP/CFS), D. Brüel & Kjær microphone position.....	151
Fig. 3. Typical graph obtained during texture analysis: force in N (black line and scale on the left) and sound pressure level (SPL) in dB (gray line and scale on the right) <i>versus</i> time. Gain 1 (A) and gain 4 (B)	156
Fig. 4. Principal component analysis on sensory and instrumental texture of the crispy foods.....	162

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Ingredientes constituintes dos cereais matinais expandidos	49
Tabela 2. Umidade presente nos cereais matinais expandidos	50
Tabela 3. Características de força e propriedades acústicas dos cereais matinais expandidos obtidas a partir da análise instrumental de textura	54
Tabela 4. Definições e referências para os atributos da textura dos cereais matinais expandidos	59
Tabela 5. Número de picos de força (média ± desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais	67
Tabela 6. Força máxima média (N) (média ± desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais	68
Tabela 7. Adesividade instrumental (N.s) (média ± desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos após adição de leite	70
Tabela 8. Número de picos acústicos (média ± desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais	72
Tabela 9. Nível de pressão sonora (dB) (média ± desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais	73
Tabela 10. Intensidade dos atributos de textura (média ± desvio-padrão, n = 27) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite	75
Tabela 11. Aceitação sensorial de textura (médias ± desvio-padrão, n = 90) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais	78
Tabela 12. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos sensoriais descritivos e de aceitação, e as propriedades instrumentais medidas pelos diferentes <i>probes</i> para os cereais matinais expandidos secos	81
Tabela 13. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos sensoriais descritivos e de aceitação, e as propriedades instrumentais medidas pelos diferentes <i>probes</i> para os cereais matinais expandidos após adição de leite	84

Tabela 14. Ganho de massa dos cereais matinais expandidos, perda de massa do leite e perdas do processo	93
--	----

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Ingredientes constituintes dos cereais matinais em formato de floco	102
Tabela 2. Umidade presente nos cereais matinais em formato de floco	104
Tabela 3. Características de força e propriedades acústicas dos cereais matinais expandidos obtidas a partir da análise instrumental de textura	107
Tabela 4. Definições e referências para os atributos da textura dos cereais matinais em formato de floco secos	109
Tabela 5. Número de picos de força (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais	115
Tabela 6. Força máxima média (N) (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais	118
Tabela 7. Adesividade instrumental (N.s) (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais em formato de floco após adição de leite	121
Tabela 8. Número de picos acústicos (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais	122
Tabela 9. Nível de pressão sonora (dB) (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais	124
Tabela 10. Intensidade dos atributos de textura (média \pm desvio-padrão, n = 21) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite	127
Tabela 11. Aceitação sensorial de textura (médias \pm desvio-padrão, n = 71) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais	130
Tabela 12. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos sensoriais descritivos e de aceitação, e as propriedades instrumentais medidas pelos diferentes <i>probes</i> para os cereais matinais em formato de floco secos	133
Tabela 13. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos sensoriais descritivos e de aceitação, e as propriedades instrumentais medidas pelos diferentes <i>probes</i> para os cereais	

matinais em formato de floco após adição de leite	135
Tabela 14. Ganho de massa dos cereais matinais em formato de floco, perda de massa do leite e perdas do processo	140

CAPÍTULO 4

Table 1. Force characteristics and acoustic properties obtained from the texture analyzer for the crispy foods and sensory attributes related to the sensory analysis	152
Table 2. Force characteristics of the crispy foods (means \pm SD; n = 30)	157
Table 3. Acoustic properties of the crispy foods (means \pm SD; n = 15)	159
Table 4. Sensory attributes of the crispy foods (means \pm SD; n = 20)	160

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
OBJETIVOS	19
Objetivo geral.....	19
Objetivos específicos.....	19
ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	20
CAPÍTULO 1	
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL.....	21
1. TEXTURA	22
2. AVALIAÇÃO DA TEXTURA	25
2.1. Métodos instrumentais	25
2.2. Métodos sensoriais	30
3. CEREAIS MATINAIS.....	32
4. CORRELAÇÃO ENTRE ANÁLISE SENSORIAL E INSTRUMENTAL	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
CAPÍTULO 2	
CORRELAÇÃO ENTRE ANÁLISE SENSORIAL E INSTRUMENTAL DE TEXTURA DE CEREAIS MATINAIS EXPANDIDOS.....	45
1. INTRODUÇÃO	46
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.1. Material	48
2.1.1. Cereais matinais.....	48
2.1.2. Leite	50
2.2. Metodologia.....	50
2.2.1. Adição de leite	50
2.2.2. Análise instrumental de força e de propriedades acústicas.....	50
2.2.3. Análises sensoriais de textura dos cereais matinais	54
2.2.3.1. Análise sensorial descritiva de textura dos cereais matinais.....	54
2.2.3.2. Análise sensorial de aceitação da textura dos cereais matinais.....	60

2.2.4.	<i>Análise microscópica dos cereais matinais</i>	63
2.2.5.	<i>Ganho de massa por absorção de leite</i>	64
2.3.	Análise estatística	64
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
3.1.	Avaliação instrumental de força e de propriedades acústicas dos cereais matinais	66
3.2.	Avaliação sensorial da textura dos cereais matinais	74
3.2.1.	<i>Perfil sensorial de textura dos cereais matinais</i>	74
3.2.2.	<i>Aceitação sensorial da textura dos cereais matinais</i>	76
3.3.	Correlação entre textura sensorial e instrumental dos cereais matinais	80
3.4.	Análise microscópica	89
3.5.	Ganho de massa por absorção de leite	92
4.	CONCLUSÃO	94
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

CAPÍTULO 3

CORRELAÇÃO ENTRE ANÁLISE SENSORIAL E INSTRUMENTAL DE TEXTURA DE CEREAIS MATINAIS EM FORMATO DE FOCO98

1.	INTRODUÇÃO	99
2.	MATERIAL E MÉTODOS	101
2.1.	Material	101
2.1.1.	<i>Cereais matinais</i>	101
2.1.2.	<i>Leite</i>	104
2.2.	Metodologia	104
2.2.1.	<i>Adição de leite</i>	104
2.2.2.	<i>Análise instrumental de força e de propriedades acústicas</i>	104
2.2.3.	<i>Análises sensoriais de textura dos cereais matinais</i>	107
2.2.3.1.	<i>Análise sensorial descritiva da textura dos cereais matinais</i>	108
2.2.3.2.	<i>Análise sensorial de aceitação dos cereais matinais</i>	110
2.2.4.	<i>Ganho de massa por absorção de leite</i>	112
2.3.	Análise estatística	112
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	114
3.1.	Avaliação instrumental de força e de propriedades acústicas dos cereais matinais	114
3.2.	Avaliação sensorial da textura dos cereais matinais	126

3.2.1.	<i>Perfil sensorial de textura dos cereais matinais</i>	126
3.2.2.	<i>Aceitação sensorial da textura dos cereais matinais</i>	128
3.3.	Correlação entre textura sensorial e instrumental dos cereais matinais	132
3.4.	Ganho de massa por absorção de leite	140
4.	CONCLUSÃO	142
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143

CAPÍTULO 4

	<i>ACOUSTIC SETTINGS COMBINATION AS A SENSORY CRISPNESS INDICATOR OF CRISPY FOOD</i>	145
	ABSTRACT	147
1.	INTRODUCTION	148
2.	MATERIAL AND METHODS	150
2.1.	Material	150
2.2.	Instrumental analysis of force and acoustic properties	150
2.3.	Texture sensory profile	152
2.4.	Statistical analyses	153
3.	RESULTS AND DISCUSSION	155
3.1.	Force and acoustic properties	155
3.2.	Sensory texture	160
3.3.	Correlation between instrumental and sensory analyses	161
4.	CONCLUSION	163
5.	REFERENCES	164
	CONCLUSÃO GERAL	166
	APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	168
	APÊNDICE B - SELEÇÃO DO PAINEL SENSORIAL DE AVALIAÇÃO DOS CEREAIS MATINAIS EXPANDIDOS	169
	APÊNDICE C - SELEÇÃO DO PAINEL SENSORIAL DE AVALIAÇÃO DOS CEREAIS MATINAIS EM FORMATO DE FLOCO	174
	ANEXO A - PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA	179

INTRODUÇÃO GERAL

Os alimentos são formados por uma mistura de moléculas de diversos compostos químicos, e a forma como estas moléculas interagem dá origem à estrutura do alimento, seja ele líquido, semissólido ou sólido. A estrutura de alimentos *in natura* é formada a partir de ligações intermoleculares, e modificada por reações químicas quando o alimento é processado (FOEGEDING; STIEGER; VAN DE VELDE, 2017; KOÇ et al., 2013; PASCUA; KOÇ; FOEGEDING, 2013).

O contato dos receptores sensoriais humanos com a estrutura do alimento permite a percepção da textura deste. Esta percepção se inicia visualmente, com uma primeira impressão, continua com o contato manual, em que forças não destrutivas são aplicadas pelos dedos e mais informações a respeito da textura são obtidas. A ingestão do alimento aliada ao processo mastigatório são os responsáveis pela completa e real percepção da textura do alimento. Neste processo, forças de deformação são aplicadas ao alimento pelos dentes e pela língua, e uma mistura de sensações simultâneas ocorrem nos receptores táteis de toda a cavidade oral. Tais sensações são provocadas pela aplicação de forças de reação do alimento à sua ruptura, pela percepção do tamanho e formato das partículas do alimento, pelo conhecimento da umidade e da oleosidade do mesmo. A junção destas diferentes sensações dentro da boca, ao mesmo tempo, forma a complexa percepção da textura de um alimento (KOÇ et al., 2013; SZCZESNIAK, 2002).

Para a investigação e conseqüentemente conhecimento da textura de um alimento, ou de uma classe de alimentos, faz-se necessário avaliar e mensurar as variáveis constituintes da textura. Esta mensuração pode ser feita de forma instrumental, empregando um equipamento chamado texturômetro, o qual possui a função de exercer sobre o alimento forças de ruptura análogas às realizadas pelos dentes humanos durante a mastigação. Podem ser analisadas forças de compressão, corte, extrusão e cisalhamento (BOURNE, 2002a). Entretanto, é imprescindível que análises sensoriais também sejam realizadas para avaliar o perfil de textura de um alimento, pois somente os sentidos humanos conseguem identificar e avaliar as características de textura percebidas durante a mastigação. No perfil sensorial de textura são avaliados parâmetros como fraturabilidade, dureza, coesividade, mastigabilidade, entre outros (BRANDT; SKINNER; COLEMAN, 1963). Fatores como incorporação de saliva e temperatura do interior não podem

ser mimetizados pelo texturômetro, e consistem em limitações da avaliação instrumental da textura de alimentos (LILLFORD, 2018; MOSCA; CHEN, 2017).

Existem alguns produtos alimentícios cuja textura é um atributo sensorial crítico, da qual depende a aceitação ou rejeição do produto pelo consumidor. É o caso dos cereais matinais, produtos crocantes, *ready-to-eat*, que podem ser obtidos por processo de extrusão termoplástica (DELCOUR; HOSENEY, 2010) ou laminação (FAST, 2001). Atualmente, a tecnologia de alimentos e a pesquisa acadêmica estão voltadas à preocupação da população com a saúde e têm investido cada mais no desenvolvimento de cereais matinais com elevado teor de fibras e/ou integrais. A limitação deste fato se dá na alteração que as fibras ocasionam na textura de cereais matinais, podendo reduzir ou aumentar a dureza do produto, de acordo com o tipo de fibra incorporado (ROBIN; SCHUCHMANN; PALZER, 2012). Dessa forma, os desenvolvimentos têm sido acompanhados por análises de aceitação sensorial, visando avaliar e melhorar a textura dos novos produtos (ROBIN; PALZER, 2015).

Assim, as correlações entre análise sensorial e instrumental de alimentos permitem identificar métodos instrumentais capazes de mimetizar a mastigação humana (SZCZESNIAK, 1987). No entanto, a falta de estudos que correlacionem dados instrumentais e sensoriais da textura de cereais matinais comerciais expandidos e em formato de floco torna necessária a investigação destas características, visando a geração de conhecimento científico a respeito da textura deste tipo de alimento e a contribuição com a literatura acadêmica e indústria de alimentos.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Determinar o perfil de textura de cereais matinais comerciais expandidos e em formato de flocos, secos e após adição de leite, e a correlação entre análise sensorial e instrumental de textura destes alimentos.

Objetivos específicos

Avaliar as propriedades instrumentais de força e acústica dos cereais matinais por meio de diferentes testes/*probes* e de detector acústico acoplado ao texturômetro.

Determinar o perfil de textura dos cereais matinais por meio de análise sensorial descritiva.

Analisar a aceitação sensorial da textura dos cereais matinais por meio de escala hedônica.

Correlacionar os resultados das análises instrumentais e sensoriais dos cereais matinais por meio de análise multifatorial.

Avaliar microscopicamente a estrutura dos cereais matinais expandidos por meio de microscopia eletrônica de varredura.

Investigar a crocância de diversos produtos, a fim de determinar a condição mais adequada de análise instrumental correlacionada à percepção sensorial da crocância, e assim utilizá-la na caracterização dos cereais matinais.

ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

A presente tese está organizada em quatro capítulos, distribuídos por temas e tipos de produto alimentício empregado como amostra. Tal divisão será, também, empregada na publicação dos resultados.

Capítulo 1: Revisão bibliográfica geral

Aborda a teoria e a atualidade dos assuntos estruturadores da tese: textura, avaliação e mensuração da textura por meio de métodos sensoriais e instrumentais, cereais matinais e correlação entre métodos sensoriais e instrumentais.

Capítulo 2: Correlação entre análise sensorial e instrumental de textura de cereais matinais expandidos

Consiste na avaliação da textura de cereais matinais expandidos (com e sem leite) por meio de análise sensorial e análise instrumental de força e acústica, e na determinação de suas correlações, de forma a definir qual *probe* e qual parâmetro extraído da análise acústica melhor se correlacionam com a textura sensorial dos produtos.

Capítulo 3: Correlação entre análise sensorial e instrumental de textura de cereais matinais em formato de floco

Este capítulo possui o mesmo objetivo que o Capítulo 2, empregando-se cereais matinais em formato de floco.

Capítulo 4: *Acoustic settings combination as a sensory crispness indicator of crispy food*

Capítulo apresentado no formato de artigo resultante de estágio de pesquisa no exterior, artigo a ser submetido a periódico internacional. Tal capítulo aborda a definição da metodologia adequada para a avaliação instrumental acústica da textura de produtos alimentícios com diferentes intensidades de crocância, empregando-se uma combinação de configurações do instrumento de detecção acústica que apresentem correlações forte com a textura sensorial. Tal metodologia foi empregada nos demais capítulos do trabalho.

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

1. TEXTURA

Os alimentos são sistemas compostos, formados por uma mistura de moléculas de diversos componentes químicos, e a forma como estas moléculas se comportam e interagem entre si na matriz alimentícia constitui a estrutura do alimento, a qual pode ser observada em nível nano, micro e macroscópico (KOÇ et al., 2013; PASCUA; KOÇ; FOEGEDING, 2013). A estrutura dos alimentos é formada pela própria natureza, por meio das ligações intermoleculares, no que diz respeito a produtos *in natura*, sejam eles de origem animal ou vegetal, ou é desenvolvida durante o processamento de produtos alimentícios (FOEGEDING; STIEGER; VAN DE VELDE, 2017), e neste caso, é resultante de reações físicas, químicas e bioquímicas entre as moléculas do alimento, ou dos alimentos constituintes do produto alimentício. Diferentes estruturas podem ser encontradas nos alimentos, podendo ser uma estrutura fibrosa como em carnes, celular como em frutas e vegetais (KOÇ et al., 2013; PASCUA; KOÇ; FOEGEDING, 2013), ou ser formada por trituração/homogeneização como em sucos e sopas, por aeração como pães, bolos, cereais matinais e *snacks* extrusados (CAMPBELL; WAGONER; FOEGEDING, 2017) ou por formação de géis como em queijos (FOEGEDING; STIEGER; VAN DE VELDE, 2017).

A estrutura do alimento está intimamente relacionada com a percepção da sua textura por meio dos órgãos sensoriais humanos. Segundo Szczesniak (2002) a textura é a manifestação sensorial das propriedades mecânicas, estruturais e superficiais dos alimentos, percebidos pelos receptores sensoriais da visão, audição, tato e sentido cinestésico. Enquanto o tato é considerado um sentido somestésico, pois possui diferentes tipos de receptores sensoriais que permitem a percepção de diferentes estímulos, como textura, temperatura e dor, o sentido cinestésico está relacionado à percepção gerada a partir do movimento ou tensão de músculos e tendões, podendo ser considerado uma parte do sentido do tato (WILLIAMSON, 2007).

A aplicação de uma força capaz de causar uma deformação na estrutura do alimento é necessária para que este aplique uma força de reação, de igual magnitude e em sentido contrário à primeira força e gere a sensação de textura nos receptores sensoriais (KOÇ et al., 2013; SZCZESNIAK, 2002). E a sensação gerada vai depender do tipo de alimento, da organização da sua estrutura macro e microscópica e da forma como ele se rompe ao ser mordido e como se comporta durante o processo mastigatório (LILLFORD, 2001).

Entretanto, antes de levar o alimento à boca para ser mastigado, isto é, para aplicar as forças de deformação, o contato visual é capaz de transmitir ao cérebro uma ideia preliminar, e uma primeira impressão a respeito da textura do alimento. A análise visual pode ser feita a partir da observação da estrutura externa e/ou interna do alimento, para verificar se a superfície é lisa ou rugosa, se existem bolhas, e se as bolhas presentes são uniformes ou não-uniformes, se existem partículas dispersas, entre outras (PASCUA; KOÇ; FOEGEDING, 2013; STIEGER; VAN DE VELDE, 2013; WILKINSON; DIJKSTERHUIS; MINEKUS, 2001). Outra forma de análise da textura que pode ser realizada antes da ingestão do alimento consiste na avaliação manual, aplicação de forças por meio das mãos. Podem ser avaliadas a dureza e a elasticidade, comprimindo-se o alimento entre os dedos e, em seguida, observando-se sua capacidade de retornar ao seu formato original (STIEGER; VAN DE VELDE, 2013).

Ao ser ingerido, o alimento passa pelo processamento mastigatório dentro da boca, que tem por finalidade reduzir o tamanho das partículas do alimento e lubrificá-lo com saliva para facilitar a deglutição. Desde a primeira mordida até a deglutição, diferentes sensações de textura são geradas concomitantemente durante a mastigação, e à medida em que a estrutura do alimento vai sendo destruída, novas sensações vão sendo formadas. Os receptores táteis dos dentes, língua e palato geram a percepção de características inerentes às forças de ruptura do alimento, ao tamanho e formato das partículas constituintes do alimento, e ao conteúdo de umidade e oleosidade deste (CHEN, 2015; CHRISTENSEN, 1984; STOKES; BOEHM; BAIER, 2013). Estas sensações variam de acordo com o tipo de alimento e com o indivíduo que o ingere, pois são dependentes de fatores como a taxa e a magnitude das forças aplicadas para romper a estrutura física do alimento, a temperatura da boca, a quantidade de saliva agregada durante a mastigação e o tempo de mastigação gasto para que o alimento esteja pronto para a deglutição (BOURNE; SZCZESNIAK, 2003).

As características relacionadas à maneira como o alimento se comporta quando recebe a aplicação de uma força de deformação são denominadas propriedades mecânicas, e são constituídas pelas características fraturabilidade, dureza, coesividade, viscosidade, elasticidade, mastigabilidade/gomosidade e adesividade. Os aspectos físicos da estrutura do alimento, relacionados com o tamanho, forma e orientação das partículas que o constituem definem as características geométricas. Por fim, termos como suculento, oleoso e gorduroso caracterizam a percepção da presença de água, óleo ou gordura em um alimento (SZCZESNIAK, 1963a).

Tais características podem ser definidas fisicamente como:

- Fraturabilidade: força com a qual o alimento fratura, isto é, quebra em pedaços;
- Dureza: força para causar uma deformação no alimento;

- Coesividade: extensão até a qual o alimento pode ser deformado antes da ruptura;
- Viscosidade (alimentos líquidos e semissólidos): taxa de fluxo por unidade de força, ou velocidade com que um fluido escoar;
- Elasticidade: taxa com que um alimento que sofreu deformação volta à sua condição original, após removida a força de deformação;
- Mastigabilidade (alimentos sólidos) ou gomosidade (alimentos semissólidos): energia requerida para mastigar um alimento sólido até que ele esteja pronto para deglutição, ou energia requerida para desintegrar um alimento semissólido até estar pronto para a deglutição;
- Adesividade: energia necessária para superar as forças atrativas entre a superfície do alimento e a do material ao qual ele está em contato, que são, na maioria das vezes, os dentes (CIVILLE; SZCZESNIAK, 1973; SZCZESNIAK, 1963a, 2002).

Há uma característica muito importante para a textura dos alimentos que não se adequa a nenhuma das classificações anteriores, pois sua percepção não ocorre nos receptores táteis do interior da boca, mas sim nos receptores auditivos, que é a crocância. O rompimento do alimento no interior da boca causa a vibração das ondas sonoras, as quais são captadas pelos ouvidos, que transmitem a sensação ao cérebro e geram a sua percepção. Ela é considerada um atributo crítico para a aceitação ou rejeição de alguns alimentos, como por exemplo biscoitos, cereais matinais, *snacks* extrusados, chips, maçã, alface, entre outros (DUIZER, 2001; TUNICK et al., 2013).

Além da classificação das características de textura de acordo com sua estrutura física e reação às forças aplicadas, pode-se classificá-las também pela forma como são percebidas sensorialmente durante a mastigação. Dureza, coesividade, viscosidade, elasticidade e adesividade são definidas como características primárias de textura, pois são percebidas durante a primeira mordida ou compressão língua-palato, a partir da aplicação de uma única força. Fraturabilidade e mastigabilidade (alimentos sólidos)/gomosidade (alimentos semissólidos) são características secundárias de textura, pois sua percepção pelo organismo humano ocorre durante o processo mastigatório, enquanto ocorre a desintegração da estrutura do alimento (CIVILLE; SZCZESNIAK, 1973; PASCUA; KOÇ; FOEGEDING, 2013; SZCZESNIAK, 2002).

Alguns autores incluem ainda, nesta classificação, dois outros tipos de características: as de pré-fratura e as residuais. As de pré-fratura (STIEGER; VAN DE VELDE, 2013) são

aquelas na qual, antes da ingestão, o alimento sofre a aplicação de uma força com as mãos ou com um talher, podendo ser avaliadas a dureza, a elasticidade e a espalhabilidade. Esta característica pode ser também avaliada no interior da boca, e forças são exercidas pelos molares e pela língua, sem a intenção de romper o alimento, mas apenas a fim de avaliar sua elasticidade (PASCUA; KOÇ; FOEGEDING, 2013; STIEGER; VAN DE VELDE, 2013). As características residuais são as sensações remanescentes na boca após a deglutição do alimento, tais como partículas residuais, sensação de suavidade, cremosidade ou oleosidade (BRANDT; SKINNER; COLEMAN, 1963; STIEGER; VAN DE VELDE, 2013).

Portanto, considerando que a textura é a manifestação sensorial da estrutura do alimento e a maneira como esta estrutura reage às forças aplicadas, ela pode ser avaliada instrumentalmente e sensorialmente.

2. AVALIAÇÃO DA TEXTURA

2.1. Métodos instrumentais

Os métodos instrumentais podem ser classificados como diretos e indiretos. Os métodos diretos são subdivididos em:

- Fundamentais: análise de propriedades reológicas;
- Empíricos: métodos rápidos utilizados em análises rotineiras de controle de qualidade em indústrias;
- Imitativos/miméticos: mimetizam as forças realizadas durante a mastigação.

Já os métodos indiretos são assim denominados pelo fato de determinarem propriedades físicas que se correlacionem com características de textura, podendo ser químicos, acústicos, ópticos, e outros que apresentem boa correlação com resultados de métodos instrumentais diretos ou com métodos sensoriais (BOURNE, 2002a; SZCZESNIAK, 1963b).

Inicialmente, a textura de alimentos era avaliada por meio da reologia, e não havia uma nomenclatura que associasse as propriedades reológicas com as características percebidas sensorialmente. Baseando-se nestas características, Szczesniak (1963a) realizou um estudo com a finalidade de compilar as definições populares do termo “textura” e desenvolver uma terminologia para relacionar as propriedades reológicas com os termos populares utilizados para descrever as características de textura, os quais tinham relação com as percepções sensoriais da textura. Concomitantemente a esta padronização e classificação dos termos,

Friedman, Whitney e Szczesniak (1963) desenvolveram um equipamento capaz de mimetizar as forças aplicadas pelos dentes durante a mastigação, e dessa forma, analisar instrumentalmente os alimentos de forma mais próxima à sua percepção sensorial. E para comprovar a proximidade dos resultados instrumentais obtidos por meio deste equipamento com as percepções sensoriais, Szczesniak, Brandt e Friedman (1963) desenvolveram escalas para medição das características sensoriais de textura e, assim, correlacionar os resultados instrumentais com os sensoriais.

Entretanto, o equipamento desenvolvido por Friedman, Whitney e Szczesniak (1963), o texturômetro, não foi o primeiro equipamento capaz de mimetizar o movimento e as forças exercidas na mastigação. Ele surgiu após algumas adaptações e ajustes a partir do tenderômetro, desenvolvido e utilizado pelo Laboratório de Tecnologia de Alimentos do *Massachusetts Institute of Technology*, o *M.I.T. Denture Tenderometer* (PROCTOR; DAVISON; BRODY, 1956a, 1956b).

Juntamente com o desenvolvimento do texturômetro, Friedman, Whitney e Szczesniak (1963) desenvolveram a Análise do Perfil de Textura (TPA, *Texture Profile Analysis*), análise na qual o equipamento realiza duas compressões do alimento separadas por determinado período de tempo, com a finalidade de simular a mastigação, e possibilitar a avaliação da elasticidade do alimento. Atualmente, os instrumentos utilizados na medição de textura e na realização da Análise do Perfil de Textura possuem funcionamento similar ao do *Instron Universal Testing Machine*, uma adaptação do primeiro modelo de texturômetro (BOURNE, 1968; BOURNE; MOYER; HAND, 1966), sendo um bom exemplo o texturômetro TA.XT/Plus/50 da *Stable Micro Systems* (Godalming, Reino Unido).

Além da TPA, outros tipos de testes podem ser realizados no texturômetro. Dispositivos denominados *probes* são os responsáveis pelo contato e deformação do alimento, e seus diferentes formatos proporcionam os diversos testes possíveis, sendo que alguns são descritos a seguir:

- O teste de compressão uniaxial utiliza mais comumente o *probe* cilíndrico, o qual exerce força sobre o alimento em apenas uma direção, e o deslocamento do *probe* deve ser de metade da altura da amostra e seu diâmetro maior ou igual ao da amostra para ser denominado teste de compressão (BOURNE, 2002);
- O teste de flexão pode ser realizado aplicando-se força em duas regiões do alimento: quando o *probe* é formado por um apoio, a parte móvel exerce força na extremidade oposta da amostra, e quando o *probe* possui dois apoios, a parte móvel exerce força no ponto médio entre os dois apoios (BOURNE, 2002);

- O teste de corte consiste em causar uma ruptura na região central do alimento por meio de *probe* dotado de uma lâmina, que pode ser retilínea ou ter formato de forquilha, como um “V” invertido. Este formato causa uma leve flexão da amostra no momento do corte (BOURNE, 2002);

- No teste de extrusão, o *probe* consiste de uma caixa cúbica e um dispositivo móvel que exerce a força, sendo que esta caixa cúbica pode conter ou não um orifício ou grade em sua base inferior. Quando a caixa possui um orifício/grade, realiza-se o teste de *forward extrusion*, em que o alimento é impulsionado para a mesma direção de aplicação da força e é forçado a passar pelo orifício/grade. O segundo tipo é empregado em testes de *back extrusion*, no qual o alimento é forçado a movimentar-se na direção oposta à aplicação da força (BOURNE, 2002);

- O teste de cisalhamento implica, muitas vezes, na aplicação de forças de compressão e extrusão simultâneas à força de cisalhamento, pois somente alimentos de baixa dureza são rompidos pela aplicação de uma força de cisalhamento isoladamente, e os demais necessitam de uma força de compressão para gerar o cisalhamento. A célula padrão da *Food Technology Texture Press*, a qual ficou conhecida como célula de *Kramer*, é geralmente empregada para este tipo de teste. Seu sistema é formado por um dispositivo móvel dotado de lâminas paralelas e uma célula com fendas na base inferior que permitem a penetração das lâminas. Alimentos submetidos à análise neste *probe* sofrem o efeito de forças de compressão, cisalhamento e extrusão no momento em que o alimento é forçado a passar pelas fendas (BOURNE, 2002; KRAMER; SZCZESNIAK, 1973; SZCZESNIAK, 1969).

Embora a capacidade mimética do texturômetro tenha sido comprovada por alguns estudos (PAULA, CONTI-SILVA, 2014; SALVADOR et al., 2009; SZCZESNIAK; BRANDT; FRIEDMAN, 1963), e investigada até os dias atuais utilizando-se diferentes produtos alimentícios, o método possui algumas limitações no que diz respeito à incorporação de saliva ao alimento e à temperatura da boca, pelo fato de serem condições não reprodutíveis no equipamento. Ao agregar saliva ao alimento, eleva-se sua umidade e incorporam-se as enzimas constituintes da saliva, ocasionando diversas modificações na matriz do alimento, que não podem ser mensuradas pelo texturômetro. Ainda que se aplique saliva ao alimento, ou analise-se o bolo alimentar, as condições são diferentes, devido à temperatura em que as interações saliva-alimento ocorrem no interior da boca. As características de textura que sofrem maior influência da presença da saliva são a mastigabilidade/gomosidade e a adesividade, por serem dependentes da taxa de incorporação de saliva, e alguns alimentos não apresentam

adesividade quando secos, mas passam a ter após agregar saliva, como é o caso das balas de caramelo mastigáveis (LILLFORD, 2018; MOSCA; CHEN, 2017).

A análise acústica pode auxiliar no completo entendimento da textura dos alimentos, principalmente dos crocantes. A compressão do alimento a uma determinada velocidade provoca o rompimento de sua estrutura, gerando a vibração das ondas sonoras, e a consequente formação de som, de tal forma que, para haver a captação do ruído gerado, um dispositivo de detecção acústica deve ser vinculado ao texturômetro (ARIMI et al., 2010; KILCAST, 2013). Existem dois tipos de dispositivos de detecção acústica: o primeiro é acoplado ao *probe*, e entra em contato com o alimento, captando o som gerado no momento da ruptura (ZDUNEK et al., 2011; ZDUNEK; KONOPACKA; JESIONKOWSKA, 2010); o segundo, que pode ser um sensor ou um microfone, não entra em contato com o alimento, mas capta a vibração das ondas sonoras nas proximidades da amostra, podendo ser posicionado em diferentes distâncias e ângulos em relação ao alimento (IWATANI et al., 2011).

O microfone mede a frequência das ondas sonoras, registra os picos formados e gera um gráfico de voltagem x tempo. O formato das linhas geradas possui complexidade diretamente proporcional à crocância do alimento, sendo que quanto maior a crocância, maior a altura e a irregularidade dos picos (ARIMI et al., 2010; KILCAST, 2013). Os microfones são transdutores, dispositivos que convertem a energia acústica captada em energia elétrica, e os sinais elétricos gerados podem ser transmitidos e/ou processados para posteriormente serem reproduzidos (uso comum em shows, palestras). No entanto, os sinais elétricos também podem servir como instrumentos de medição, pois os sinais acústicos são convertidos em correntes elétricas, processadas e exibidas como gráficos (Figura 1) (BERANEK; MELLOW, 2012), como é o caso dos microfones que compõem o dispositivo de detecção acústica acoplado a um texturômetro. Neste caso, suas correntes elétricas são transformadas em gráfico pelo *software* de análise de textura. O gráfico formado pode plotar o som captado em termos de energia acústica (V) ou converter para ‘nível de pressão sonora’ (dB). E os resultados são mensurados como ‘nível de pressão sonora’, uma grandeza Física relativa, dada pela relação logarítmica entre a pressão sonora medida a partir de uma fonte emissora de som e a pressão sonora de referência, que é o limiar de audição dos seres humanos (20 µPa), considerado como nível de pressão sonora igual a 0 dB. Este valor é usado para a calibração de dispositivos de detecção acústica (BERANEK; MELLOW, 2012; WINER, 2017), calculada de acordo com a equação:

$$SPL = 20 \times \log \frac{p}{p_{ref}}$$

(BERANEK; MELLOW, 2012)

em que:

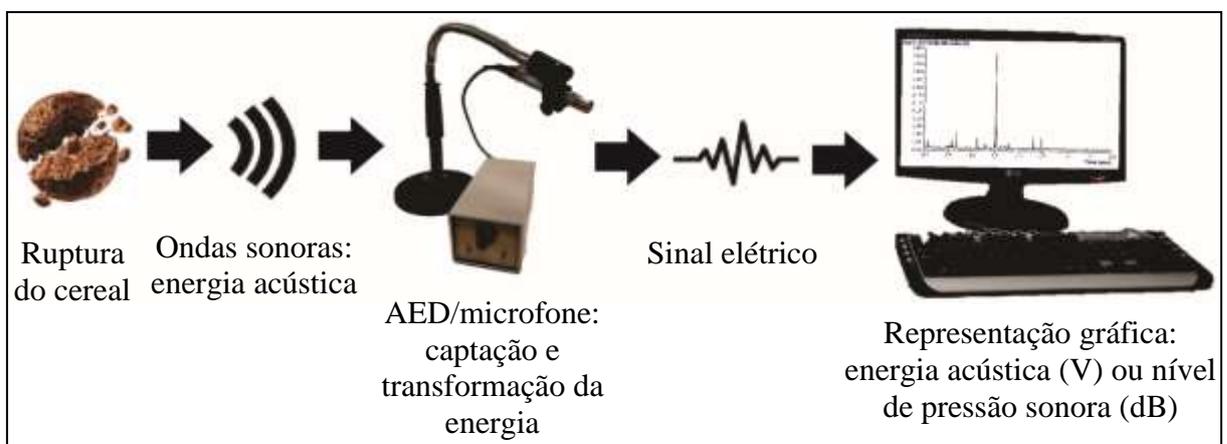
SPL : nível de pressão sonora (do Inglês ‘*sound pressure level*’);

p : pressão sonora medida;

p_{ref} : pressão sonora de referência = $20 \mu Pa = 0 \text{ dB}$

Em termos práticos, o ‘nível de pressão sonora’ representa o “volume” do som percebido pelos seres humanos (BERANEK; MELLOW, 2012; WINER, 2017).

Figura 1. Fluxograma ilustrativo das transformações de energia necessárias para mensurar o som desde a sua emissão.



Outra forma de analisar indiretamente a textura de um alimento se dá pela análise microscópica de sua estrutura interna por meio de microscopia eletrônica de varredura. A análise se inicia pela geração de um feixe de elétrons primários a partir de uma fonte de elétrons. Este feixe de elétrons primários passa por uma coluna dotada de lentes que o focalizam e ampliam, e em seguida, por uma bobina que o escaneia sobre a superfície da amostra. A amostra deve ter espessura da ordem de milímetros a fim de permitir a transmissão de elétrons. Abaixo da câmara de contenção da amostra localizam-se detectores que captam a irradiação transmitida pela amostra, e escaneiam o feixe transmitido para o campo de visão, formando uma imagem ampliada que é exibida por um monitor ligado ao sistema (MORRIS; GROVES, 2013). Esta análise fornece imagens de alta resolução que permitem avaliar a estrutura interna do alimento, como o diâmetro e a espessura da parede de cada alvéolo de ar, e a quantidade de alvéolos por secção transversal (MASKAN; ALTAN, 2011). Desta forma, possui extrema importância por atuar como um controle de qualidade do processamento de produtos extrusados (MORRIS; GROVES, 2013).

2.2. Métodos sensoriais

A percepção oral da textura de um alimento envolve todas as sensações que se iniciam com a primeira mordida, até a deglutição e limpeza dos resíduos do alimento na cavidade bucal. A cada ciclo mastigatório aplicado, o alimento vai sendo rompido em pedaços menores, e maior quantidade de saliva vai sendo agregada, até que o alimento atinja uma textura coloidal e seja possível degluti-lo. Dessa forma, a avaliação sensorial da textura de um alimento segue uma ordem “cronológica” desde as sensações da primeira mordida até as sensações residuais (CHEN, 2009, 2014, 2015).

Brandt, Skinner e Coleman (1963) desenvolveram a metodologia do perfil sensorial de textura baseando-se na metodologia de perfil sensorial de sabor descrito por Cairncross e Sjöström (1950), na forma de avaliação sensorial das amostras na classificação das características sensoriais de textura feita por Szczesniak (1963) e nas escalas de avaliação quantitativa destas características desenvolvidas por Szczesniak, Brandt e Friedman (1963). A referida análise foi definida por seus autores como: análise sensorial da complexa textura de um alimento em função de suas características mecânicas, geométricas, de oleosidade e de umidade, a intensidade com que cada uma se apresenta no alimento, e a ordem em que são percebidas desde a primeira mordida até a completa mastigação (BRANDT; SKINNER; COLEMAN, 1963).

O perfil sensorial de textura é um método sensorial descritivo o qual envolve a discriminação e descrição dos aspectos sensoriais qualitativos e quantitativos de um alimento por uma equipe de avaliadores treinados, capazes de detectar e descrever as características sensoriais de textura percebidas durante a ingestão e mastigação de cada amostra. Os aspectos qualitativos, como fraturabilidade, dureza, coesividade, viscosidade e outros, combinam-se para definir e diferenciar um produto, enquanto os quantitativos intensificam as características e tornam possível distinguir amostras com mesmo descritor qualitativo (LAWLESS; HEYMANN, 2010).

O perfil descritivo convencional consiste em uma metodologia padrão destinada ao desenvolvimento de uma análise sensorial descritiva, a qual pode receber diferentes focos, dependendo do objetivo final a ser alcançado, pode-se desenvolvê-lo visando a descrição sensorial do alimento como um todo, ou priorizando-se um atributo. O procedimento da análise se inicia com uma pré-seleção de avaliadores capazes de detectar e verbalizar sensações. Após este processo, ocorre o levantamento de atributos, em que os avaliadores elaboram uma lista de termos, e com a instrução do analista, é definida a terminologia. O painel sensorial é, então,

treinado para memorizar as intensidades de cada atributo sensorial com materiais de referência. A quantidade de sessões de treinamento é variável, e sabe-se quando o painel está ou não treinado acompanhando-se periodicamente o desempenho individual de cada avaliador e do painel como um todo. Após determinado tempo de treinamento, uma seleção é feita por meio de testes nos quais as amostras são avaliadas em três repetições, e são selecionados os avaliadores com capacidade para discriminar as amostras, apresentar repetibilidade em seus resultados e estar em consenso com o painel sensorial. Nos testes sensoriais, são utilizadas escalas não estruturadas de 9 cm, para que cada avaliador analise as amostras. Por fim, os dados coletados são avaliados por análise de variância, teste de diferença de média, dentre outras (MINIM; SILVA, 2016). Para a adequação deste perfil clássico à análise do perfil de textura, deve-se aplicar o procedimento de avaliação da textura sugerido por Brandt, Skinner e Coleman (1963), o qual analisa as características mecânicas, geométricas, de oleosidade e de umidade, na seguinte ordem:

- Primeira mordida: dureza, viscosidade e fraturabilidade;
- Mastigação: mastigabilidade/gomosidade e adesividade;
- Resíduo: taxa e tipo de quebra do alimento, absorção de umidade, sensação residual na boca.

A fim de padronizar a medição das características de textura durante a avaliação das amostras, as características de textura foram definidas de acordo com o posicionamento e o tipo de dente que se utiliza para aplicar uma força de deformação ao alimento, e dessa forma, tornar as medidas mais precisas e aumentar a repetibilidade dos resultados. A seguir são apresentadas as definições sensoriais das características de textura:

- Dureza: força requerida para comprimir a amostra entre os dentes molares (alimentos sólidos) ou entre a língua e o palato (alimentos semissólidos) (BOURNE, 2002);
- Fraturabilidade: força exercida com os dentes incisivos para quebrar a amostra em pedaços (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 2006);
- Mastigabilidade: tempo requerido para mastigar amostras sólidas até que estejam prontas para deglutir (BOURNE, 2002);
- Gomosidade: tempo requerido para comprimir amostras semissólidas entre a língua e o palato até que esteja pronta para deglutir (BOURNE, 2002);
- Adesividade: força requerida para remover o material que adere à boca durante o processo normal de mastigação (BOURNE, 2002);

- Viscosidade: força requerida para remover um líquido de uma colher com a língua (BOURNE, 2002);
- Características geométricas: análise tátil do tamanho, formato, arranjo das partículas de um alimento, rugosidade da superfície (BOURNE, 2002);
- Crocância: intensidade do som emitido a partir da ruptura do alimento com os dentes molares (TUNICK et al., 2013).

Além dos métodos descritivos, os métodos afetivos são extremamente importantes para a conhecer a aceitação e as preferências de um grupo de consumidores por um certo produto, ideia ou características de um produto. Os métodos afetivos são os mais utilizados para estudos com consumidor e são aplicados por indústrias e por empresas prestadoras de serviços, além de serem muito utilizados nos meios científico e acadêmico. Dentre os métodos afetivos, a análise de aceitação por meio da escala hedônica estruturada de nove pontos é a mais difundida em pesquisas e visa dimensionar o grau de gostar ou desgostar do consumidor em relação a um único produto. Trata-se de uma escala balanceada com extremos variando entre 1 = “desgostei extremamente” e 9 = “gostei extremamente”, com ponto médio neutro 5 = “não gostei nem desgostei” (MACFIE; MEISELMAN, 2012; MEILGAARD; CARR; CIVILLE, 2006).

Existem alimentos cuja textura é um atributo sensorial crítico, dependendo desta a aceitação ou rejeição do produto pelo consumidor. De maneira geral, estes alimentos possuem elevada crocância devido ao seu baixo conteúdo de água, dentre estes produtos, estão os cereais matinais (FAST, 2001).

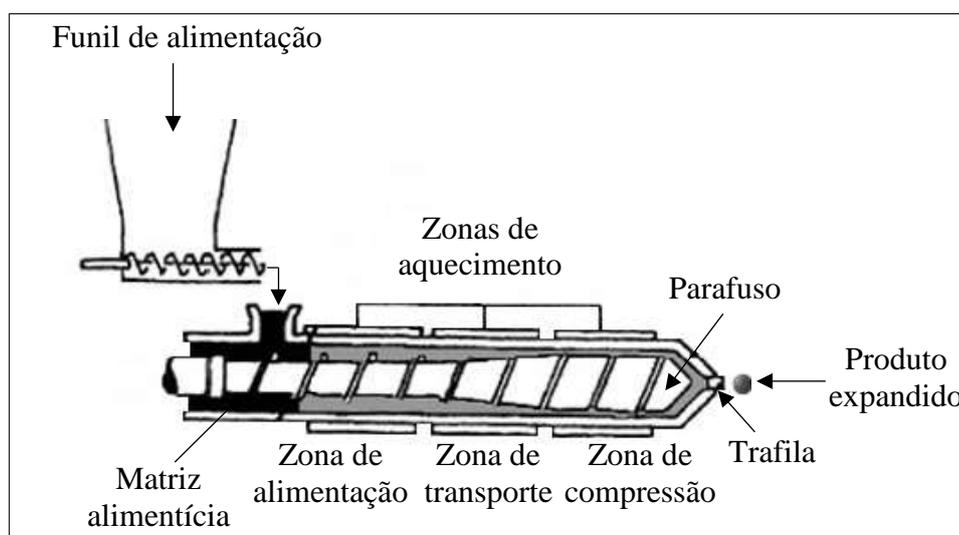
3. CEREAIS MATINAIS

Os cereais matinais são um grupo de alimentos pertencente à classificação de produtos crocantes, sendo definidos como grãos de cereais processados para consumo humano, eles podem ser classificados em *ready-to-eat*, isto é, não necessitam de nenhum tipo de preparo ou cocção antes do consumo, como por exemplo cereais laminados, cereais expandidos, granola, os quais representam 86% das indústrias produtoras de cereais matinais; ou em *ready-to-cook*, também conhecidos como “cereais quentes”, como por exemplo cereais em flocos, farelos ou farinhas de cereais, e representam 14% das indústrias. Existem diversos tipos, os quais se distinguem pela formulação de ingredientes, processo de fabricação, formato final e adição, ou não, de açúcar sobre a sua superfície (CALDWELL; MCKEEHEN; KADAN, 2016). Dentre as

matérias-primas mais comuns na produção de cereais matinais estão o milho e o trigo, sendo também possível a aplicação de arroz e aveia (DELCOUR; HOSENEY, 2010). Dentre os processos utilizados para produção de cereais matinais, os mais comuns são a extrusão termoplástica e a laminação. O primeiro processo origina cereais expandidos, com diferentes formatos, inclusive o formato de floco, e o segundo produz cereais somente em formato de floco. Embora os cereais expandidos em formato de floco sejam obtidos por processo de extrusão termoplástica, suas características físicas e sensoriais se assemelham mais à dos cereais laminados.

A extrusão termoplástica de cereais utiliza como matéria-prima a farinha ou grits de um cereal ou mistura de cereais. O processo envolve a umidificação da matéria-prima por vapor ou água, e aplicação de pressão, temperatura e cisalhamento em um equipamento chamado extrusora (Figura 2).

Figura 2. Representação das partes de uma extrusora.



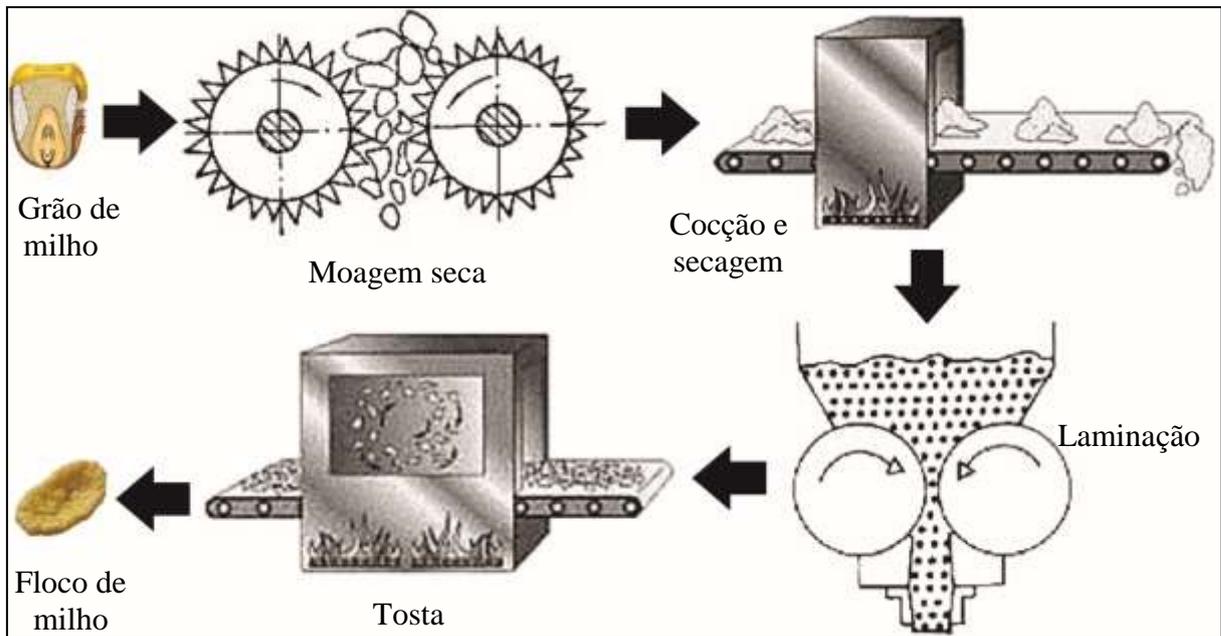
Fonte: LOPES-DA-SILVA; SANTOS; CHOUPINA (2015).

Neste equipamento, a matéria-prima previamente hidratada (10-15% para materiais amiláceos e 30-40% para materiais proteicos) é colocada em um funil de alimentação e transportada ao longo do canhão por uma rosca sem fim em uma mesma 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. Na saída do material da extrusora, a diferença de pressão entre o interior do equipamento (3-5

MPa ou 40-60 atm) e a atmosfera faz com que ocorra uma rápida evaporação da água superaquecida, resultando na formação de vacúolos e na expansão do produto. Neste caso, o vapor d'água atua como um agente de crescimento, fazendo com que o material se estique e se expanda na direção longitudinal e radial, e endureça em poucos segundos à temperatura ambiente, conferindo a textura desejada ao produto (DELCOUR; HOSENEY, 2010; MASKAN; ALTAN, 2011). A taxa de expansão do produto depende da composição físico-química da matriz alimentícia: umidade, granulometria, pH, teor de carboidratos, proteínas e lipídeos, bem como teor e tipo de amido presente. Todos estes fatores, em conjunto, determinam o comportamento reológico da matriz durante a extrusão, e conseqüentemente, a sua estrutura final (MOSCICKI, 2016). O processo causa redução da umidade inicial, entretanto, existe a necessidade de realizar uma secagem do produto ao final da extrusão para garantir que o produto final apresente baixa atividade de água. Dessa forma, o produto final caracteriza-se por baixa umidade e densidade, além de elevada crocância, devido à formação dos alvéolos de ar durante a evaporação da água (DELCOUR; HOSENEY, 2010; MASKAN; ALTAN, 2011).

Na laminação (Figura 3), o grão do cereal passa por uma moagem seca para remoção do germe e farelo, é cozido sob pressão em uma solução contendo açúcar, malte e sal, e atinge cerca de 50% de umidade. Em seguida, é parcialmente seco até 20% de umidade, sendo que esta etapa provoca um diferencial de teor de água entre a superfície e o interior do grão, fazendo-se necessário um período de têmpera, de forma a equilibrar a umidade interna e a superficial (FAST, 2001). Na etapa seguinte, dá-se a laminação propriamente dita, na qual o grão é prensado entre dois rolos, dando origem ao floco. Os flocos formados são tostados até atingirem em torno de 3% de umidade, processo que proporciona crocância, assim como cor e aroma por meio da reação de *Maillard*. Após resfriamento até temperatura ambiente, o produto recebe uma aspersão de vitaminas e minerais em solução, e segue para embalagem (FAST; CALDWELL, 2000; KADAN; CALDWELL, 2003).

Figura 3. Fluxograma explicativo do processo de laminação do milho.



A atual preocupação dos consumidores com a manutenção da saúde tem aumentado seu interesse por alimentos ricos em fibras, sobretudo os integrais. E um dos produtos alimentícios bastante procurados quando se deseja adicionar fibras à alimentação diária são os cereais matinais. Esta busca crescente tem feito a indústria alimentícia buscar soluções para a elaboração de cereais matinais integrais ou ricos em fibras, os quais tenham o apelo comercial de saudabilidade, sem, no entanto, modificar as características sensoriais que apreciadas pelo consumidor. Dessa forma, o atual desafio da Ciência e Tecnologia de Alimentos consiste em desenvolver novos produtos extrusados, com elevado teor de fibras, preservando ou melhorando as características de expansão e, conseqüentemente, as características de textura do produto tradicional, já disponível no mercado, que possui menor conteúdo de fibras (ROBIN; PALZER, 2015).

De acordo com Robin, Schuchmann e Palzer (2012), a adição de fibras solúveis permite maior taxa de expansão da matriz no processo de extrusão, proporcionando melhor textura em comparação com a adição de fibras insolúveis, a qual causa redução da expansão. Os estudos de Peressini et al. (2015) e Chanvrier et al. (2014), nos quais foram elaborados produtos expandidos adicionados de, respectivamente, inulina (fibra solúvel) e farelos de aveia e trigo (fibra insolúvel), reiteram esta informação, pois observou-se, respectivamente, uma diminuição e um aumento, na dureza dos produtos. Com isto, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de produzir cereais matinais a partir de diferentes matérias primas, com elevado conteúdo de fibras, que tenham sua textura aceita pelos consumidores

(CHANVRIER et al., 2014; HOLGUÍN-ACUÑA et al., 2008; MKANDAWIRE et al. 2015; PERESSINI et al., 2015).

Avaliar a aceitação sensorial da textura é de grande relevância para as pesquisas científicas, visto a importância deste atributo como característica de qualidade para cereais matinais. Assim, faz-se necessário estabelecer correlações entre análise sensorial e instrumental de alimentos, visando identificar qual(is) método(s) instrumentais(s) melhor mimetizam as forças realizadas durante o processo mastigatório e a partir destes gerar informações para indústrias de alimentos, as quais podem usá-los para economia de tempo com treinamentos de painéis sensoriais e redução de custos com análises sensoriais descritivas, permitindo a análise direta e rápida em equipamentos como o texturômetro. Tais informações também contribuem com a literatura acadêmica, gerando uma base de conhecimento para o desenvolvimento de outros estudos (SZCZESNIAK, 1987).

4. CORRELAÇÃO ENTRE ANÁLISE SENSORIAL E INSTRUMENTAL

De acordo com Szczesniak (1987), as correlações entre medidas de textura sensorial e instrumental resultam em: (1) encontrar instrumentos para medir o controle de qualidade de alimentos nas indústrias; (2) prever respostas do consumidor, como a intenção de compra e a aceitação geral de um novo produto; (3) entender o que está sendo sentido e percebido na boca durante a avaliação sensorial da textura; (4) melhorar ou otimizar métodos instrumentais para complementar a avaliação sensorial. Ainda, se uma combinação correta de fatores instrumentais for aplicada e apresentar boa correlação com dados sensoriais, é possível garantir medições de textura instrumental mais precisas (CHEN; OPARA, 2013). Além disso, a aplicação do tipo de força adequado ao alimento pelo analisador de textura pode assegurar a obtenção de correlações coerentes com os aspectos estruturais e sensoriais do alimento, não somente coeficientes de correlação significativos (LILLFORD, 2018).

Foram encontrados na literatura científica estudos envolvendo a caracterização mecânica e estrutural de produtos à base de cereais, laminados e extrusados, mas sem avaliação da textura sensorial. Gondek, Lewick e Ranachowski (2006) investigaram a influência da atividade de água nas propriedades acústicas de cereais matinais laminados à base de milho e de trigo e concluíram que a atividade de água influencia fortemente a emissão de som a partir da ruptura dos flocos avaliados e é inversamente proporcional à intensidade do ruído produzido. Chaunier, Della Valle e Lourdin (2007) avaliaram a relação existente entre a textura, as

propriedades mecânicas e a estrutura de cereais matinais laminados e extrusados à base de milho, e verificaram que as propriedades mecânicas das matérias-primas constituintes dos produtos influenciaram sua textura, e que a estrutura é dependente da morfologia distribuição das proteínas no produto, sendo necessários estudos futuros que fundamentem a influência da interface amido/proteína e os mecanismos de adesão dos biopolímeros. Chanvrier et al. (2014) estudaram a estrutura e as propriedades acústicas de cereais extrusados à base de milho e de trigo suplementados com fibras e observaram que a adição de fibras reduz a porosidade do alimento, diminuindo a produção de ondas sonoras. Oliveira Schmiele e Steel (2017) avaliaram propriedades de força instrumental de cereais matinais expandidos elaborados a partir de farinha de trigo integral, secos e após adição de leite. Os resultados demonstraram que a dureza e a crocância instrumentais tiveram sua intensidade reduzida pela ação do leite.

Encontraram-se também estudos que avaliaram a aceitação sensorial da textura de cereais matinais sem, no entanto, avaliá-la instrumentalmente. Holguín-Acuña et al. (2008) desenvolveram cereais matinais expandidos à base de farelo de milho e farinha de aveia. Verificou-se que as formulações com até 30% de farelo de milho apresentaram satisfatório teor de fibras, entretanto, a aceitação da sua textura foi avaliada entre “não gostei nem desgostei” e “gostei levemente”. Mkandawire et al. (2015) produziram cereais matinais expandidos com adição de duas variedades de sorgo integral triturado, a primeira sem taninos em sua composição e a segunda com taninos, além de um controle à base de aveia. As formulações estudadas obtiveram igual aceitação da textura, com médias entre “gostei levemente” e “gostei moderadamente”. Oliveira, Alencar e Steel (2018) desenvolveram cereais matinais expandidos enriquecidos com farinha de trigo integral e farinha de casca de jabuticaba, foram avaliadas as propriedades de força instrumental dos cereais secos e após adição de leite, bem como a aceitação destes. Os resultados demonstraram a influência das condições de extrusão nos resultados das análises realizadas.

Em outros estudos, a textura instrumental e a aceitação sensorial de cereais matinais expandidos foram analisadas, sem, no entanto, serem correlacionadas. No estudo de Potter, Stojceska e Plunkett (2013), pós de frutas foram adicionados a cereais matinais expandidos destinados ao público infantil, sendo a dureza avaliada instrumentalmente, e a aparência e sabor avaliados sensorialmente. Wójtowicz et al. (2015) correlacionaram apenas as características físicas e os parâmetros de textura de cereais matinais expandidos à base de farinha de trigo integral, *grits* de milho, farinha de arroz e cacau, mas não correlacionaram aos dados de aceitação sensorial. Além disso, os cereais foram analisados apenas adicionados de leite morno, e não houve análise comparativa entre as amostras secas e com leite.

Alguns estudos encontrados determinaram as correlações sensoriais e instrumentais de outros tipos de alimentos. Pamies et al. (2000) observaram correlações entre crocância e logaritmo do número de rupturas espaciais, fraturabilidade e *drop-off* (somatória das forças de cada pico/número total de picos), e dureza e *crispness work* (área sob a curva de força-deformação/número total de picos) em amido de milho ceroso expandido, em função da adição de açúcar e do aumento da atividade de água. Salvador et al. (2009) verificaram correlação positiva entre os atributos sensoriais e os parâmetros instrumentais de textura de batatas *chips*, exceto para a característica teor de gordura. Corollaro et al. (2014) avaliaram 27 cultivares comerciais de maçãs e verificaram que as características sensoriais de textura se correlacionaram com os parâmetros mecânicos e acústicos de textura analisados. Paula e Conti-Silva (2014) avaliaram a existência de correlação entre a análise sensorial e a análise instrumental de textura de *snacks* extrusados utilizando diferentes *probes* e obtiveram bons resultados para os *probes* corte-guilhotina e corte-formato “V”.

Apenas um estudo análogo ao presente trabalho foi encontrado na literatura. Chaunier et al. (2005) avaliaram o perfil sensorial de textura e as características instrumentais da textura de cereais matinais à base de milho em formato de floco (*cornflakes*) de marcas comerciais, avaliando-se a influência da adição de leite na textura dos cereais, além da análise de sua estrutura interna. Entretanto, diferenças inerentes aos produtos utilizados e aos painéis sensoriais que avaliaram os flocos de milho tornam os dois estudos distintos, além de não reduzir a importância da realização deste trabalho.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram encontrados poucos estudos que abrangessem a avaliação do perfil sensorial de textura e a análise instrumental da textura de cereais matinais comerciais expandidos e em formato de floco, bem como a correlação entre seus resultados. Dessa forma, faz-se necessário realizar um estudo para identificar testes instrumentais que se correlacionem com o perfil de textura de cereais matinais expandidos e em formato de floco, secos e após adição de leite, visando gerar um completo conhecimento a respeito da textura, incluindo a microscopia e a aceitação sensorial dos consumidores por estes tipos de alimentos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIMI, J. M.; DUGGAN, E.; O’SULLIVAN, M.; LYNG, J. G.; O’RIORDAN, E. D. Development of an acoustic measurement system for analyzing crispiness during mechanical and sensory testing. **Journal of Texture Studies**, v. 41, n. 3, p. 320–340, 2010.
- BERANEK, L. L.; MELLOW, T. J. **Acoustics: Sound Fields and Transducers**. Cambridge: Academic Press, 2012. 720 p.
- BOURNE, M. C. Texture profile of ripening pears. **Journal of Food Science**, v. 33, n. 2, p. 223–226, 1968.
- BOURNE, M. C. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**. Amsterdam: Elsevier, 2002. 416 p.
- BOURNE, M. C.; MOYER, J. C.; HAND, D. B. Measurement of food texture by a universal testing machine. **Food Technology**, v. 20, n. 4, p. 522, 1966.
- BOURNE, M. C.; SZCZESNIAK, A. S. Texture. In: **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition**. Academic Press, 2003.
- BRANDT, M. A.; SKINNER, E. Z.; COLEMAN, J. A. Texture profile method. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 404–409, 1963.
- CAIRNCRÖSS, S. E.; SJOSTROM, L. B. Flavor profiles: a new approach to flavor problems. **Food Technology**, v. 4, p. 308–311, 1950.
- CALDWELL, E. F.; MCKEEHEN, J. D.; KADAN, R. S. Cereals | Breakfast cereals. In: WRIGLEY, C.; CORKE, H.; SEETHARAMAN, K.; FAUBION, J. M. (Eds.). **Encyclopedia of Food Grains**. Amsterdam: Academic Press, 2. ed. 2016. p. 262–267.
- CAMPBELL, C. L.; WAGONER, T. B.; FOEGEDING, E. A. Designing foods for satiety: The roles of food structure and oral processing in satiation and satiety. **Food Structure**, v. 13, p. 1–12, 2017.
- CHANVRIER, H.; JAKUBCZYK, E.; GONDEK, E.; GUMY, J. C. Insights into the texture of extruded cereals: Structure and acoustic properties. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 24, p. 61–68, 2014.
- CHAUNIER, L.; COURCOUX, P.; DELLA VALLE, G.; LOURDIN, D. Physical and sensory evaluation of cornflakes crispness. **Journal of Texture Studies**, v. 36, n. 1, p. 93–118, 2005.
- CHAUNIER, L.; DELLA VALLE, G.; LOURDIN, D. Relationships between texture, mechanical properties and structure of cornflakes. **Food Research International**, v. 40, n. 4, p. 493–503, 2007.

- CHEN, J. Food oral processing-A review. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 1, p. 1–25, 2009.
- CHEN, J. Food oral processing: Some important underpinning principles of eating and sensory perception. **Food Structure**, v. 1, n. 2, p. 91–105, 2014.
- CHEN, J. Food oral processing: Mechanisms and implications of food oral destruction. **Trends in Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 222–228, 2015.
- CHEN, L.; OPARA, U. L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods - A review. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 823–835, 2013.
- CHRISTENSEN, C. M. Food texture perception. **Advances in Food Research**, v. 29, n. C, p. 159–199, 1984.
- CIVILLE, G. V.; SZCZESNIAK, A. S. Training a texture profile panel. v. 4, p. 204–223, 1973.
- COROLLARO, M. L.; APREA, E.; ENDRIZZI, I.; BETTA, E.; DEMATTÈ, M. L.; CHARLES, M.; BERGAMASCHI, M.; COSTA, F.; BIASIOLI, F.; CORELLI GRAPPADELLI, L.; GASPERI, F. A combined sensory-instrumental tool for apple quality evaluation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 96, p. 135–144, 2014.
- DELCOUR, J. A.; HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. Eagan: AACC International, 2010. 238 p.
- DUIZER, L. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. **Trends in Food Science and Technology**, v. 12, n. 1, p. 17–24, 2001.
- FAST, R. B. Breakfast cereals. In: OWENS, G. (Ed.). **Cereals processing technology**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 158–172.
- FAST, R. B.; CALDWELL, E. F. **Breakfast cereals, and how they are made**. Eagan: AACC International, 2000. 562 p.
- FOEGEDING, E. A.; STIEGER, M.; VAN DE VELDE, F. Moving from molecules, to structure, to texture perception. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 31–42, 2017.
- FRIEDMAN, H. H.; WHITNEY, J. E.; SZCZESNIAK, A. S. The Texturometer—A New Instrument for Objective Texture Measurement. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 390–396, 1963.
- GONDEK, E. W. A.; LEWICKI, P. P.; RANACHOWSKI, Z. Properties of Breakfast Cereals. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 37, p. 497–515, 2006.
- HOLGUÍN-ACUÑA, A. L.; CARVAJAL-MILLÁN, E.; SANTANA-RODRÍGUEZ, V.; RASCÓN-CHU, A.; MÁRQUEZ-ESCALANTE, J. A.; PONCE DE LEÓN-RENOVA, N. E.; GASTELUM-FRANCO, G. Maize bran/oat flour extruded breakfast cereal: A novel source of complex polysaccharides and an antioxidant. **Food Chemistry**, v. 111, n. 3, p. 654–657, 2008.

- IWATANI, S. ichiro; YAKUSHIJI, H.; MITANI, N.; SAKURAI, N. Evaluation of grape flesh texture by an acoustic vibration method. **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, n. 3, p. 305–309, 2011.
- KADAN, R. S.; CALDWELL, E. F. Cereals | Breakfast cereals. In: CABALLERO, B. (Ed.). **Encyclopedia of food sciences and nutrition**. Oxford: Academic Press, 2. ed. 2003. p. 1023–1027.
- KILCAST, D. **Instrumental assessment of food sensory quality: a practical guide**. Amsterdam: Elsevier Science, 2013. 658 p.
- KOÇ, H.; VINYARD, C. J.; ESSICK, G. K.; FOEGEDING, E. A. Food oral processing: conversion of food structure to textural perception. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 4, n. 1, p. 237–266, 2013.
- KRAMER, A.; SZCZESNIAK, A. S. **Texture Measurement of Foods: Psychophysical Fundamentals; Sensory, Mechanical, and Chemical Procedures, and Their Interrelationships**. Berlim: Springer Science & Business Media, 1973. 175 p.
- LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food: principles and practices**. New York: Springer, 2010. 619 p.
- LILLFORD, P. J. Mechanisms of fracture in food. **Journal of Texture Studies**, v. 32, n. 5–6, p. 397–417, 2001.
- LILLFORD, P. J. Texture and breakdown in the mouth: An industrial research approach. **Journal of Texture Studies**, v. 49, n. 2, p. 213–218, 2018.
- LOPES-DA-SILVA, M. F.; SANTOS, L.; CHOUPINA, A. A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e equipamentos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 3–10, 2015.
- MACFIE, H. J. H.; MEISELMAN, H. L. **Food Choice, Acceptance and Consumption**. New York: Springer Science & Business Media, 2012. 258 p.
- MASKAN, M.; ALTAN, A. **Advances in food extrusion technology**. Boca Raton: CRC Press, 2011. 412 p.
- MEILGAARD, M. C.; CARR, T. B.; CIVILLE, G. V. **Sensory evaluation techniques**. Boca Raton: CRC Press, 2006. 464 p.
- MINIM, V. P. R.; SILVA, R. C. S. N. **Análise Sensorial Descritiva**. Viçosa: UFG, 2016. 280 p.
- MKANDAWIRE, N. L.; WEIER, S. A.; WELLER, C. L.; JACKSON, D. S.; ROSE, D. J. Composition, in vitro digestibility, and sensory evaluation of extruded whole grain sorghum breakfast cereals. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 662–667, 2015.
- MORRIS, V.; GROVES, K. **Food microstructures: microscopy, measurement and modelling**. Philadelphia: Woodhead Publishing Limited, Elsevier, 2013. 472 p.

MOSCA, A. C.; CHEN, J. Food-saliva interactions: Mechanisms and implications. **Trends in Food Science and Technology**, v. 66, p. 125–134, 2017.

MOSCICKI, L. Extrusion Cooking : Principles and Practice. In: **Encyclopedia of Food and Health**. Amsterdam: Elsevier, 2 ed. 2016. p. 576-580.

OLIVEIRA, L. C.; ALENCAR, N. M. M.; STEEL, C. J. Improvement of sensorial and technological characteristics of extruded breakfast cereals enriched with whole grain wheat flour and jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. **LWT - Food Science and Technology**, v. 90, n. June 2017, p. 207–214, 2018.

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, p. 261-270, 2017.

PAMIES, B. V.; ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; LE MESTE, M. Understanding the texture of low moisture cereal products: mechanical and sensory measurements of crispness. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 11, p. 1679–1685, 2000.

PASCUA, Y.; KOÇ, H.; FOEGEDING, E. A. Food structure: Roles of mechanical properties and oral processing in determining sensory texture of soft materials. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 18, n. 4, p. 324–333, 2013.

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.

PERESSINI, D.; FOSCHIA, M.; TUBARO, F.; SENSIDONI, A. Impact of soluble dietary fibre on the characteristics of extruded snacks. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 73-81, 2015.

POTTER, R.; STOJCESKA, V.; PLUNKETT, A. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. **LWT - Food Science and Technology**, v. 51, n. 2, p. 537–544, 2013.

PROCTOR, B. E.; DAVISON, S.; BRODY, A. L. A recording strain-gauge denture tenderometer for foods. II. Studies on the masticatory force and motion, and the force penetration relationship. **Food Technology**, v. 10, p. 327, 1956. a.

PROCTOR, B. E.; DAVISON, S.; BRODY, A. L. A recording strain-gauge denture tenderometer for foods. III. Correlation with subjective tests and denture tenderometer. **Food Technology**, v. 10, p. 344, 1956. b.

ROBIN, F.; PALZER, S. Texture of breakfast cereals and extruded products. In: CHEN, J.; ROSENTHAL, A. (Ed.). **Modifying Food Texture**. Amsterdam: Woodhead Publishing, 2015. p. 203–235.

ROBIN, F.; SCHUCHMANN, H. P.; PALZER, S. Dietary fiber in extruded cereals: limitations and opportunities. **Trends in Food Science & Technology**, v. 28, n. 1, p. 23-32, 2012.

SALVADOR, A.; VARELA, P.; SANZ, T.; FISZMAN, S. M. Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 3, p. 763–767, 2009.

STIEGER, M.; VAN DE VELDE, F. Microstructure, texture and oral processing: New ways to reduce sugar and salt in foods. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 18, n. 4, p. 334–348, 2013.

STOKES, J. R.; BOEHM, M. W.; BAIER, S. K. Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 18, n. 4, p. 349–359, 2013.

SZCZESNIAK, A. S. Classification of textural characteristics. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 385–389, 1963. a.

SZCZESNIAK, A. S. Objective Measurements of Food Texture. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 410–420, 1963. b.

SZCZESNIAK, A. S. The whys and whats of objective texture measurements. **Canadian Institute of Food Technology Journal**, v. 2, n. 4, p. 150–156, 1969.

SZCZESNIAK, A. S. Correlating sensory with instrumental texture measurements —an overview of recent developments. **Journal of Texture Studies**, v. 18, p. 1–15, 1987.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, p. 215–225, 2002.

SZCZESNIAK, A. S.; BRANDT, M. A.; FRIEDMAN, H. H. Development of Standard Rating Scales for Mechanical Parameters of Texture and Correlation Between the Objective and the Sensory Methods of Texture Evaluation. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 397–403, 1963.

TUNICK, M. H.; ONWULATA, C. I.; THOMAS, A. E.; PHILLIPS, J. G.; MUKHOPADHYAY, S.; SHEEN, S.; LIU, C.; LATONA, N.; PIMENTEL, M. R.; COOKE, P. H. International Journal of Food Properties Critical Evaluation of Crispy and Crunchy Textures : A Review. n. July, p. 37–41, 2013.

WILKINSON, C.; DIJKSTERHUIS, G. B.; MINEKUS, M. From food structure to texture. **Trends in Food Science and Technology**, v. 11, n. 12, p. 442–450, 2001.

WILLIAMSON, C. Kinesthesia: the sixth sense. In: WILLIAMSON, C. (Ed.). **Muscular Retraining for Pain-Free Living: A Practical Approach to Eliminating Chronic Back Pain, Tendonitis, Neck and Shoulder Tension, and Repetitive Stress Injuries**. Boulder: Shambhala Publications, 2007. p. 10–30.

WINER, E. **The audio expert: everything you need to know about audio**. Milton Park: Taylor & Francis, 2017. 668 p.

WÓJTOWICZ, A.; MITRUS, M.; ONISZCZUK, T.; MOŚCICKI, L.; KRĘCISZ, M.; ONISZCZUK, A. Selected Physical Properties, Texture and Sensory Characteristics of

Extruded Breakfast Cereals based on Wholegrain Wheat Flour. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 7, p. 301–308, 2015.

ZDUNEK, A.; CYBULSKA, J.; KONOPACKA, D.; RUTKOWSKI, K. Evaluation of apple texture with contact acoustic emission detector: A study on performance of calibration models. **Journal of Food Engineering**, v. 106, n. 1, p. 80–87, 2011.

ZDUNEK, A.; KONOPACKA, D.; JESIONKOWSKA, K. Crispness and crunchiness judgment of apples based on contact acoustic emission. **Journal of Texture Studies**, v. 41, n. 1, p. 75–91, 2010.

CAPÍTULO 2

CORRELAÇÃO ENTRE ANÁLISE SENSORIAL E INSTRUMENTAL DE TEXTURA DE CEREAIS MATINAIS EXPANDIDOS

1. INTRODUÇÃO

Cereais matinais expandidos são produtos prontos para o consumo à base de grãos de cereais, como o milho, o trigo, a aveia, o arroz. São alimentos crocantes, de fácil consumo, o qual geralmente é realizado na primeira refeição do dia, servidos juntamente com leite. Estes produtos podem apresentar os mais diversos formatos, cores e sabores, e os fabricantes muitas vezes os enriquecem com ferro, vitaminas e minerais, além de haver a possibilidade de agregar fibras e melhorar a qualidade nutritiva do produto (CALDWELL; MCKEEHEN; KADAN, 2016; DELCOUR; HOSENEY, 2010).

São produtos elaborados por meio do processo de extrusão termoplástica. A extrusora é alimentada com *grits* de um cereal ou uma mistura de dois ou mais, os quais são hidratados antes do início do processo. A matéria-prima é transportada pelo canhão por meio da movimentação de uma (ou mais) rosca sem fim em seu interior, cujo passo vai se tornando mais raso à medida que a rosca vai se distanciando do funil de alimentação, o que causa elevação da pressão no interior do canhão. A temperatura, geralmente acima de 100 °C, e a pressão, resultam na cocção da massa, que ao ser impulsionada para fora do canhão passa por uma instantânea evaporação da umidade devido à diferença de pressão, com conseqüente expansão. O produto resultante possui baixa atividade de água e é caracterizado por uma estrutura interna composta por alvéolos de ar, os quais conferem elevada crocância ao alimento (DELCOUR; HOSENEY, 2010; MASKAN; ALTAN, 2011; MOSCICKI, 2016).

Devido às características de baixa atividade de água e elevada crocância, cereais matinais expandidos são produtos para os quais a textura é um atributo crítico, pois qualquer alteração de textura, tornando-a diferente do ideal ao consumidor, pode causar a rejeição do produto (PRIMO-MARTIN et al., 2008; WILKINSON; DIJKSTERHUIS; MINEKUS, 2001), principalmente no que diz respeito a um produto elaborado para ser consumido imerso em leite. Se a textura deste não se mantiver do início ao fim da porção ingerida pelo consumidor, a aquisição do produto pode não se repetir.

Dessa forma, é de suma importância que as indústrias de alimentos fabricantes de cereais matinais expandidos avaliem a resistência da estrutura/textura de seus produtos à adição de leite antes de lançá-los ao mercado consumidor. No entanto, análises sensoriais de perfil de textura demandam equipe de avaliadores treinados e os treinamentos geram elevados custos, além de dispendem longo período de tempo (BRANDT; SKINNER; COLEMAN, 1963;

CIVILLE; SZCZESNIAK, 1973), e ainda, análises de aceitação sensorial necessitam de grande número de pessoas para gerar dados confiáveis (MEILGAARD; CARR; CIVILLE, 2006; SZCZESNIAK, 2002).

Portanto, uma possível solução para tal questão é o emprego de um equipamento capaz de mimetizar as forças da mastigação humana a fim de realizar as medições de forma rápida, e precisa (FRIEDMAN; WHITNEY; SZCZESNIAK, 1963; SZCZESNIAK, 1963b). Para que se possa certificar de que os resultados instrumentais obtidos pelo equipamento são confiáveis e precisos, faz-se necessário estabelecer correlações entre medidas de textura realizadas sensorialmente e aquelas fornecidas pelo equipamento (CHEN; OPARA, 2013; LILLFORD, 2018; SZCZESNIAK, 1987).

Isto posto, somado à falta de estudos que correlacionem a textura instrumental e sensorial de cereais matinais expandidos, avaliando-os comparativamente com e sem a adição de leite, torna necessário o desenvolvimento de um estudo que correlacione propriedades instrumentais de cereais matinais expandidos com suas características sensoriais de textura (avaliadas por avaliadores treinados e por consumidores).

Dessa forma, o objetivo deste capítulo foi avaliar a textura de cereais matinais expandidos comerciais, secos e adicionados de leite, por meio de análise de força e acústica em texturômetro utilizando diferentes testes/*probes*, perfil sensorial e aceitação sensorial, e microscopia. Feito isso, teve-se como principal objetivo correlacionar as análises instrumentais e sensoriais no sentido de determinar as condições de testes instrumentais mais adequadas para inferir sobre a textura sensorial dos cereais matinais expandidos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

2.1.1. Cereais matinais

Os cereais matinais foram adquiridos no comércio local. Foram avaliados os formatos aglomerado de bolinhas (AB), bolinha (B1, B2, B3 e B4) e rosquinha (R) (Figura 1), e seus ingredientes, segundo os rótulos, são evidenciados pela Tabela 1. Seus teores de umidade constam na Tabela 2, sendo a medição da umidade realizada de acordo com a metodologia da AOAC (2005). Para a realização das análises sensoriais e microscópicas, foram utilizados produtos pertencentes ao mesmo lote de fabricação. No entanto, para a realização das análises instrumentais, foram utilizados produtos de um segundo lote de fabricação, devido à diferença de tempo entre a realização das primeiras análises e das segundas, respeitando-se a data de validade especificada na embalagem. As embalagens eram abertas no momento da realização das análises, e seladas retirando-se o ar de seu interior logo após o uso, até que se utilizasse todo o conteúdo (400 g).

Figura 1. Cereais matinais expandidos.



Tabela 1. Ingredientes constituintes dos cereais matinais expandidos.

Cereal expandido	Ingredientes
AB	Farinhas integrais (31%) (farinha de trigo integral e farinha de milho integral), açúcar, farinha de arroz (25%), óleo vegetal de palma fracionado, cacau em pó (5%), minerais [cálcio (carbonato de cálcio), ferro (ferro eletrolítico) e zinco (óxido de zinco)], xarope de glicose, xarope de açúcar, sal, vitaminas [niacina (nicotinamida), ácido pantotênico (pantotenato de cálcio), B2 (riboflavina), B6 (cloridrato de piridoxina) e ácido fólico (ácido N-pteróil-L-glutâmico)], aromatizante e antioxidante tocoferol.
B1	Farinha de milho integral (39%), farinha de milho enriquecida com ferro e ácido fólico (21%), açúcar, xarope de glicose, cacau em pó (3%), oleína de palma, minerais [cálcio (carbonato de cálcio), ferro (ferro eletrolítico) e zinco (óxido de zinco)] e vitaminas [ácido pantotênico (pantotenato de cálcio), niacina (nicotinamida), B2 (riboflavina), B6 (cloridrato de piridoxina) e ácido fólico (ácido N-pteróil-L-glutâmico)], sal, aromatizantes, antiumectante fosfato dicálcico, corante caramelo IV, estabilizante fosfato trissódico e antioxidante tocoferol.
B2	Farinha de milho enriquecida com ferro e ácido fólico, açúcar, cacau, farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, óleo vegetal de palmiste, sal, malte, ácido ascórbico e ascorbato de sódio (vitamina C), niacina, palmitato de retinol (vitamina A), ferro reduzido por hidrogênio (ferro), maltodextrina, óxido de zinco (zinco), cianocobalamina (vitamina B12), colecalciferol (vitamina D), cloridrato de piridoxina (vitamina B6), mononitrato de tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2), folacina (ácido fólico), corante caramelo IV, aromatizantes e estabilizantes ésteres de mono e diglicerídeos de ácidos graxos com ácido cítrico.
B3	Farinha de milho enriquecida com ferro e ácido fólico, açúcar, farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, malte, sal, carbonato de cálcio (cálcio), ácido ascórbico e ascorbato de sódio (vitamina C), ferro reduzido (ferro), maltodextrina, óxido de zinco (zinco), palmitato de retinol (vitamina A), niacinamida (niacina), cianocobalamina (vitamina B12), colecalciferol (vitamina D), cloridrato de piridoxina (vitamina B6), mononitrato de tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2), ácido fólico corantes amarelo crepúsculo e annatto.
B4	Farinha de milho enriquecida com ferro e ácido fólico, açúcar, cacau, sal, óleo vegetal de palmiste, corante caramelo IV e corantes artificiais vermelho allura AC e azul brilhante FCF e aromatizantes.
R	Farinha de milho enriquecida com ferro e ácido fólico, açúcar, farinha de aveia, farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, óleo vegetal de palmiste, sal, ácido ascórbico e ascorbato de sódio (vitamina C), óleo vegetal de soja, ferro reduzido por hidrogênio (ferro), óxido de zinco (zinco), palmitato de retinol (vitamina A), maltodextrina, ácido fólico, colecalciferol (vitamina D), cianocobalamina (vitamina B12), aromatizantes e corantes sintético idêntico ao natural betacaroteno e artificiais vermelho allura AC e azul brilhante FCF.

Tabela 2. Umidade presente nos cereais matinais expandidos.

Cereal expandido	Umidade (g/100 g)
AB	2,61 ± 0,12
B1	2,79 ± 0,04
B2	5,04 ± 0,03
B3	5,01 ± 0,03
B4	4,07 ± 0,46
R	4,40 ± 0,20

2.1.2. Leite

O leite UHT integral, com teor lipídico de 3 g/100 mL, envasado em embalagens plásticas do tipo garrafa, da marca Shefa®, foi adquirido em comércio local. Foram adquiridos os produtos com data de fabricação mais próxima à data da compra.

2.2. Metodologia

2.2.1. Adição de leite

Em todas as análises em que o leite foi empregado, adotou-se como procedimento padrão utilizá-lo a 6 °C, aplicá-lo ao cereal até que cobrisse todas as unidades que seriam utilizadas, deixar o cereal no leite sem agitação por 3 min (GREGSON; LEE, 2003), e drená-lo em peneira de aço inox, imediatamente antes da apresentação ao avaliador (análise descritiva), ao consumidor (análise de aceitação), ou da execução da análise instrumental.

2.2.2. Análise instrumental de força e de propriedades acústicas

A avaliação da força dos cereais matinais expandidos foi realizada em texturômetro TA.XT *plus* 50 (Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido) e software *Exponent 32*. Aplicaram-se os seguintes testes e *probes* (Figura 2):

- 1) teste de compressão com *probe* cilíndrico de 36mm (P/36R) - Figura 2A;
- 2) teste de corte com *probe Blade set* com guilhotina (HDP/BS) - Figura 2B;
- 3) teste de corte com *probe Blade set* com corte em “V” (HDP/WBV) - Figura 2C;
- 4) teste de extrusão com *probe Ottawa* (A/OTC) com base 3 mm (A/BAR) - Figura 2D₁;

- 5) teste de extrusão com *probe Ottawa* (A/OTC) com base 17 *blades* (A/TBL) - Figura 2D₂;
 6) teste de cisalhamento com *probe Kramer* com cinco lâminas (HDP/KS5) - Figura 2E.

Os testes foram desenvolvidos usando uma célula com capacidade para 25 kg de força, utilizando-se a função (*trigger*) auto, com velocidade de pré-teste igual a 2 mm/s, velocidade de teste de 1 mm/s e velocidade de pós-teste de 10 mm/s e taxa de aquisição de dados de 500 pontos por segundo (pps). A força exercida foi medida em Newtons (N) e o tempo de análise em segundos (s). Para os *probes* cilíndrico e *Ottawa* com ambas as bases, adotou-se compressão de 50% da altura da amostra. Para os demais, ocorreu a total penetração da lâmina na amostra.

Para as análises nos *probes* de *Ottawa* e *Kramer*, verificou-se que a força necessária para romper uma quantidade de amostra suficiente para cobrir o fundo das bases superava a capacidade de compressão do texturômetro (25 kg de força) e, por isso, a análise não era concluída. Para solucionar este problema, as amostras foram colocadas no centro de cada base preenchendo todo o sentido de sua profundidade (Figura 3), sendo necessárias quatro unidades de AB e de R, e cinco unidades dos cereais em formato de bolinha para isto.

Figura 2. *Probes* utilizados para a análise instrumental da textura dos cereais matinais. A. Cilíndrico 36 mm, B. *Blade set* com guilhotina, C. *Blade set* com corte “V”, D. *Ottawa*, D₁. Base 3 mm, D₂. Base 17 *blades*, E. *Kramer*.

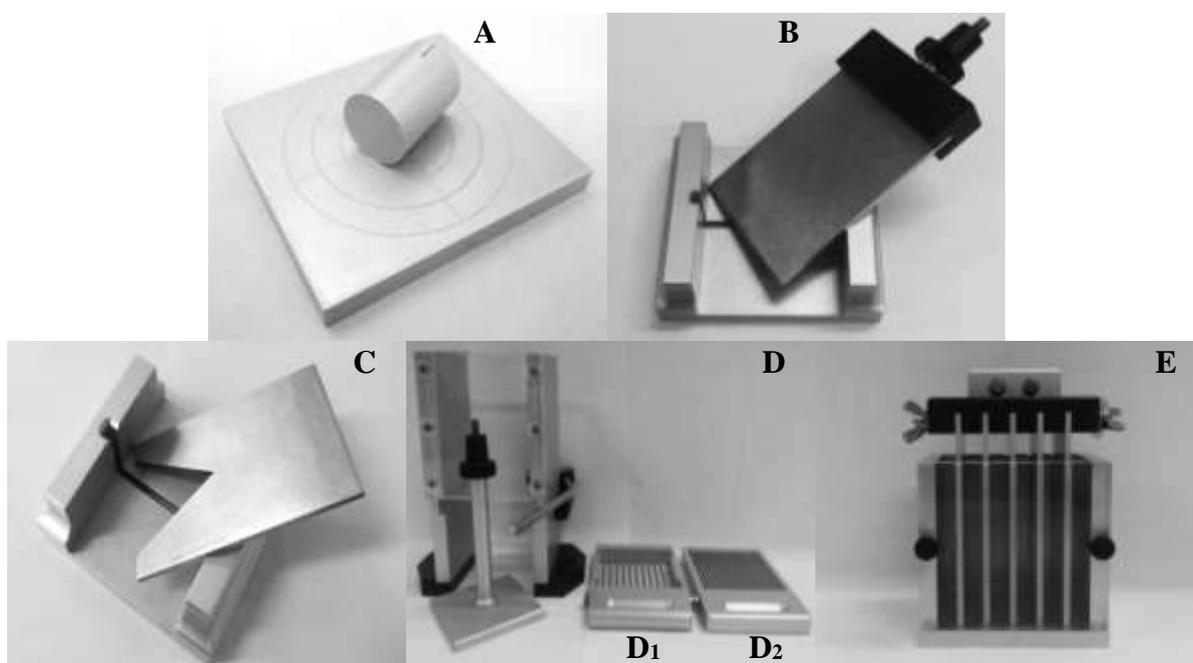
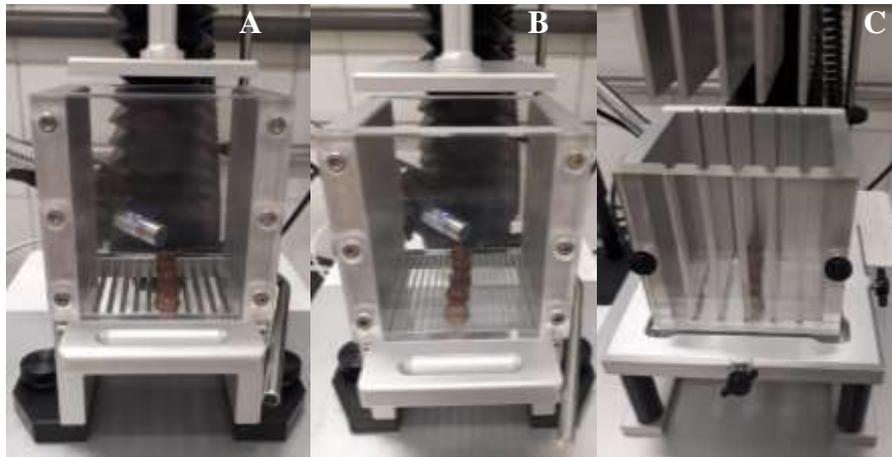


Figura 3. Disposição das amostras nas bases dos *probes* *Ottawa* e *Kramer*. A. *Ottawa* base 3 mm, B. *Ottawa* base 17 blades, C. *Kramer*.



As propriedades acústicas foram avaliadas por meio de um detector acústico (*Acoustic Envelope Detector* – AED) (Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido) acoplado ao texturômetro, utilizando o software *Exponent 32*. Um microfone de 8 mm de diâmetro (Brüel & Kjær, Nærum, Dinamarca) (Figura 4), calibrado usando o calibrador acústico Tipo 4231 (Nível de Pressão Sonora 94 e 114 dB, 1000 Hz), posicionado a 4 cm de distância a amostra e em um ângulo de 0° em relação à base, foi utilizado (Figura 5). Essa combinação de distância e ângulo minimiza a influência de sons mecânicos e de ruídos do ambiente (CASTRO-PRADA et al., 2007; CHEN; KARLSSON; POVEY, 2005). O ajuste acústico “*gain*” foi empregado no nível 1 (6 dB), a função “*high pass filter*” ou “*signal*” foi usada para eliminar sons indesejados abaixo de 1,0 kHz, como sons mecânicos e ruídos do ambiente. Além disso, a fim de neutralizar o som emitido pelo texturômetro, utilizou-se uma “*corner envelope frequency*” de 3,125 kHz. A taxa de aquisição de dados foi de 500 pontos por segundo (pps).

Figura 4. Microfone (A) e unidade de detecção acústica (B).

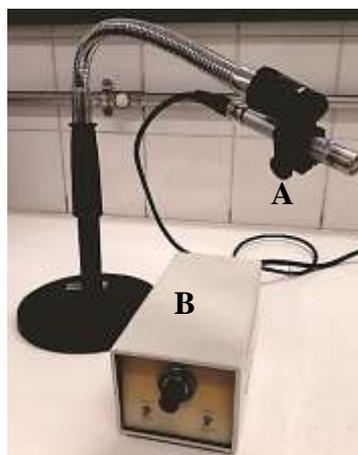
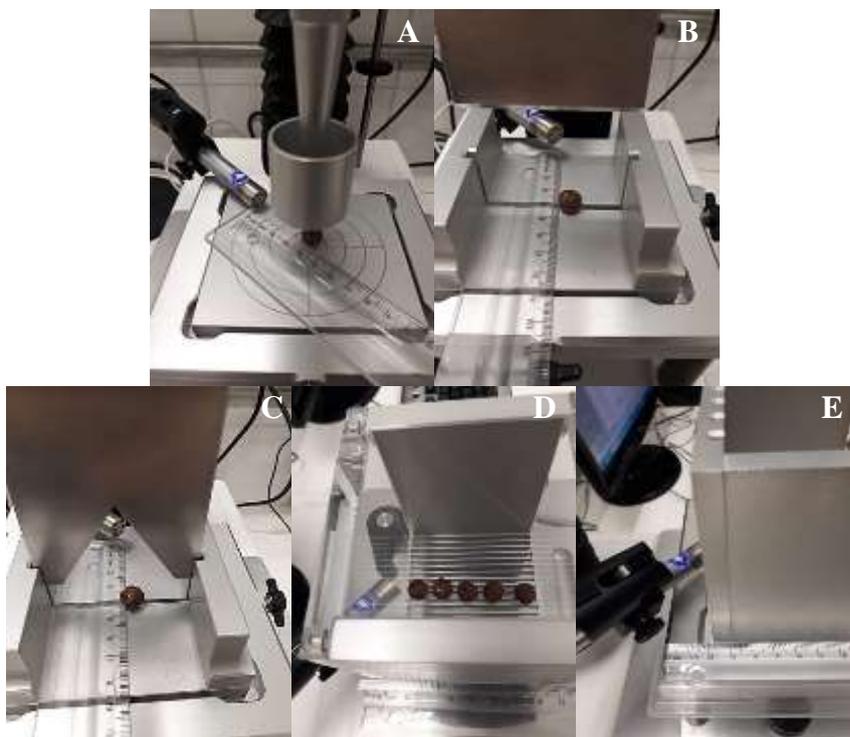


Figura 5. Posição do microfone para cada *probe*. A. Cilíndrico, B. *Blade set* com guilhotina, C. *Blade set* com corte “V”, D. *Ottawa*, E. *Kramer*.



Os testes de força e acústica foram realizados simultaneamente em laboratório convencional, sem isolamento acústico, com umidade relativa de $25 \pm 1\%$ e temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Para as análises instrumentais dos cereais após adição de leite adotou-se o procedimento descrito no item 2.2.1. Foram realizadas 10 replicatas para cada amostra em cada *probe* utilizado. Os gráficos de força foram plotados como força (N) *versus* tempo (s) e os dados obtidos nas curvas geraram as informações sobre as características de força descritas na Tabela 3. Os gráficos acústicos foram plotados como energia sonora (V) *versus* tempo (s), com a finalidade de se obter melhor visualização dos picos acústicos. Os resultados foram expressos em nível de pressão sonora (dB), utilizando-se o limiar de 2,5 dB para eliminação de picos acústicos de baixa amplitude, provenientes de ruídos do ambiente. As propriedades acústicas extraídas das curvas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características de força e propriedades acústicas dos cereais matinais expandidos obtidas a partir da análise instrumental de textura.

Características de força	Definição
Número de picos de força	Número de picos positivos de força, considerando um limiar de 0,05 N
Força máxima média	Média dos três picos máximos de força (N)
*Adesividade instrumental	Área negativa, abaixo da linha de força zero (N.s)
Propriedades acústicas	Definição
Número de picos acústicos	Número de picos acústicos positivos, considerando um limiar de 2,5 dB
Nível de pressão sonora	Média dos dez picos máximos acústicos (dB)

* Detectada somente nos cereais após adição de leite.

Para os testes de compressão e corte (Cilíndrico, *Blade Set* com guilhotina e *Blade Set com corte “V”*), delimitou-se a medição das características de força e das propriedades acústicas entre o início do teste ($t = 0$ s) e o rompimento da amostra, isto é, o decaimento da força ($F = 0$ N). Para os *probes* de *Ottawa* e *Kramer*, que exercem força de extrusão (*Ottawa*) ou cisalhamento (*Kramer*) além de forças de compressão/corte, a medição foi considerada desde o início ($t = 0$ s) até o fim do teste (momento do retorno do *probe* à posição original).

2.2.3. Análises sensoriais de textura dos cereais matinais

O projeto do presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (IBILCE) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto (Parecer consubstanciado nº 1.295.746/2 – Anexo A). Os testes sensoriais foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial do referido instituto.

2.2.3.1. Análise sensorial descritiva de textura dos cereais matinais

O perfil sensorial de textura dos cereais matinais foi avaliado de acordo com Meilgaard, Carr e Civille (2006), Minim e Silva (2016), Stone, Bleibaum e Thomas (2012), com adaptações.

Recrutamento e pré-seleção do painel sensorial: trinta e dois avaliadores foram recrutados entre alunos, funcionários e professores do Instituto. Aplicou-se um questionário (Figura 6) para avaliar a disponibilidade dos indivíduos, patologias relacionadas a alimentos e estabelecer critérios de exclusão. Foram excluídos os indivíduos que declararam não gostar/não consumir cereais matinais, e os que possuem patologias relacionadas a alimentos (intolerâncias, alergias, diabetes, hipertensão), os demais assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A), em duas vias. Dezoito avaliadores foram pré-selecionados aplicando-se um teste de diferença de controle relativo à dureza (Figura 7). Para isso, empregaram-se os três cereais em formato de bolinha sabor chocolate (B1, B2 e B4; Figura 1), e o B2 foi escolhido por meio da análise instrumental de força para ser usado como amostra padrão, por apresentar força máxima (*Ottawa* com base *17 blades*) intermediária em relação às outras duas amostras. Os avaliadores foram pré-selecionados de acordo com sua capacidade discriminativa ($p_{\text{amostra}} \leq 0,30$) e sua reprodutibilidade ($p_{\text{repetição}} > 0,05$). A pré-seleção foi realizada em cabines individuais, sob luz vermelha.

Figura 6. Questionário de recrutamento dos avaliadores.

**QUESTIONÁRIO
PARTICIPAÇÃO NAS ANÁLISES SENSORIAIS**

Nome: _____
 Idade: _____
 Sexo: () Feminino () Masculino

1. Quanto você gosta de cereais matinais?
 () Gosto muito
 () Gosto pouco
 () Indiferente
 () Desgosto pouco
 () Desgosto muito

2. Com que frequência você consome cereais matinais?
 () Diariamente
 () 4 vezes por semana ou mais
 () De 2 a 3 vezes por semana
 () 1 vez por semana
 () 1 vez a cada 15 dias
 () 1 vez por mês
 () Não consumo

3. De que forma você consome cereais matinais?
 () Puro
 () Com leite
 () Outro(s). Qual(is)? _____
 () Todas as anteriores

4. Se você consome com leite, em qual temperatura?
 () Gelado
 () Temperatura ambiente
 () Morno/quente

5. Você possui alguma patologia relacionada à ingestão de certos alimentos? () Sim () Não

6. Se sim, qual? _____

7. Disponibilidade de horário. Assinale os períodos em que você está disponível.

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
8:00 às 10:00 h					
10:00 às 12:00 h					
14:00 às 16:00 h					
16:00 às 18:00 h					

Formas de contato
 Tel: () _____
 Cel: () _____
 E-mail: _____
 Endereço: _____

São José do Rio Preto, _____ de _____ de 20 ____.

 Assinatura do participante

Figura 7. Ficha do teste de diferença do controle – pré-seleção.

Nome: _____ Data: _____

Você está recebendo uma amostra padrão (P) e três amostras codificadas de cereal matinal. Por favor, prove a amostra padrão e em seguida prove cada uma das amostras da esquerda para a direita. Avalie, utilizando a escala abaixo, o quanto cada amostra difere da amostra padrão, em relação à DUREZA.

(1) Extremamente menos duro que P
 (2) Muito menos duro que P
 (3) Moderadamente menos duro que P
 (4) Ligeiramente menos duro que P
 (5) Dureza igual a P
 (6) Ligeiramente mais duro que P
 (7) Moderadamente mais duro que P
 (8) Muito mais duro que P
 (9) Extremamente mais duro que P

Código da amostra	Valor

Levantamento e definição dos atributos: os atributos de textura sensorial foram gerados pelos dezoito avaliadores pré-selecionados por meio do método de rede de Kelly (MOSKOWITZ, 1983) para descrever a textura dos mesmos três cereais matinais (Figura 8). Os termos descritivos foram consensualmente definidos em uma reunião coletiva, e foram selecionados os mais importantes para caracterizar a textura dos cereais matinais expandidos (Tabela 4).

Figura 8. Ficha do método de rede adaptado – levantamento de atributos.

Nome: _____ Data: _____

Por favor, avalie as amostras de cereal matinal e descreva suas similaridades e diferenças quanto à TEXTURA.

Códigos das amostras: _____ , _____ e _____.

Similaridades	Diferenças
---------------	------------

Definição dos alimentos-referência: o painel sensorial também definiu os atributos sensoriais, as referências para cada um dos atributos e o formulário de avaliação do produto (Tabela 4). Os avaliadores detectaram que os cereais matinais perderam sua “fraturabilidade” após a adição de leite (Tabela 4).

Treinamento e seleção do painel sensorial: a etapa de treinamento durou onze sessões de meia hora cada, nas quais os avaliadores analisaram todas as seis amostras por meio de uma escala linear de intensidade não estruturada de 9 cm, e memorizaram as referências. Durante essa etapa, quatro avaliadores desistiram da análise, permanecendo quatorze avaliadores para a próxima etapa. O painel sensorial foi selecionado (Apêndice B) de acordo com sua capacidade discriminativa ($p_{\text{amostra}} \leq 0,30$), sua reprodutibilidade ($p_{\text{repetição}} > 0,05$) e sua capacidade para consenso (coeficiente de correlação de Pearson $\geq 0,80$, $p \leq 0,05$) (MINIM; SILVA, 2016). Nove dos quatorze avaliadores foram selecionados para avaliar o perfil de textura sensorial dos cereais matinais expandidos secos e após adição de leite. O número total de avaliadores do painel treinado, nove, tanto para os cereais secos como para os cereais após adição de leite está em consenso com Dutcosky (2011), que recomenda de seis a oito avaliadores experientes e com treinamento específico na textura do produto em questão.

Avaliação sensorial para descrição do perfil de textura dos cereais matinais: o perfil sensorial de textura foi realizado em cabines individuais, sob luz branca, em ambiente climatizado a 22 °C. Os seis cereais matinais foram apresentados em copos plásticos (3 g/cada), codificados com algarismos aleatórios de três dígitos, e avaliados em três repetições pelos nove avaliadores. A apresentação das amostras foi feita de forma balanceada, aleatória e em blocos completos (realizados em três sessões de seis amostras cada). Os cereais foram apresentados de forma monádica, e uma escala linear de intensidade não estruturada de 9 cm foi usada para cada atributo. Um copo com água em temperatura ambiente foi servido aos participantes para eliminar os resíduos de amostras da boca entre a avaliação de uma amostra e a seguinte. Todos os procedimentos foram feitos de forma semelhante para os cereais matinais após a adição do leite, e a apresentação das amostras foi feita conforme descrito no item 2.2.1, fornecendo-se uma colher descartável para pegar os cereais.

Tabela 4. Definições e referências para os atributos da textura dos cereais matinais expandidos.

Atributo	Definição	Referências	
		Cereais secos	Cereais após adição de leite
Fraturabilidade	Capacidade de um alimento quebrar em pedaços quando mordido com os dentes incisivos	Pouco: uma fatia de cenoura de 2 mm de espessura Muito: uma unidade de torrada <i>Magic Toast</i> (Marilan)	—
Dureza	Força requerida para compressão de uma substância entre os dentes molares	Pouco: meia unidade de biscoito de polvilho salgado (Cassini) Muito: um pedaço de 3 g (meio quadradinho) de chocolate meio amargo (Amaro, Lacta) a 6 °C	Pouco: um pedaço de 1 x 1 cm de uma fatia de pão de forma tradicional (Pullman) sem casca Muito: uma unidade de snack expandido de milho sabor requeijão (Cheetos, PepsiCo)
Crocância	Barulho emitido pelo alimento na primeira mordida com os dentes molares	Pouco: meia unidade de biscoito de polvilho salgado (Cassini) Muito: meia unidade de torrada integral para canapés (Graça's Alimentos Finos)	Pouco: um pedaço de 1 x 1 cm de uma fatia de pão de forma tradicional (Pullman) sem casca Muito: uma unidade de torrada para canapés (Bauducco)
Mastigabilidade	Número de mastigações necessárias para reduzir o alimento à consistência adequada para a deglutição	Pouco: uma unidade de macarrão de sêmola com ovos (Renata, Selmi) tipo conchinha cozido por 20 min em água fervente (300 mL de água, 20 g de macarrão, 1 g de óleo de soja) Muito: uma unidade de torrada para canapés (Bauducco)	Pouco: um pedaço de 1 x 1 cm de uma fatia de pão de forma tradicional (Pullman) sem casca umedecido (1 fatia de pão, 20 mL de leite UHT integral Shefa a 6 °C) Muito: 1/2 unidade de torrada para canapés (Bauducco)
Adesividade	Capacidade do alimento de aderir aos dentes quando mastigado	Pouco: uma fatia de cenoura de 2 mm de espessura Muito: uma unidade de biscoito de cacau sem recheio (Oreo)	Pouco: um pedaço de 1 x 1 cm de uma fatia de pão de forma (Pullman) sem casca Muito: 1/2 unidade de bala de goma sabores sortidos (Gomets)

2.2.3.2. Análise sensorial de aceitação da textura dos cereais matinais

As análises de aceitação sensorial dos cereais matinais foram realizadas em cabine individual, ambiente climatizado a 22 °C e luz branca. Foram recrutados consumidores de cereais matinais dentre alunos, docentes e colaboradores do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, os quais assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A), em duas vias, imediatamente antes à realização do teste sensorial.

Previamente à aplicação do teste de aceitação, foi aplicado um questionário, análogo ao utilizado na análise descritiva, para caracterização dos consumidores (Figura 9).

Figura 9. Questionário de caracterização dos consumidores.

Nome: _____	Data: _____
Idade: _____	
Sexo: () F () M	
1. Quanto você gosta de cereais matinais?	
() Gosto muito	
() Gosto pouco	
() Indiferente	
() Desgosto pouco	
() Desgosto muito	
2. Com que frequência você consome cereais matinais?	
() Diariamente	
() 4 vezes por semana ou mais	
() De 2 a 3 vezes por semana	
() 1 vez por semana	
() 1 vez a cada 15 dias	
() 1 vez por mês	
() Não consumo	
3. De que forma você consome cereais matinais?	
() Puro	
() Com leite	
() Outro(s). Qual(is)? _____	
() Todas as anteriores	
4. Se você consome com leite, em qual temperatura?	
() Gelado	
() Temperatura ambiente	
() Morno/quente	

Após o preenchimento deste questionário, as amostras de cereal matinal foram avaliadas quanto à aceitação sensorial da textura, empregando-se expressões simplificadas dos atributos definidos na análise descritiva, para facilitar o entendimento dos consumidores, e utilizando-se escala hedônica estruturada de nove pontos (Figura 10), com extremo inferior “desgostei extremamente” (1) e extremo superior “gostei extremamente” (9).

O teste foi realizado com 90 consumidores com idade entre 18 e 52 anos. A análise foi realizada em blocos completos, em que todos os consumidores avaliam todas as amostras. Para tanto, dividiu-se o teste em duas sessões, sendo que na primeira foram avaliadas as amostras secas, e na segunda, as amostras após adição de leite. Cerca de 3 g de amostra foram fornecidas

aos consumidores em copos descartáveis com capacidade para 50 mL codificados com algarismos de três dígitos, acompanhadas de colher para amostras após adição de leite, e de um copo de água para eliminar os resíduos de alimento dos dentes, e foram apresentadas de forma monádica, balanceada e aleatória (MACFIE et al.,1989). Para as amostras apresentadas após adição de leite, seguiu-se o procedimento padrão para adição de leite previamente descrito no item 2.2.1.

Figura 10. Ficha empregada para a análise de aceitação da textura dos cereais matinais expandidos secos (A) e após adição de leite (B).

A

Nome: _____ AMOSTRA N^o: _____

Por favor, leia atentamente a ficha abaixo, seguindo, passo a passo, às instruções.

Você está recebendo uma amostra de cereal matinal de marca comercial. Morda essa amostra utilizando, para isso, os seus dentes da frente (dentes incisivos) e perceba se a amostra se quebra aos poucos ou de uma só vez. Indique, utilizando a escala abaixo, o quanto você gosta ou desgosta dessa quebra: _____*

9-gostei extremamente
 8-gostei muitíssimo
 7-gostei moderadamente
 6-gostei levemente
 5-não gostei nem desgostei
 4-desgostei levemente
 3-desgostei moderadamente
 2-desgostei muitíssimo
 1-desgostei extremamente

Prove novamente a amostra, apenas utilizando os dentes do fundo de sua boca (dentes molares), e indique o quanto você gosta ou desgosta das seguintes características abaixo, utilizando a mesma escala acima:

- o quanto a amostra é dura para você mastigá-la: _____
 - intensidade do barulho que a amostra faz ao ser mastigada: _____
 - o quanto você precisa mastigá-la até conseguir engoli-la: _____
 - o quanto a amostra gruda nos seus dentes: _____

Comentários:

B

Nome: _____ AMOSTRA N^o: _____

Por favor, leia atentamente a ficha abaixo, seguindo, passo a passo, às instruções.

Você está recebendo uma amostra de cereal matinal de marca comercial após adição de leite. Morda essa amostra apenas utilizando os dentes do fundo de sua boca (dentes molares), e indique o quanto você gosta ou desgosta das seguintes características, utilizando a escala abaixo:

9-gostei extremamente
 8-gostei muitíssimo
 7-gostei moderadamente
 6-gostei levemente
 5-não gostei nem desgostei
 4-desgostei levemente
 3-desgostei moderadamente
 2-desgostei muitíssimo
 1-desgostei extremamente

- o quanto a amostra é dura para você mastigá-la: _____
 - intensidade do barulho que a amostra faz ao ser mastigada: _____
 - o quanto você precisa mastigá-la até conseguir engoli-la: _____
 - o quanto a amostra gruda nos seus dentes: _____

Comentários:

2.2.4. *Análise microscópica dos cereais matinais*

As análises microscópicas foram realizadas no Instituto de Química (IQ), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Campus de Araraquara.

Os cereais matinais expandidos foram preparados para envio, via Correios, no Laboratório de Análise Sensorial do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (Ibilce) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Campus de São José do Rio Preto. Foi enviado um total de 12 amostras, seis amostras de cereal matinal expandido (Figura 1) seco e seis após adição de leite. Para as amostras após adição de leite, foi necessário realizar uma secagem prévia, pois a câmara de amostras do microscópio eletrônico de varredura não pode receber amostras com elevada umidade. As amostras foram adicionadas de leite de acordo com o procedimento descrito no item 2.2.1. Após a drenagem do leite, os cereais foram acomodados em placas de Petri e colocados em dessecador. Foram utilizados 10 g de cada amostra para que coubessem nas placas de Petri. Fez-se vácuo no interior do dessecador durante 15 min, utilizando uma bomba de vácuo modelo VP 2200D, com vazão de deslocamento de ar de 12 CFM (pés cúbicos por minuto) e capacidade de vácuo de 3×10^{-1} Pa, repetindo-se este processo três vezes ao dia, durante dez dias.

Após a secagem das amostras, realizou-se uma análise de conteúdo de umidade baseado na evaporação a 105 °C (AOAC, 2005) para comprovar que as amostras estavam com umidade adequada para serem submetidas à análise microscópica. As amostras adicionadas de leite, após a secagem em dessecador, apresentaram entre $5,14 \pm 0,05$ (amostra B4) a $5,78 \pm 0,07$ g/100 g (amostra R) de umidade, e as amostras secas continham entre $2,61 \pm 0,12$ (amostra AB) e $5,04 \pm 0,03$ g/100 g (amostra B2) de umidade (Tabela 1), portanto as amostras que foram preparadas estavam adequadas, foram acondicionadas em embalagens de polietileno de baixa densidade, e seladas em seladora manual de pedal. O ar foi removido manualmente do interior da embalagem antes do selamento.

As amostras de cereal matinal expandido foram preparadas para análise microscópica a partir do fraturamento dos monólitos (unidades de cada cereal) com o auxílio de uma espátula metálica, seguido de metalização com ouro durante 25 s. As microfotografias foram realizadas a partir da exposição do interior do material ao microscópio (secção transversal). Utilizou-se ampliação de 50x. Empregou-se um microscópio eletrônico de varredura de alta resolução com emissão de campo (MEV-FEG) modelo JSM-7500F (JEOL Company, Akishima, Tóquio, Japão). As imagens foram obtidas por elétrons secundários com aceleração de voltagem de 2 kV.

2.2.5. Ganho de massa por absorção de leite

Foram utilizados pesa filtros previamente secos em estufa a 105 °C durante 1 h, os quais foram pesados em balança analítica modelo AY220 (Shimatzu, Kyoto, Japão) para em seguida receberem as amostras de cereal e o leite. Para cada replicata (três no total), utilizaram-se dois pesa filtros, um para receber a amostra e o outro para receber o leite. Utilizou-se 1 g de amostra e 10 g de leite (proporção 1:10 m/m, suficiente para cobrir todas unidades de cereal). O conteúdo do pesa filtro com leite foi vertido no pesa filtro contendo a amostra e seguiu-se o procedimento descrito no item 2.2.1. mantendo-se ambos pesa filtros em dessecador. Após o tempo de imersão (3 min), o cereal foi peneirado sobre o pesa filtro do leite, e devolvido ao seu respectivo pesa filtro. Em seguida pesou-se o pesa filtro com o cereal e o pesa filtro com o leite restante do processo, e calculou-se o ganho de massa por 100 g de cereal após a adição de leite, por meio da diferença entre a massa do cereal úmido e a massa do cereal seco.

2.3. Análise estatística

Os resultados da análise instrumental de textura (n = 10) e de ganho de massa por absorção de leite (n = 3) foram submetidos à análise de variância fator único, seguida do teste de Tukey. As médias obtidas da análise sensorial descritiva (n = 27) foram comparadas por meio de análise de variância fator duplo para os fatores “avaliador” e “amostra”, além da interação entre os fatores, com a finalidade de eliminar a interferência desta interação nos dados sensoriais (MINIM; SILVA, 2016), e em seguida, procedeu-se ao teste de Tukey. As médias da aceitação sensorial (n = 90) foram analisadas por meio de análise de variância fator duplo, considerando-se “consumidor” e “amostra” como fontes de variação, seguida do teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Em todos os casos de comparação dos cereais matinais secos e após adição de leite, utilizou-se o teste t de Student pareado. Apenas para o perfil sensorial de textura não foi aplicado o teste t de Student pareado por terem sido utilizadas referências diferentes para os cereais secos e para os cereais após adição de leite. Pelo fato de a quantificação das características ser dependente das referências, a aplicação do referido teste, neste caso, geraria resultados tendenciosos. Obtiveram-se as matrizes de correlação de *Pearson* entre os dados instrumentais e sensoriais, para os cereais secos e para os cereais após adição de leite, sendo consideradas fortes as correlações com coeficiente de correlação $r \geq 0,70$ ou $r \leq -0,70$. Todas essas análises foram realizadas ao nível de significância de 5%, usando o programa IBM SPSS *Statistics for Windows* versão 20.0 (IBM Corp., Armonk, Nova Iorque, EUA).

Foi utilizada a análise multifatorial para correlacionar simultaneamente todos os dados instrumentais e sensoriais dos cereais matinais. Para isso, as variáveis foram alocadas nas colunas e separadas em tabelas da seguinte forma: seis tabelas contendo os resultados para cada *probe*, uma tabela para os resultados da análise descritiva e uma tabela para os resultados da análise de aceitação. As amostras foram alocadas nas linhas. Consideraram-se as variáveis que obtiveram cargas fatorais $\geq 0,7$, ou $\leq -0,7$ para a explicação de cada componente. Essa análise foi realizada no programa XLSTAT 2018.4.51393: *Data Analysis and Statistical Solution for Microsoft Excel* (Addinsoft, Paris, França).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação instrumental de força e de propriedades acústicas dos cereais matinais

A Tabela 5 apresenta o número de picos de força produzido pela quebra dos cereais expandidos secos e após adição de leite, pelos diferentes *probes* empregados, e a diferença estatística no número de picos de força para cada cereal, causada pela adição de leite. Os *probes* discriminaram o número de picos de força dos cereais secos em até seis níveis (*Ottawa* com base 3 mm), e o dos cereais após adição de leite foi discriminado em até cinco níveis (*Ottawa* com base 17 blades).

Para os cereais secos, B2 e B4 apresentaram os maiores números de picos de força, sendo que o primeiro se destacou para os *probes* cilíndrico, *blade set* com guilhotina e *blade set* com corte “V”, e o segundo mostrou destaque para o *probe* *Ottawa* com ambas as bases. Enquanto o cereal R rompeu-se gerando menor número de picos, em comparação aos demais, para todos os *probes*. Após adição de leite, B2 e B4 mantiveram-se com maior número de picos de força que os demais cereais, R com menor número, e B4 apresentou maior número de picos também para os *probes* *blade set* com guilhotina e *Kramer*.

A adição de leite causou redução no número de picos de força dos cereais, exceto para os cereais AB e R que tiveram aumento quando submetidos ao teste de compressão com o *probe* cilíndrico, e o mesmo para o cereal B1 quando submetido ao teste de corte com o *probe* *blade set* com corte “V”. Fato que se deve à ocorrência da ruptura dos cereais secos antes do final do movimento do *probe*, sendo que após a adição de leite, os cereais não se rompem com facilidade e são realizadas a compressão ou o corte por completo, até que o *probe* percorra toda a distância programada para a análise, o que gera maior número de picos de força.

A Tabela 6 evidencia os valores de força máxima média necessários para provocar o rompimento dos cereais matinais expandidos secos e após adição de leite por meio de diferentes formas de aplicação de força (*probes*), e a diferença estatística entre os valores de força máxima média entre os cereais secos e os cereais após adição de leite. Os diferentes testes de força aplicados discriminaram a força máxima média dos cereais secos até cinco níveis (*blade set* com corte “V” e *Ottawa* com base 17 blades), e após a adição de leite houve discriminação em até seis níveis (*Kramer*).

Tabela 5. Número de picos de força (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais.

Cereal expandido	Probe					
	Cilíndrico	Blade set guilhotina	Blade set corte "V"	Ottawa 3 mm	Ottawa 17 blades	Kramer
Cereais secos						
AB	14,10 \pm 4,91 ^c	21,20 \pm 4,87 ^b	34,90 \pm 5,38 ^a	49,90 \pm 3,84 ^b	49,40 \pm 1,84 ^b	167,40 \pm 11,43 ^a
B1	54,00 \pm 6,88 ^a	20,50 \pm 3,72 ^b	19,50 \pm 4,09 ^b	28,40 \pm 5,80 ^d	34,60 \pm 4,93 ^c	100,60 \pm 16,03 ^d
B2	58,80 \pm 12,46 ^a	38,00 \pm 9,27 ^a	29,40 \pm 7,28 ^a	41,40 \pm 2,76 ^c	53,90 \pm 2,47 ^b	128,40 \pm 11,26 ^c
B3	41,20 \pm 7,25 ^b	18,40 \pm 3,53 ^b	32,40 \pm 5,97 ^a	14,60 \pm 2,32 ^e	22,30 \pm 2,41 ^d	52,00 \pm 4,85 ^e
B4	14,60 \pm 4,38 ^c	19,70 \pm 2,98 ^b	27,90 \pm 8,46 ^a	60,00 \pm 2,94 ^a	73,30 \pm 6,80 ^a	146,20 \pm 9,28 ^b
R	2,80 \pm 1,14 ^d	9,60 \pm 2,84 ^c	7,20 \pm 3,29 ^c	9,40 \pm 2,07 ^f	9,40 \pm 1,90 ^e	40,30 \pm 8,26 ^e
Cereais após adição de leite						
AB	23,20 \pm 2,62 ^b	23,80 \pm 5,77 ^a	20,10 \pm 6,97 ^b	29,30 \pm 4,76 ^a	30,40 \pm 1,65 ^b	60,70 \pm 9,20 ^b
B1	23,90 \pm 2,77 ^b	24,00 \pm 8,00 ^a	37,60 \pm 7,72 ^a	10,20 \pm 4,59 ^c	15,30 \pm 2,00 ^c	41,40 \pm 6,62 ^c
B2	35,10 \pm 4,28 ^a	19,10 \pm 3,38 ^a	35,30 \pm 5,44 ^a	16,40 \pm 1,51 ^b	14,60 \pm 2,27 ^c	52,00 \pm 5,40 ^b
B3	11,90 \pm 2,33 ^c	16,20 \pm 4,59 ^a	18,40 \pm 2,95 ^b	6,90 \pm 1,20 ^{cd}	7,90 \pm 2,33 ^d	21,10 \pm 4,04 ^d
B4	9,90 \pm 4,75 ^c	23,10 \pm 9,61 ^a	22,00 \pm 8,11 ^b	30,10 \pm 4,77 ^a	35,90 \pm 2,13 ^a	93,00 \pm 8,65 ^a
R	9,50 \pm 2,17 ^c	6,40 \pm 1,65 ^b	6,90 \pm 1,60 ^c	4,30 \pm 1,57 ^d	3,70 \pm 1,83 ^e	16,80 \pm 3,77 ^d
Valor de p						
AB	\uparrow (< 0,0001)	0,316	\downarrow (0,002)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)
B1	\downarrow (< 0,0001)	0,241	\uparrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)
B2	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	0,078	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)
B3	\downarrow (< 0,0001)	0,328	\downarrow (< 0,0001)			
B4	\downarrow (0,031)	0,328	0,115	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)
R	\uparrow (< 0,0001)	\downarrow (0,017)	0,778	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)

Letras diferentes na mesma coluna, mas dentro de cada tipo de cereal matinal (seco ou após adição de leite), indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Valores em negrito indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

\downarrow Redução do número de picos de força após adição de leite ao cereal; \uparrow Aumento do número de picos de força após adição de leite ao cereal.

Tabela 6. Força máxima média (N) (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais.

Cereal expandido	Probe					
	Cilíndrico	Blade set guilhotina	Blade set corte "V"	Ottawa 3 mm	Ottawa 17 blades	Kramer
Cereais secos						
AB	29,78 \pm 8,68 ^b	45,24 \pm 7,24 ^a	57,22 \pm 9,45 ^a	410,33 \pm 56,96 ^a	451,84 \pm 36,60 ^a	176,98 \pm 16,70 ^a
B1	30,06 \pm 8,09 ^b	20,60 \pm 3,26 ^b	34,33 \pm 9,91 ^{bc}	136,59 \pm 18,06 ^{cd}	143,10 \pm 10,41 ^{cd}	121,01 \pm 10,82 ^b
B2	23,22 \pm 7,71 ^b	25,29 \pm 4,19 ^b	26,84 \pm 3,83 ^{cd}	115,67 \pm 11,30 ^d	119,67 \pm 9,70 ^d	109,89 \pm 13,54 ^b
B3	47,44 \pm 6,52 ^a	24,10 \pm 5,27 ^b	38,32 \pm 7,82 ^b	189,53 \pm 19,62 ^b	175,60 \pm 30,26 ^b	177,36 \pm 15,18 ^a
B4	11,79 \pm 2,69 ^c	11,76 \pm 3,19 ^c	13,17 \pm 2,53 ^e	43,46 \pm 6,49 ^e	41,96 \pm 8,66 ^e	41,67 \pm 7,09 ^d
R	24,83 \pm 7,93 ^b	26,30 \pm 7,52 ^b	22,00 \pm 5,25 ^{de}	157,96 \pm 19,04 ^{bc}	166,48 \pm 18,15 ^{bc}	74,99 \pm 4,60 ^c
Cereais após adição de leite						
AB	138,37 \pm 22,70 ^a	34,43 \pm 9,22 ^a	19,93 \pm 7,72 ^{bc}	207,39 \pm 38,15 ^a	225,33 \pm 26,96 ^a	134,88 \pm 18,68 ^a
B1	45,38 \pm 7,76 ^b	17,69 \pm 2,16 ^b	27,06 \pm 2,43 ^a	128,98 \pm 20,88 ^b	140,74 \pm 9,22 ^b	120,69 \pm 5,02 ^b
B2	28,12 \pm 5,74 ^c	15,69 \pm 4,18 ^{bc}	22,19 \pm 2,25 ^{ab}	100,05 \pm 10,96 ^b	99,63 \pm 7,00 ^c	91,28 \pm 8,62 ^c
B3	41,69 \pm 12,26 ^{bc}	16,22 \pm 3,25 ^b	16,31 \pm 3,46 ^c	109,37 \pm 21,72 ^b	119,20 \pm 22,97 ^{bc}	76,98 \pm 10,66 ^d
B4	7,68 \pm 2,73 ^d	6,57 \pm 2,21 ^d	8,06 \pm 1,38 ^d	28,91 \pm 5,03 ^c	25,00 \pm 5,51 ^d	25,20 \pm 4,36 ^f
R	53,32 \pm 7,11 ^b	9,64 \pm 3,35 ^{cd}	7,35 \pm 2,17 ^d	98,94 \pm 28,17 ^b	110,78 \pm 29,87 ^c	46,60 \pm 5,27 ^e
Valor de p						
AB	\uparrow (< 0,0001)	\downarrow (0,009)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)
B1	\uparrow (0,005)	\downarrow (0,041)	0,86	0,495	0,626	0,916
B2	0,110	\downarrow (0,001)	\downarrow (0,003)	\downarrow (0,011)	\downarrow (0,001)	\downarrow (0,010)
B3	0,143	\downarrow (0,007)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (0,002)	\downarrow (< 0,0001)
B4	\downarrow (0,010)	\downarrow (0,001)	\downarrow (0,001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)	\downarrow (< 0,0001)
R	\uparrow (< 0,0001)	\downarrow (0,001)	\downarrow (< 0,0001)			

Letras diferentes na mesma coluna, mas dentro de cada tipo de cereal matinal (seco ou após adição de leite), indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Valores em negrito indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

\downarrow Redução da força máxima média após adição de leite ao cereal; \uparrow Aumento da força máxima média após adição de leite ao cereal.

O cereal AB apresentou maior intensidade de força máxima média em cinco dos seis testes de força realizados, somente para a força de compressão (cilíndrico) o cereal B3 o superou. Enquanto que o cereal B4 apresentou uma das menores intensidade de força para todos os testes. Pode-se, também, salientar que este cereal apresentou maior número de picos de força para testes de corte (*probe blade set* com corte “V”) e extrusão (*probe Ottawa*), conforme visto na Tabela 5, demonstrando ser fraturável, e sendo necessária baixa intensidade de força para causar sua ruptura.

De forma análoga ao observado para o número de picos de força, a força máxima média dos cereais AB, B1 e R, submetidos ao teste de compressão pelo *probe* cilíndrico, também sofreu aumento após adição de leite. Devido à não ruptura dos cereais no início da aplicação da força, a força de compressão foi exercida até o fim do movimento do *probe*, sendo exercida maior força de reação.

Oliveira, Schmiele e Steel (2017) avaliaram, por meio de *probe Kramer* com cinco lâminas, a força necessária para causar a ruptura da amostra, ou força máxima, denominada de “dureza”, e o número de picos de força gerados pelo completo rompimento da amostra, denominado de “crocância” de cereais matinais expandidos produzidos por meio de diferentes condições de extrusão, contendo diferentes concentrações de farinha de trigo integral. Observaram redução da “dureza” e da “crocância” dos cereais após a adição de leite, corroborando a redução significativa do número de picos de força e da força máxima média pela adição de leite, evidenciados no presente estudo, para o mesmo *probe*.

A adesividade instrumental (Tabela 7) foi observada somente nos cereais após adição de leite, devido à aderência do cereal ao *probe* ao final da análise, no momento do retorno do *probe* à posição inicial. No entanto, somente AB e B1 apresentaram adesividade ao *probe blade set* com corte “V”, e não se detectou adesividade dos cereais expandidos ao *Kramer*, por isso este *probe* não consta na tabela. Ainda, foram encontrados elevados desvios-padrões devido à ocorrência de algumas replicatas em que os cereais não apresentaram aderência ao *probe*.

A adesividade (Tabela 7) foi discriminada entre os cereais em até três níveis (*probe* cilíndrico), e o cereal B1 destacou-se como um dos mais adesivos, e B4 como um dos menos adesivos, para todos os diferentes *probes* empregados.

Tabela 7. Adesividade instrumental (N.s) (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos após adição de leite.

Cereal expandido	<i>Probe</i>				
	Cilíndrico	<i>Blade set</i> guilhotina	<i>Blade set</i> corte “V”	<i>Ottawa</i> 3 mm	<i>Ottawa</i> 17 blades
AB	0,137 \pm 0,060 ^a	0,004 \pm 0,004 ^b	0,009 \pm 0,008 ^B	0,049 \pm 0,018 ^b	0,011 \pm 0,051 ^b
B1	0,119 \pm 0,062 ^a	0,007 \pm 0,008 ^{ab}	0,076 \pm 0,064 ^A	0,205 \pm 0,128 ^a	0,251 \pm 0,057 ^a
B2	0,093 \pm 0,053 ^{ab}	0,006 \pm 0,007 ^{ab}	nd	0,203 \pm 0,072 ^a	0,246 \pm 0,084 ^a
B3	0,151 \pm 0,077 ^a	nd	nd	0,096 \pm 0,105 ^b	0,269 \pm 0,131 ^a
B4	0,010 \pm 0,004 ^c	0,005 \pm 0,002 ^b	nd	0,063 \pm 0,031 ^b	0,049 \pm 0,049 ^b
R	0,047 \pm 0,071 ^{bc}	0,014 \pm 0,010 ^a	nd	0,046 \pm 0,032 ^b	0,091 \pm 0,049 ^b

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo teste t de Student para amostras independentes ($p \leq 0,05$).

nd = adesividade não detectada.

Os cereais matinais expandidos não apresentaram adesividade quando avaliados no *probe Kramer*.

As Tabelas 8 e 9 apresentam as propriedades acústicas resultantes da quebra dos cereais matinais pelos diferentes testes/*probes*. O número de picos acústicos (Tabela 8) dos cereais, secos e após adição de leite, foi discriminado pelos *probes* em um máximo de cinco níveis. O cereal B4 evidenciou um dos maiores números de picos acústicos para cinco dos seis tipos de testes realizados, e B2 se destacou para os testes de compressão (*probe* cilíndrico) e corte (*probe blade set* com guilhotina). E o cereal em formato de rosquinha R, emitiu um dos menores números de picos acústicos em sua quebra.

Após a adição de leite, alguns cereais apresentaram elevado desvio-padrão devido a replicatas que não apresentaram picos acústicos com nível de pressão sonora acima do limiar de 2,5 dB. O cereal B2 emitiu maior um dos maiores números de picos acústicos para cinco dos seis testes, e B4 se destacou para os testes de extrusão (*probe Ottawa* com base 3 mm) e cisalhamento (*probe Kramer*). E B3 evidenciou um dos menores números de picos acústicos, sendo que não foram detectados, picos acústicos com nível de pressão sonora acima do limiar de 2,5 dB quando este cereal foi analisado por meio dos *probes* cilíndrico, *Ottawa* com base 3 mm e *kramer*. A adição de leite causou redução (Tabela 8) no número de picos acústicos emitidos pelo rompimento dos cereais, exceto para AB e R, com o *probe* cilíndrico, como já explicitado para o número de picos de força e força máxima média (Tabelas 4 e 5, respectivamente).

O nível de pressão sonora (Tabela 9) dos cereais matinais expandidos, tenham sido eles adicionados ou não de leite, foi discriminado em até quatro níveis pelos diferentes testes aplicados. As referidas replicatas de alguns dos cereais que não evidenciaram número de picos acústicos (Tabela 6), não forneceram nível de pressão sonora. Dessa forma, a fim de não se obter dados errôneos adotando-se o valor zero para estas replicatas, empregou-se a média das replicatas “válidas” para a obtenção dos resultados (Tabela 9).

AB, B2 e B4 destacaram-se dentre os demais cereais, pois emitiram uns dos maiores níveis de pressão sonora máximo médio (Tabela 9) quando analisados por quatro (diferentes para cada cereal) dos seis *probes* empregados. E o cereal R, mais uma vez, mostrou-se com um dos menores valores para todos os testes. O cereal B2 evidenciou um dos maiores níveis de pressão sonora também após a adição de leite, em cinco dos seis testes aplicados, enquanto B4 destacou-se para os testes de corte (*probe blade set* com guilhotina), extrusão (*probe Ottawa* com base 3 mm) e cisalhamento (*probe Kramer*). A adição de leite (Tabela 9) causou a redução do nível de pressão sonora dos cereais. Somente para o cereal B1, a adição de leite não causou alteração significativa para os testes de corte (*probe blade set* com corte “V”) e de cisalhamento com *Kramer*.

Tabela 8. Número de picos acústicos (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais.

Cereal expandido	Probe					
	Cilíndrico	Blade set guilhotina	Blade set corte "V"	Ottawa 3 mm	Ottawa 17 blades	Kramer
Cereais secos						
AB	40,90 \pm 7,95 ^c	33,00 \pm 9,79 ^{ab}	45,30 \pm 9,37 ^b	100,90 \pm 7,03 ^b	179,40 \pm 18,34 ^a	87,50 \pm 3,54 ^c
B1	113,30 \pm 5,50 ^b	22,30 \pm 7,79 ^{bc}	23,50 \pm 5,72 ^c	71,10 \pm 13,24 ^d	99,10 \pm 11,69 ^c	61,10 \pm 9,70 ^d
B2	144,90 \pm 26,11 ^a	41,80 \pm 13,69 ^a	43,00 \pm 13,27 ^b	87,00 \pm 9,13 ^c	121,60 \pm 9,64 ^b	109,00 \pm 7,97 ^b
B3	103,20 \pm 16,48 ^b	18,40 \pm 5,62 ^c	47,80 \pm 12,89 ^b	26,60 \pm 4,97 ^c	45,80 \pm 6,68 ^d	19,10 \pm 3,25 ^e
B4	57,50 \pm 15,36 ^c	42,50 \pm 14,87 ^a	65,70 \pm 15,81 ^a	163,90 \pm 16,80 ^a	194,10 \pm 24,16 ^a	130,20 \pm 12,28 ^a
R	7,00 \pm 2,00 ^d	13,30 \pm 4,37 ^c	8,30 \pm 2,71 ^d	35,30 \pm 4,14 ^e	36,40 \pm 4,43 ^d	19,90 \pm 5,15 ^e
Cereais após adição de leite						
AB	51,80 \pm 13,48 ^b	11,10 \pm 3,25 ^b	8,60 \pm 3,17 ^{cd}	39,90 \pm 5,74 ^b	44,77 \pm 6,70 ^a	6,80 \pm 2,30 ^c
B1	32,40 \pm 6,82 ^c	13,30 \pm 4,47 ^{ab}	20,40 \pm 4,33 ^b	21,80 \pm 8,73 ^c	17,80 \pm 6,03 ^c	15,80 \pm 2,74 ^b
B2	70,40 \pm 13,59 ^a	18,80 \pm 5,87 ^a	27,40 \pm 7,47 ^a	50,90 \pm 8,56 ^b	38,70 \pm 10,34 ^a	23,80 \pm 4,37 ^a
B3	nd	2,70 \pm 0,95 ^c	1,20 \pm 1,03 ^e	nd	2,40 \pm 1,78 ^d	nd
B4	21,00 \pm 8,00 ^{cd}	16,90 \pm 9,26 ^{ab}	14,40 \pm 6,19 ^{bc}	78,10 \pm 15,83 ^a	26,80 \pm 7,83 ^b	22,00 \pm 5,23 ^a
R	12,80 \pm 3,97 ^d	1,90 \pm 1,73 ^c	4,50 \pm 1,78 ^{de}	12,10 \pm 4,01 ^c	10,60 \pm 3,03 ^{cd}	1,70 \pm 1,06 ^d
Valor de p						
AB	↑ (0,045)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
B1	↓ (< 0,0001)	↓ (0,016)	0,164	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
B2	↓ (< 0,0001)	↓ (0,001)	↓ (0,019)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
B3	-	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	-	↓ (< 0,0001)	-
B4	↓ (< 0,0001)	↓ (0,002)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
R	↑ (0,003)	↓ (< 0,0001)	↓ (0,011)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)

Letras diferentes na mesma coluna, mas dentro de cada tipo de cereal matinal (seco ou após adição de leite), indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

nd = não detectados picos acústicos com nível de pressão sonora acima do limiar 2,5 dB.

Valores em negrito indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

↓ Redução do número de picos acústicos após adição de leite ao cereal; ↑ Aumento do número de picos acústicos após adição de leite ao cereal.

Tabela 9. Nível de pressão sonora (dB) (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais.

Cereal expandido	Probe					
	Cilíndrico	Blade set guilhotina	Blade set corte "V"	Ottawa 3 mm	Ottawa 17 blades	Kramer
Cereais secos						
AB	84,27 \pm 3,45 ^{ab}	79,46 \pm 4,62 ^{ab}	79,54 \pm 2,60 ^a	95,23 \pm 1,97 ^a	98,25 \pm 1,41 ^a	83,07 \pm 1,89 ^a
B1	84,88 \pm 1,59 ^a	76,10 \pm 2,17 ^{bc}	73,34 \pm 3,74 ^b	81,41 \pm 2,94 ^c	87,03 \pm 1,70 ^b	70,83 \pm 6,43 ^b
B2	86,08 \pm 2,25 ^a	80,43 \pm 3,04 ^{ab}	80,73 \pm 2,32 ^a	89,33 \pm 1,12 ^b	96,24 \pm 1,86 ^a	80,36 \pm 1,71 ^a
B3	81,35 \pm 1,86 ^b	73,66 \pm 3,24 ^c	78,71 \pm 2,65 ^a	73,81 \pm 6,28 ^d	80,97 \pm 3,81 ^c	68,02 \pm 5,05 ^b
B4	86,12 \pm 2,40 ^a	82,66 \pm 2,58 ^a	81,71 \pm 1,95 ^a	87,75 \pm 1,43 ^b	88,69 \pm 2,65 ^b	79,78 \pm 2,19 ^a
R	72,66 \pm 2,69 ^c	74,02 \pm 3,86 ^c	72,30 \pm 2,15 ^b	75,55 \pm 3,92 ^d	77,11 \pm 3,77 ^d	68,36 \pm 3,52 ^b
Cereais após adição de leite						
AB	65,16 \pm 3,13 ^b	61,48 \pm 5,19 ^a	64,84 \pm 2,69 ^b	68,11 \pm 2,54 ^c	68,98 \pm 3,09 ^{ab}	61,00 \pm 1,83 ^b
B1	62,43 \pm 2,67 ^{bc}	68,30 \pm 4,31 ^a	71,91 \pm 2,22 ^a	64,64 \pm 4,78 ^c	62,04 \pm 4,80 ^{cd}	66,20 \pm 2,34 ^a
B2	74,90 \pm 3,84 ^a	66,08 \pm 4,65 ^a	72,28 \pm 2,55 ^a	74,07 \pm 2,49 ^b	70,59 \pm 2,58 ^a	68,02 \pm 2,07 ^a
B3	nd	60,59 \pm 4,55 ^a	64,27 \pm 4,56 ^b	nd	58,07 \pm 6,11 ^d	nd
B4	67,88 \pm 5,96 ^b	63,81 \pm 9,47 ^a	67,19 \pm 3,22 ^b	78,10 \pm 2,21 ^a	63,38 \pm 3,83 ^c	67,70 \pm 1,80 ^a
R	57,56 \pm 8,79 ^c	50,55 \pm 6,14 ^b	66,53 \pm 4,65 ^b	66,66 \pm 2,58 ^c	64,77 \pm 1,86 ^{bc}	49,88 \pm 5,04 ^c
Valor de p						
AB	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
B1	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	0,248	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	0,055
B2	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
B3	-	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	-	↓ (< 0,0001)	-
B4	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
R	↓ (0,001)	↓ (< 0,0001)	↓ (0,003)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)

Letras diferentes na mesma coluna, mas dentro de cada tipo de cereal matinal (seco ou após adição de leite), indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

nd = não detectado nível de pressão sonora acima do limiar 2,5 dB.

Valores em negrito indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

↓ Redução do nível de pressão sonora após adição de leite ao cereal.

3.2. Avaliação sensorial da textura dos cereais matinais

3.2.1. Perfil sensorial de textura dos cereais matinais

O painel sensorial de avaliação dos cereais matinais foi composto por indivíduos na faixa etária de 24 a 35 anos, 89% do sexo feminino, sendo que 66,7% deles gostam muito de cereais matinais e 33,3% gostam pouco. Todos os avaliadores são consumidores de cereais matinais, 33,3% consomem pelo menos uma vez por semana e 66,7% consomem ocasionalmente, isto é, uma vez a cada 15 dias ou menos. Em relação à forma de consumo, que poderiam ser indicadas quaisquer delas, 55,6% alegaram ingerir os cereais puros, 77,8% com leite e 55,6% com outro tipo de acompanhamento, como iogurte. E todos os avaliadores que consomem cereais matinais com leite, utilizam-no gelado (temperatura de refrigeração).

Os cereais matinais foram descritos por características mecânicas de textura, isto é, pela percepção de textura da amostra por meio da reação do alimento a forças aplicadas a fim de gerar o rompimento de sua estrutura interna (SZCZESNIAK, 1963).

Cada tipo de cereal matinal foi avaliado por determinados grupos de atributos de textura. No entanto, cinco termos foram empregados no trabalho como um todo, sendo eles fraturabilidade, dureza, crocância, mastigabilidade e adesividade. Estes termos foram utilizados com a finalidade de investigar a reação do alimento em estudo à aplicação de diferentes tipos de forças por meio dos dentes; e posteriormente, correlacioná-las com as diferentes forças aplicadas pelo texturômetro (item 3.1.).

Observa-se que o painel sensorial discriminou os cereais matinais secos em função dos atributos, além de terem utilizado praticamente toda a escala linear não estruturada de 9 cm (Tabela 10). A amostra AB apresentou maior dureza, crocância e mastigabilidade que as demais, além de evidenciar uma das menores fraturabilidades e adesividades dentre as amostras. Dentre os cereais em formato de bolinha, B1 e B4 apresentaram igual intensidade para todos os atributos avaliados, com as maiores fraturabilidades dentre as demais, e também elevada adesividade, enquanto que apresentaram baixa dureza, crocância e mastigabilidade (Tabela 10). As amostras B2 e B3 foram similares quanto à intensidade de dureza, embora B2 tenha se mostrado mais fraturável, crocante e de mais fácil mastigação que B3. A amostra em formato de rosquinha se destacou pela dureza e crocância menos intensas, pela maior adesividade dentre as amostras, e também pela elevada fraturabilidade.

Tabela 10. Intensidade dos atributos de textura (média \pm desvio-padrão, n = 27) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite.

Cereal expandido	Atributo				
	Fraturabilidade	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade
Cereais secos					
AB	1,25 \pm 0,44 ^d	8,00 \pm 0,38 ^a	8,33 \pm 0,35 ^a	7,65 \pm 0,69 ^a	5,25 \pm 0,69 ^d
B1	6,23 \pm 1,25 ^a	2,19 \pm 0,82 ^c	2,46 \pm 0,74 ^d	2,32 \pm 0,44 ^d	5,87 \pm 1,03 ^{cd}
B2	3,31 \pm 2,04 ^b	4,48 \pm 1,34 ^b	4,76 \pm 1,20 ^b	3,66 \pm 0,91 ^b	6,13 \pm 1,60 ^c
B3	1,73 \pm 0,91 ^{cd}	4,42 \pm 1,33 ^b	3,19 \pm 0,83 ^c	3,01 \pm 0,68 ^c	7,19 \pm 0,66 ^{ab}
B4	6,96 \pm 1,22 ^a	1,86 \pm 0,68 ^c	2,61 \pm 0,64 ^d	2,59 \pm 0,59 ^{cd}	6,51 \pm 1,42 ^{bc}
R	2,44 \pm 1,07 ^{bc}	1,07 \pm 0,37 ^d	1,14 \pm 0,26 ^e	2,46 \pm 0,55 ^d	7,70 \pm 0,32 ^a
Cereais após adição de leite					
AB	-	7,54 \pm 0,42 ^a	7,57 \pm 0,38 ^a	6,51 \pm 0,86 ^a	2,40 \pm 0,96 ^d
B1	-	4,12 \pm 0,95 ^d	4,15 \pm 0,79 ^d	2,47 \pm 0,21 ^c	4,76 \pm 0,77 ^c
B2	-	5,82 \pm 0,71 ^b	5,77 \pm 0,80 ^b	3,03 \pm 0,72 ^b	6,72 \pm 0,31 ^b
B3	-	4,39 \pm 1,33 ^{cd}	4,30 \pm 0,95 ^d	2,70 \pm 0,88 ^c	7,56 \pm 0,31 ^a
B4	-	4,71 \pm 1,17 ^c	4,88 \pm 1,00 ^c	2,74 \pm 0,93 ^{bc}	6,65 \pm 1,12 ^b
R	-	1,06 \pm 0,44 ^e	1,12 \pm 0,45 ^e	1,09 \pm 0,35 ^d	7,93 \pm 0,33 ^a

Letras diferentes na mesma coluna, mas dentro de cada tipo de cereal matinal (seco ou após adição de leite), indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Segundo Alam et al. (2017), quanto maior a taxa de expansão do produto extrusado, menor é a sua dureza e maior a sua crocância. Menores também são as partículas formadas a partir da quebra do alimento, mais fácil a formação do bolo alimentar, e menos ciclos mastigatórios são necessários para poder deglutir este alimento. Esta informação reitera a maior mastigabilidade evidenciada pela amostra AB, pois além de possuir maior largura e espessura, ela possui maior dureza em relação às demais.

A adição de leite às amostras de cereal matinal expandido causou o aumento da umidade das amostras e, conseqüentemente, a perda da fraturabilidade. Com isso, este termo foi excluído da lista de atributos da textura dos cereais expandidos após adição de leite por não ser um constituinte da textura destas amostras. Dessa forma, os termos empregados para descrever os cereais matinais expandidos após adição de leite foram dureza, crocância, mastigabilidade e adesividade.

Assim como para os cereais secos, o painel sensorial discriminou os cereais matinais após adição de leite em função dos atributos e utilizaram toda a escala linear não estruturada de 9 cm (Tabela 10). De forma análoga ao evidenciado para os cereais secos, o cereal AB destacou-se pelas maiores intensidades de dureza, crocância e mastigabilidade entre as amostras, e também pela menor adesividade, indicando uma manutenção da textura do cereal matinal AB, mesmo após a adição do leite. As amostras em formato de bolinha apresentaram textura intermediária às amostras AB e R. A amostra R obteve destaque pela maior adesividade, com igual intensidade à amostra B3, e pela menor dureza, crocância e mastigabilidade.

Por meio da comparação dos resultados das análises relativas aos cereais matinais expandidos, antes e após adição de leite, verifica-se que a adição de leite modificou o perfil de textura dos cereais matinais expandidos apenas quanto à fraturabilidade. Entretanto, é importante salientar que, embora as amostras de cereal matinal expandido seco e após adição de leite tenham apresentado perfis de textura similares, a intensidade de cada atributo foi modificada, pois as referências empregadas são diferentes (Tabela 4) e aquelas definidas para a descrição das amostras após a adição de leite representam intensidades menores dos termos dureza, crocância e mastigabilidade, e maior intensidade de adesividade. Com isso, permite-se afirmar que a adição de leite provoca perda da fraturabilidade das amostras, redução da intensidade de dureza, crocância e mastigabilidade e aumento da intensidade da adesividade.

3.2.2. *Aceitação sensorial da textura dos cereais matinais*

Os consumidores que avaliaram os cereais matinais expandidos tinham idade entre 18

e 52 anos e 64,4% eram do sexo feminino. Dos 90 consumidores, 71,1% gostam muito de cereais matinais, 51,1% consomem pelo menos uma vez por semana, e 83,3% consomem cereais com leite, sendo que 83,3% destes utilizam leite gelado no momento do consumo. Dos 27,8% que consomem cereais matinais com outro tipo de acompanhamento, 60% o fazem com iogurte, 4% com sorvete, e os demais não declararam.

Dentre os cereais secos, a amostra B1 foi uma das mais aceitas para todas as características de textura avaliadas, com médias classificadas na escala hedônica entre “gostei levemente” e “gostei muitíssimo” (Tabela 11). Por outro lado, a amostra AB foi a menos aceita para fraturabilidade e dureza, além de ter sido uma das menos aceitas para crocância e mastigabilidade, embora tenha tido a adesividade tão aceita quanto o cereal B1. Para este cereal, as médias foram classificadas na escala hedônica variando no intervalo de “não gostei nem desgostei” a “gostei moderadamente”. As demais amostras foram igualmente aceitas entre si para todos os termos avaliados, com exceção para a amostra R, que apresentou menor aceitação para dureza do que a amostra B4, e menor aceitação para crocância e mastigabilidade do que a amostra B3.

Para os cereais após adição de leite, as amostras AB e B1 foram igualmente aceitas para todos os termos avaliados, e também umas das mais aceitas em relação às demais, sendo que suas médias variaram de “gostei moderadamente” a “gostei muitíssimo” para AB, e de “gostei levemente” a “gostei muitíssimo” para B1. A amostra B4 foi igualmente aceita às anteriormente citadas para dureza, crocância e mastigabilidade. E, em contrapartida, a amostra R foi a menos aceita em relação a todos os termos avaliados, com exceção para a adesividade, em que foi igualmente aceita às amostras B2, B3 e B4.

Oliveira, Alencar e Steel (2018) avaliaram a aceitação da textura de cereais matinais expandidos enriquecidos com farinha de trigo integral e farinha da casca de jabuticaba, com e sem leite. Os consumidores apresentaram igual aceitação por ambas as formas de apresentação do cereal, e o leite não alterou a aceitação da textura dos cereais avaliados, diferentemente do observado no presente estudo, em que, dependentemente do produto, a adição do leite causou aumento ou redução da aceitação das características de textura.

Tabela 11. Aceitação sensorial de textura (médias \pm desvio-padrão, n = 90) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais.

Cereal expandido	Atributo				
	Fraturabilidade	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade
AB	5,86 \pm 2,27 ^c	6,03 \pm 2,00 ^d	6,42 \pm 2,26 ^d	6,34 \pm 2,06 ^d	6,73 \pm 1,62 ^a
B1	7,69 \pm 1,17 ^a	7,80 \pm 1,28 ^a	7,49 \pm 1,31 ^a	7,63 \pm 1,33 ^a	6,75 \pm 1,60 ^a
B2	6,63 \pm 1,89 ^b	6,99 \pm 1,79 ^{bc}	6,67 \pm 1,93 ^{bcd}	7,09 \pm 1,55 ^{bc}	5,64 \pm 1,86 ^b
B3	7,01 \pm 1,55 ^b	7,43 \pm 1,40 ^{abc}	7,26 \pm 1,44 ^{ab}	7,46 \pm 1,36 ^{ab}	5,84 \pm 1,95 ^b
B4	7,21 \pm 1,72 ^{ab}	7,52 \pm 1,50 ^{ab}	7,15 \pm 1,53 ^{abc}	7,21 \pm 1,40 ^{abc}	5,64 \pm 1,84 ^b
R	6,89 \pm 1,84 ^b	6,89 \pm 1,99 ^c	6,58 \pm 1,88 ^{cd}	6,80 \pm 1,75 ^{cd}	5,71 \pm 2,16 ^b
Cereais após adição de leite					
AB	-	7,16 \pm 1,79 ^{ab}	7,33 \pm 1,53 ^a	7,23 \pm 1,64 ^a	7,10 \pm 1,57 ^a
B1	-	7,58 \pm 1,22 ^a	7,26 \pm 1,50 ^a	7,31 \pm 1,42 ^a	6,88 \pm 1,48 ^a
B2	-	7,18 \pm 1,54 ^{ab}	7,38 \pm 1,55 ^a	7,04 \pm 1,56 ^a	5,79 \pm 1,78 ^b
B3	-	6,73 \pm 1,96 ^{bc}	6,51 \pm 1,90 ^b	6,88 \pm 1,66 ^a	5,99 \pm 1,90 ^b
B4	-	7,75 \pm 1,25 ^a	7,63 \pm 1,27 ^a	7,42 \pm 1,26 ^a	6,10 \pm 1,84 ^b
R	-	6,17 \pm 2,30 ^c	5,74 \pm 2,20 ^c	6,09 \pm 2,05 ^b	5,52 \pm 2,09 ^b
Valor de p					
AB	-	\uparrow (< 0,0001)	\uparrow (< 0,0001)	\uparrow (< 0,0001)	0,058
B1	-	0,158	0,091	\downarrow (0,024)	0,504
B2	-	0,336	\uparrow (< 0,0001)	0,821	0,466
B3	-	\uparrow (< 0,0001)	0,001	\downarrow (< 0,0001)	0,523
B4	-	0,164	\uparrow (0,002)	0,115	\uparrow (0,012)
R	-	\downarrow (0,004)	\downarrow (0,001)	\downarrow (0,004)	0,366

Letras diferentes na mesma coluna, mas dentro de cada tipo de cereal matinal (seco ou após adição de leite), indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Valores em negrito indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

\downarrow Redução da aceitação sensorial após adição de leite ao cereal; \uparrow Aumento da aceitação sensorial após adição de leite ao cereal.

A adição de leite à amostra AB causou melhora da aceitação por sua dureza, crocância e mastigabilidade (Tabela 11). Também houve favorecimento da aceitação da crocância das amostras B1, B2 e B4 após a adição de leite. No entanto, a adição de leite prejudicou a aceitação da mastigabilidade da amostra B1, e da dureza e mastigabilidade para a amostra B3. Embora a média de aceitação da mastigabilidade da amostra B1 tenha sido reduzida após a adição de leite à amostra, esta continuou sendo a mais aceita dentre as amostras avaliadas. Situação inversa à da amostra AB aconteceu com a amostra R, a adição de leite reduziu a aceitação por sua dureza, crocância e mastigabilidade.

Verifica-se, dessa forma que, embora a crocância seja uma característica desejável em um cereal matinal, sua elevada intensidade pode levar à rejeição de um produto. As elevadas intensidades de crocância dureza e mastigabilidade ocasionaram menor aceitação das características de textura do cereal expandido em formato de aglomerado de bolinhas seco (AB) em relação às demais amostras. Alguns consumidores deixaram seu comentário nas fichas sensoriais relatando que a elevada dureza da amostra AB os incomodou, denominando-a como “dura”, “muito dura”, além de expressões como “dura de morder” e “falta maciez”. Houveram, também, reclamações quanto à intensidade da crocância, isto é, do ruído emitido pela amostra ao ser mordida, foram citados os termos “barulhenta” e “barulho forte demais”.

Entretanto, após a adição de leite, os comentários nas fichas sensoriais foram positivos: “continua muito crocante mesmo após adição de leite”, mostrando a percepção da manutenção da textura e redução das intensidades de dureza e crocância, que causavam incômodo no cereal seco. Verifica-se, portanto, que o fato de a amostra sofrer redução na intensidade e ainda assim apresentar crocância é um fator positivo para o consumidor.

Embora tenha-se solicitado ao consumidor que demonstrasse sua aceitação somente pelas características de texturas dos cereais matinais, é de suma importância salientar a interferência de outros atributos sensoriais na aceitação do produto. Por tratarem-se de consumidores, indivíduos não treinados, eles podem atribuir notas de aceitação tendenciosas, pela influência da aparência, aroma, e principalmente do sabor, pois este é o atributo mais intimamente relacionado à aceitação ou rejeição de um alimento (MACFIE; MEISELMAN, 2012). De forma que esta se torna uma limitação à avaliação dos resultados da aceitação da textura dos cereais matinais em estudo neste trabalho.

3.3. Correlação entre textura sensorial e instrumental dos cereais matinais

Após a avaliação das propriedades instrumentais e sensoriais da textura dos cereais matinais expandidos, separadamente, faz-se necessário estudar a correlação entre estes dois tipos de análise de textura e verificar qual a representatividade das técnicas instrumentais em relação às sensoriais, para este tipo de produto. Para alcançar este objetivo, foram realizadas análise de correlação de *Pearson* e análise multifatorial dos dados instrumentais e sensoriais para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, buscando-se obter resultados complementares e que corroborem entre si.

Avaliando-se os coeficientes de correlação dos atributos descritivos do perfil de textura dos cereais matinais expandidos secos (Tabela 12) com as variáveis instrumentais, infere-se que a dureza (força requerida para compressão de uma substância entre os dentes molares; Tabela 3) correlaciona-se positivamente com a força máxima média obtida pelos *probes blade set* (guilhotina e corte “V”) e *Ottawa* (ambas as bases). A crocância é correlacionada positivamente ao nível de pressão sonora resultante do *probe Ottawa* com a base *17 blades*, ou seja, a crocância é adequadamente mimetizada pelo “volume” de som gerado no rompimento do cereal por esse *probe*. A mastigabilidade também pode ser representada pela força máxima média, assim como a dureza, porém somente quando são aplicadas forças de corte e extrusão (*probes blade set* com guilhotina e *Ottawa* com ambas as bases). A adesividade foi negativamente correlacionada com o nível de pressão sonora resultante das forças de extrusão aplicadas pelo *probe Ottawa* (ambas bases), e se correlacionou negativamente também com o número de picos de força obtida por meio da aplicação de forças de cisalhamento pelo *probe Kramer*. Assim, quanto maior a adesividade sensorial da amostra, menor o “volume” do som emitido, e menor o número de picos de força gerados durante seu rompimento.

Dentre a aceitação sensorial, somente a aceitação da fraturabilidade e da dureza se correlacionaram com as propriedades de força instrumental (Tabela 12), sendo ambas negativamente correlacionadas com a força máxima média, isto é, amostras que necessitam de grandes forças para romper sua estrutura apresentam menor aceitação da fraturabilidade e da dureza. Essa correlação foi encontrada entre o *probe blade set* com guilhotina e a fraturabilidade, e entre os *probes blade set* com guilhotina e *Ottawa* com ambas as bases e a dureza.

Tabela 12. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos sensoriais, descritivos e de aceitação, e as propriedades instrumentais medidas pelos diferentes *probes* para os cereais matinais expandidos secos.

Variáveis		Atributos sensoriais										
		Descritivos					Aceitação					
		Fraturabilidade	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade	Fraturabilidade	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade	
Propriedades instrumentais	Cilíndrico	NPF	0,180	0,087	0,026	-0,224	-0,292	0,330	0,451	0,464	0,650	0,117
		FMM	-0,605	0,358	0,112	0,108	0,147	-0,055	0,015	0,204	0,237	0,263
		NPA	0,207	0,126	0,072	-0,200	-0,299	0,282	0,444	0,447	0,627	-0,005
		NPS	0,434	0,386	0,473	0,240	-0,763	0,002	0,150	0,308	0,225	0,253
	Blade set guilhotina	NPF	0,063	0,387	0,439	0,194	-0,524	-0,206	-0,049	-0,100	0,085	-0,090
		FMM	-0,788	0,819*	0,796	0,893*	-0,440	-0,865*	-0,900*	-0,710	-0,761	0,532
		NPA	0,357	0,293	0,456	0,287	-0,574	-0,254	-0,126	-0,144	-0,165	-0,156
		NPS	0,440	0,209	0,410	0,292	-0,569	-0,237	-0,158	-0,170	-0,252	-0,099
	Blade set corte “V”	NPF	-0,183	0,776	0,737	0,578	-0,582	-0,442	-0,230	0,007	-0,091	0,159
		FMM	-0,631	0,860*	0,783	0,809	-0,571	-0,618	-0,605	-0,281	-0,400	0,748
		NPA	0,216	0,358	0,383	0,236	-0,335	-0,156	0,047	0,169	0,035	-0,195
		NPS	0,025	0,488	0,522	0,367	-0,364	-0,381	-0,167	-0,111	-0,152	-0,289
	Ottawa 3mm	NPF	0,410	0,337	0,525	0,419	-0,692	-0,275	-0,200	-0,109	-0,272	0,105
		FMM	-0,726	0,833*	0,792	0,898*	-0,465	-0,790	-0,819*	-0,547	-0,685	0,636
		NPA	0,601	0,053	0,261	0,185	-0,505	-0,063	-0,023	0,007	-0,170	-0,021
		NPS	0,067	0,606	0,789	0,716	-0,844*	-0,595	-0,559	-0,448	-0,556	0,316
	Ottawa 17 blades	NPF	0,507	0,225	0,396	0,244	-0,600	-0,126	-0,016	0,030	-0,085	-0,042
		FMM	-0,692	0,824*	0,804	0,913*	-0,501	-0,802	-0,842*	-0,576	-0,720	0,652
		NPA	0,371	0,380	0,571	0,496	-0,732	-0,320	-0,270	-0,139	-0,345	0,219
		NPS	-0,010	0,708	0,840*	0,702	-0,897*	-0,567	-0,483	-0,352	-0,396	0,351

Continua

Variáveis		Atributos sensoriais										
		Descritivos					Aceitação					
		Fraturabilidade	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade	Fraturabilidade	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade	
<i>Kramer</i>	NPF	0,240	0,537	0,718	0,619	-0,862*	-0,435	-0,379	-0,230	-0,389	0,333	
	FMM	-0,686	0,782	0,617	0,589	-0,348	-0,454	-0,374	-0,086	-0,120	0,541	
	NPA	0,506	0,177	0,380	0,236	-0,607	-0,156	-0,077	-0,089	-0,156	-0,059	
	NPS	0,066	0,571	0,745	0,659	-0,736	-0,600	-0,527	-0,459	-0,544	0,118	
Atributos sensoriais	Descritivos	Fraturabilidade	1	-0,618	-0,469	-0,570	-0,116	0,740	0,709	0,646	0,561	-0,036
		Dureza		1	0,964**	0,923**	-0,653	-0,824*	-0,720	-0,461	-0,538	0,446
		Crocância			1	0,959**	-0,779	-0,840*	-0,764	-0,525	-0,626	0,480
		Mastigabilidade				1	-0,666	-0,907*	-0,884*	-0,647	-0,784	0,504
		Adesividade					1	0,373	0,348	0,103	0,246	-0,705
	Aceitação	Fraturabilidade						1	0,966**	0,870*	0,893*	-0,144
		Dureza							1	0,917*	0,958**	-0,240
		Crocância								1	0,926**	0,083
		Mastigabilidade									1	-0,124
		Adesividade										1

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.

Legenda: Propriedades de força: NPF - número de picos de força; FMM - força máxima média. Propriedades acústicas: NPA - número de picos acústicos; NPS - nível de pressão sonora.

O estudo da correlação entre análise sensorial e instrumental de *snacks* expandidos realizado por Paula e Conti-Silva (2014), ainda que não tenha avaliado cereais matinais, avaliou produtos obtidos pelo mesmo processo: a extrusão termoplástica. E corroborou os resultados obtidos para os cereais matinais expandidos secos no presente trabalho, apresentando correlações fortes e significativas entre a dureza sensorial descritiva e a força máxima mensurada por testes de corte (*blade set* com guilhotina e *blade set* com corte “V”), e também entre a mastigabilidade e a força máxima mensurada pelo *probe blade set* com guilhotina.

Correlacionar os atributos do perfil sensorial de textura com a aceitação sensorial destes atributos também é de grande importância, pois tais informações podem revelar qual o perfil sensorial de textura de cereais matinais expandidos mais aceito pelo público consumidor, de forma a nortear a equipe de desenvolvimento de novos produtos para as intensidades de atributos que gerarão um produto com boa aceitabilidade no mercado consumidor. Com isto, observaram-se correlações negativas entre a aceitação da fraturabilidade e a intensidade da dureza, da crocância e da mastigabilidade dos cereais secos, e ainda, correlação negativa entre a aceitação da dureza e a intensidade da mastigabilidade, evidenciando que amostras com elevada dureza, crocância e mastigabilidade são menos aceitas pelos consumidores (Tabela 12).

A adição de leite aos cereais matinais (Tabela 13) afetou as correlações dos atributos do perfil sensorial de textura com as variáveis instrumentais. Manteve-se somente a correlação positiva entre a mastigabilidade e a força máxima média mensurada pelo *probe blade set* com guilhotina, evidenciada para os cereais secos. E estabeleceu-se uma correlação negativa desta mesma variável e mesmo *probe* com a adesividade. Entretanto, os atributos da aceitação, que haviam apresentado poucas correlações significativas com as variáveis instrumentais para os cereais secos, evidenciaram correlações positivas com algumas variáveis. A aceitação da dureza e da crocância apresentou correlação positiva com o número de picos de força e acústicos e com o nível de pressão sonora mensurados pelo *probe blade set* com guilhotina. Também foram positivamente correlacionadas com o número de picos de força e nível de pressão sonora mensurados pelo *probe Kramer*. A aceitação da crocância apresentou, ainda, correlação positiva com o número de picos de força mensurado pelo *probe Ottawa* com base *17 blades*. Já a aceitação da mastigabilidade teve correlação positiva com o número de picos de força e do nível de pressão sonora medidos pelo *blade set* com guilhotina, e do nível de pressão sonora medido pelo *Kramer*.

Tabela 13. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos sensoriais descritivos e de aceitação, e as propriedades instrumentais medidas pelos diferentes *probes* para os cereais matinais expandidos após adição de leite.

Variáveis		Atributos sensoriais								
		Descritivos				Aceitação				
		Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade	
Propriedades instrumentais	Cilíndrico	NPF	0,581	0,567	0,381	-0,422	0,312	0,499	0,356	0,290
		FMM	0,457	0,454	0,780	-0,774	-0,204	-0,043	-0,009	0,643
		A(I)	-0,440	-0,408	-0,469	0,424	0,126	0,019	-0,135	-0,492
		NPA	0,759	0,740	0,558	-0,393	0,232	0,517	0,381	0,230
		NPS	0,652	0,647	0,293	-0,033	0,528	0,733	0,560	-0,055
	Blade set guilhotina	NPF	0,789	0,801	0,621	-0,700	0,921**	0,932**	0,982**	0,776
		FMM	0,717	0,707	0,890*	-0,862*	0,053	0,242	0,287	0,770
		A(I)	0,407	0,407	0,255	-0,570	0,742	0,619	0,741	0,746
		NPA	0,569	0,585	0,277	-0,329	0,838*	0,901*	0,746	0,262
		NPS	0,623	0,623	0,301	-0,405	0,867*	0,860*	0,882*	0,511
	Blade set corte "Y"	NPF	0,468	0,462	0,142	-0,317	0,711	0,710	0,682	0,385
		FMM	0,515	0,496	0,367	-0,547	0,369	0,424	0,468	0,598
		NPA	0,317	0,321	0,007	-0,163	0,608	0,650	0,475	0,096
		NPS	-0,001	-0,003	-0,281	0,012	0,410	0,371	0,235	-0,023
	Ottawa 3 mm	NPF	0,726	0,753	0,701	-0,584	0,680	0,790	0,712	0,481
		FMM	0,478	0,464	0,715	-0,762	-0,178	-0,023	0,031	0,673
		A(I)	-0,140	-0,123	0,184	0,008	-0,373	-0,353	-0,316	-0,077
		NPA	0,503	0,522	0,252	0,011	0,694	0,761	0,665	-0,015
		NPS	0,273	0,288	0,007	0,324	0,455	0,535	0,390	-0,357

Continua

Variáveis		Atributos sensoriais								
		Descritivos				Aceitação				
		Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade	
<i>Ottawa 17 blades</i>	NPF	0,652	0,683	0,617	-0,574	0,777	0,814*	0,781	0,538	
	FMM	0,428	0,413	0,683	-0,742	-0,215	-0,074	-0,009	0,663	
	A(I)	-0,117	-0,081	0,116	-0,097	0,018	0,000	-0,092	-0,034	
	NPA	0,766	0,779	0,731	-0,671	0,469	0,691	0,502	0,441	
	NPS	0,448	0,453	0,453	-0,396	0,081	0,328	0,063	0,088	
<i>Kramer</i>	NPF	0,553	0,585	0,411	-0,369	0,831*	0,855*	0,767	0,325	
	FMM	0,594	0,578	0,653	-0,787	0,151	0,269	0,324	0,764	
	NPA	0,375	0,378	-0,059	0,148	0,766	0,774	0,675	-0,070	
	NPS	0,627	0,631	0,255	-0,244	0,922*	0,939*	0,896*	0,328	
Atributos sensoriais	Descritivos	Dureza	1	0,999**	0,898*	-0,728	0,571	0,782	0,761	0,651
		Crocância		1	0,901*	-0,736	0,592	0,797	0,774	0,658
		Mastigabilidade			1	-0,866*	0,328	0,537	0,543	0,754
		Adesividade				1	-0,445	-0,536	-0,567	-0,943**
	Aceitação	Dureza				1	0,942**	0,949**		0,536
		Crocância					1	0,952**		0,539
		Mastigabilidade						1		0,659
		Adesividade							1	

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.

Legenda: Propriedades de força: NPF - número de picos de força; FMM - força máxima média; A(I) - adesividade instrumental. Propriedades acústicas: NPA - número de picos acústicos; NPS - nível de pressão sonora.

A análise de correlação entre os atributos do perfil sensorial de textura e os da aceitação (Tabela 13) mostrou que a intensidade de adesividade e a aceitação deste atributo foram negativamente correlacionadas, mostrando que a adesividade é uma característica que prejudica a aceitação do consumidor após o cereal ser adicionado de leite.

Empregou-se a análise multifatorial (Figura 11) para avaliar simultaneamente os resultados obtidos a partir das análises instrumentais (força e acústicas) e sensoriais (descritiva e aceitação), buscando-se resultados que complementem e corroborem os resultados fornecidos pelas matrizes de correlação. Na matriz de correlação, as variáveis são correlacionadas duas a duas, e na análise multifatorial estabelecem-se correlações entre todas as variáveis do conjunto de dados, possibilitando a visualização global da interação entre as variáveis.

O primeiro fator da análise multifatorial dos cereais matinais expandidos secos (Figura 11A) explicou 45,93% da variação dos dados, e o segundo fator explicou 28,99%, totalizando uma explicação de 74,93% da variação dos dados.

O primeiro fator foi descrito por dois grupos de variáveis. O primeiro grupo (cargas fatoriais $\geq 0,7$ no fator 1) foi formado pelo ‘número de picos de força’ medido pelos *probes blade set* com corte “V”, *Ottawa* com base 3 mm, *Ottawa* com base 17 blades e *Kramer*; pelo ‘número de picos acústicos’ medido pelos *probes blade set* com guilhotina, *blade set* com corte “V”, *Ottawa* com ambas as bases e *Kramer*; pelo ‘nível de pressão sonora’ medido pelos seis *probes* utilizados; e pela ‘intensidade de crocância’ (análise sensorial descritiva); todos correlacionados positivamente entre si. O segundo grupo (carga fatorial $\leq -0,70$ no fator 1) foi constituído somente pela ‘intensidade da adesividade’ (descritiva), correlacionada negativamente com as variáveis do primeiro grupo.

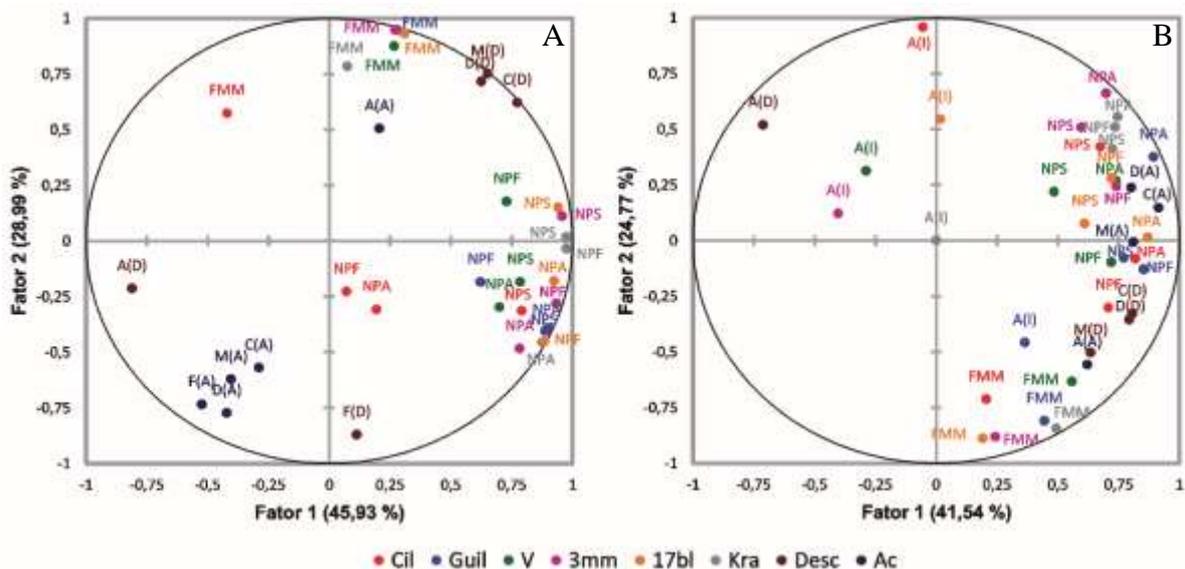
O segundo fator também foi descrito por dois grupos de variáveis. O primeiro grupo (cargas fatoriais $\geq 0,7$ no fator 2) foi composto pela ‘força máxima média’ medida pelos *probes blade set* com guilhotina, *blade set* com corte “V”, *Ottawa* com ambas as bases e *Kramer*; pela ‘intensidade da dureza’ e pela ‘intensidade da mastigabilidade’ (ambas descritivas). O segundo grupo (cargas fatoriais $\leq -0,70$ no fator 2) foi formado pela ‘intensidade da fraturabilidade’; pela ‘aceitação da fraturabilidade’; e pela ‘aceitação da dureza’. As variáveis um mesmo grupo foram positivamente correlacionadas entre si e, entre os grupos foram negativamente correlacionadas.

As correlações observadas permitem inferir que tanto características de força quanto de som (acústica) podem representar instrumentalmente a percepção da crocância. Quanto maior o número de picos de força e de acústica, e quanto maior o nível de pressão sonora (“volume” do som), maior a intensidade da crocância. A quantidade de picos de força e de picos

acústicos gerados por meio da aplicação de forças de corte, extrusão e cisalhamento é a mais adequada para mimetizar a crocância sensorial, enquanto o “volume” do som (nível de pressão sonora) emitido a partir do rompimento da estrutura dos cereais expandidos secos mimetiza a crocância sensorial qualquer que seja a forma de aplicação de força (dentre as formas avaliadas). Em contrapartida, quanto menor o número de picos de força e acústicos, e quanto menor a “intensidade” do som emitido no momento da ruptura dos cereais expandidos secos, maior é a intensidade da adesividade percebida sensorialmente.

Embora os resultados obtidos a partir da matriz de correlação de *Pearson* (Tabela 12) tenham revelado que somente o *probe Ottawa* com base *17 blades* é adequado para a mimetização da crocância a partir do nível de pressão sonora dos cereais expandidos secos, os resultados da análise multifatorial (Figura 11A) revelaram que, considerando-se as correlações entre as variáveis em estudo, em conjunto, observam-se correlações positivas e significativas entre a citada propriedade acústica e a crocância sensorial para todos os *probes* empregados, já que estas variáveis são mensuradas concomitantemente.

Figura 11. Representação gráfica da correlação entre as variáveis para os dois primeiros fatores da análise multifatorial das características instrumentais e sensoriais dos cereais matinais expandidos. A. Secos, B. Após adição de leite.



Legenda: Probes: Cil - cilíndrico; Guil - *blade set* com guilhotina; V - *blade set* com corte “V”; 3mm - *Ottawa* com base 3mm; 17bl - *Ottawa* com base 17 blades; Kra - *Kramer*. Propriedades de força: NPF - número de picos de força; FMM - força máxima média; A(I) - adesividade instrumental. Propriedades acústicas: NPA - número de picos acústicos; NPS - nível de pressão sonora. Atributos sensoriais: F - fraturabilidade; D - dureza, C - crocância; M - mastigabilidade; A - adesividade; (D) - análise descritiva; (A) - aceitação.

As correlações positivas, exibidas pela análise multifatorial dos cereais matinais

expandidos secos, entre dureza sensorial e força máxima média, e entre crocância e as propriedades acústicas (número de picos acústicos e nível de pressão sonora) estão de acordo com as correlações encontradas por Philipp et al. (2017) em seu estudo das propriedades instrumentais e sensoriais de *snacks* expandidos de arroz fortificados com proteína de ervilha.

Outrossim, pode-se afirmar que a intensidade da força de ruptura dos cereais secos, produzida por forças de corte, extrusão e cisalhamento, pode mimetizar a intensidade da dureza e a mastigabilidade avaliadas sensorialmente. Quanto maior a força instrumental, maior a dureza e maior o tempo de mastigação necessário para reduzir o cereal a bolo alimentar. E, por outro lado, quanto maior a força instrumental necessária para romper o cereal, menor é a intensidade da fraturabilidade, e menor também é a aceitação da fraturabilidade e da dureza do alimento.

Além das propriedades instrumentais, os atributos do perfil sensorial de textura também apresentaram correlações importantes com a aceitação das características de textura. A intensidade da fraturabilidade (descritiva) possui relação direta com a aceitação deste atributo, enquanto a intensidade da dureza se correlaciona negativamente com a sua aceitação, demonstrando a preferência do consumidor por cereais mais fraturáveis e menos duros.

O primeiro fator da análise multifatorial dos cereais matinais expandidos após adição de leite (Figura 11B) explicou 41,54% da variação dos dados, e o segundo fator explicou 24,77% da variação dos dados, totalizando uma explicação de 66,31%.

O primeiro fator foi descrito por dois grupos de variáveis. O primeiro grupo foi composto pelo ‘número de picos de força’; pelo ‘número de picos acústicos’, ambos medidos por todos os *probes* empregados; pelo ‘nível de pressão sonora’ medido pelos *probes Ottawa* com base *17 blades* e *Kramer*; intensidades de dureza e de crocância; e aceitação da dureza, crocância e mastigabilidade; todos positivamente correlacionadas entre si. O segundo grupo foi constituído pela ‘intensidade da adesividade’, negativamente correlacionada com o primeiro grupo.

O segundo fator foi descrito por dois grupos de variáveis. O primeiro, formado pela ‘força máxima média’ mensurada pelos seis *probes* utilizados; positivamente correlacionados entre si. E o segundo, representado pela ‘adesividade instrumental’ medida pelo *probe* cilíndrico, que se correlacionou negativamente com o primeiro grupo.

A intensidade da dureza e da crocância apresentaram correlações fortes com o número de picos de força e acústicos, e com o nível de pressão sonora, isto é, quanto mais duros e crocantes (sensorialmente) os cereais se mantiverem após a adição de leite, mais picos de força e sonoros eles vão emitir, e maior o “volume do som emitido” pelo rompimento da sua estrutura.

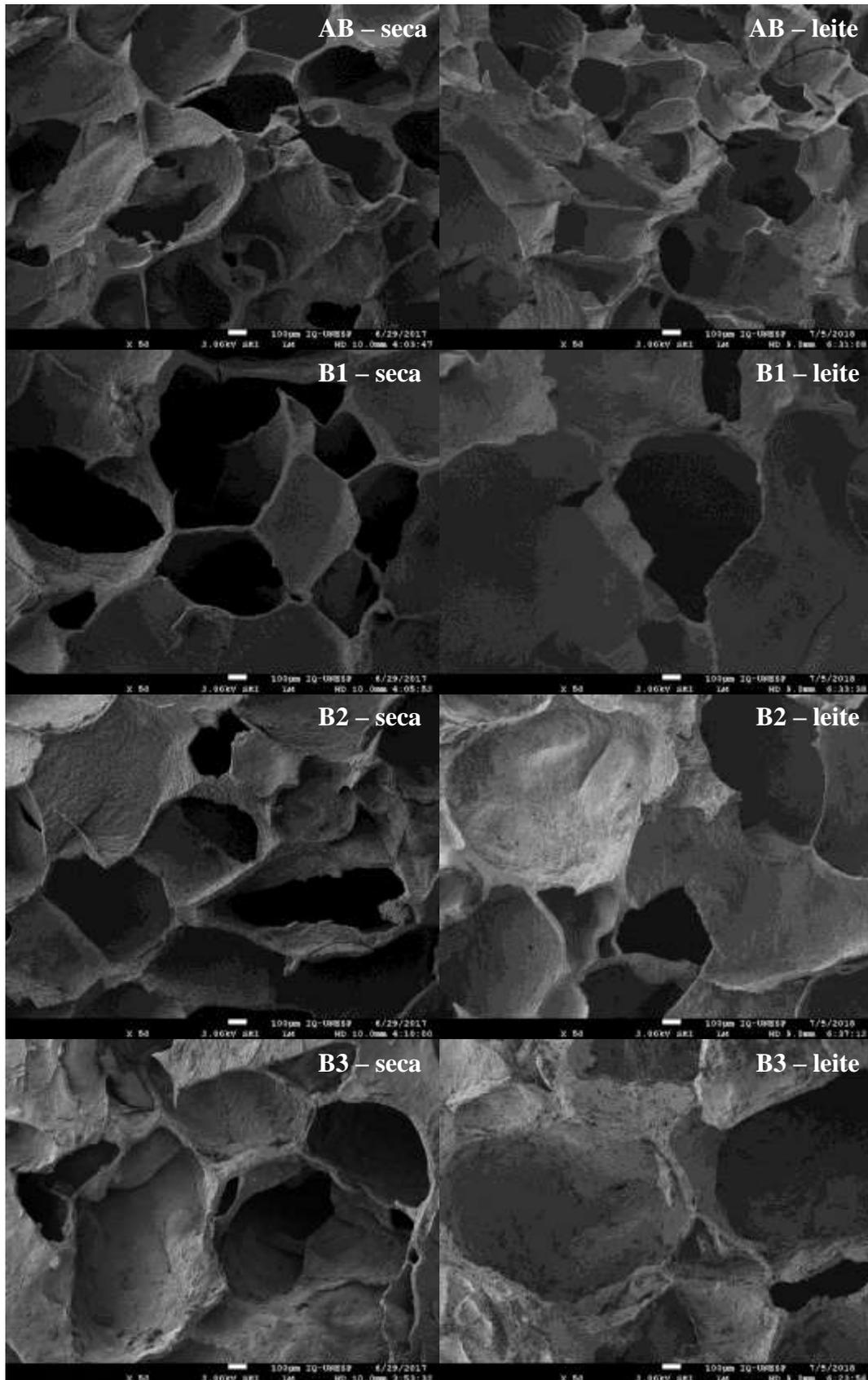
E, também, maior será a aceitação das características de dureza, crocância e mastigabilidade. Todas as formas de aplicação de força apresentaram boa representatividade instrumental do número de picos de força e sonoros com a dureza, crocância e mastigabilidade sensoriais. E os tipos de força mais adequados para correlacionar o “volume” de emissão do som com tais características sensoriais de textura foram as de extrusão (*Ottawa* com base *17 blades*) e de cisalhamento (*Kramer*). Reiterando este resultado, observam-se na literatura alguns estudos realizados com cereais matinais expandidos (CHANVRIER et al., 2014; OLIVEIRA; ALENCAR; STEEL, 2018; OLIVEIRA; SCHMIELE; STEEL, 2017) e com *snacks* expandidos (PHILIPP et al., 2017) que empregam o *probe Kramer* para a avaliação instrumental da textura de produtos obtidos por extrusão termoplástica. No entanto, outros *probes* podem ser utilizados.

A adição de leite alterou as correlações entre a aceitação das características sensoriais de textura e as propriedades instrumentais. Para os cereais matinais secos (Figura 11A), a aceitação da fraturabilidade e da dureza foi negativamente correlacionada com a força máxima média. Após a adição de leite (Figura 11B), a aceitação da dureza, crocância e mastigabilidade correlacionaram-se positivamente com o número de picos de força, o número de picos acústicos e o nível de pressão sonora. Houveram também alterações nas correlações entre os atributos do perfil sensorial de textura e a aceitação destes. A aceitação da dureza passou a correlacionar-se positivamente com a intensidade da dureza, e uma correlação não existente para os cereais secos foi evidenciada, a relação positiva entre a intensidade da crocância e sua aceitação, demonstrando que os consumidores preferem cereais que não percam a intensidade de sua dureza e de sua crocância após a adição de leite.

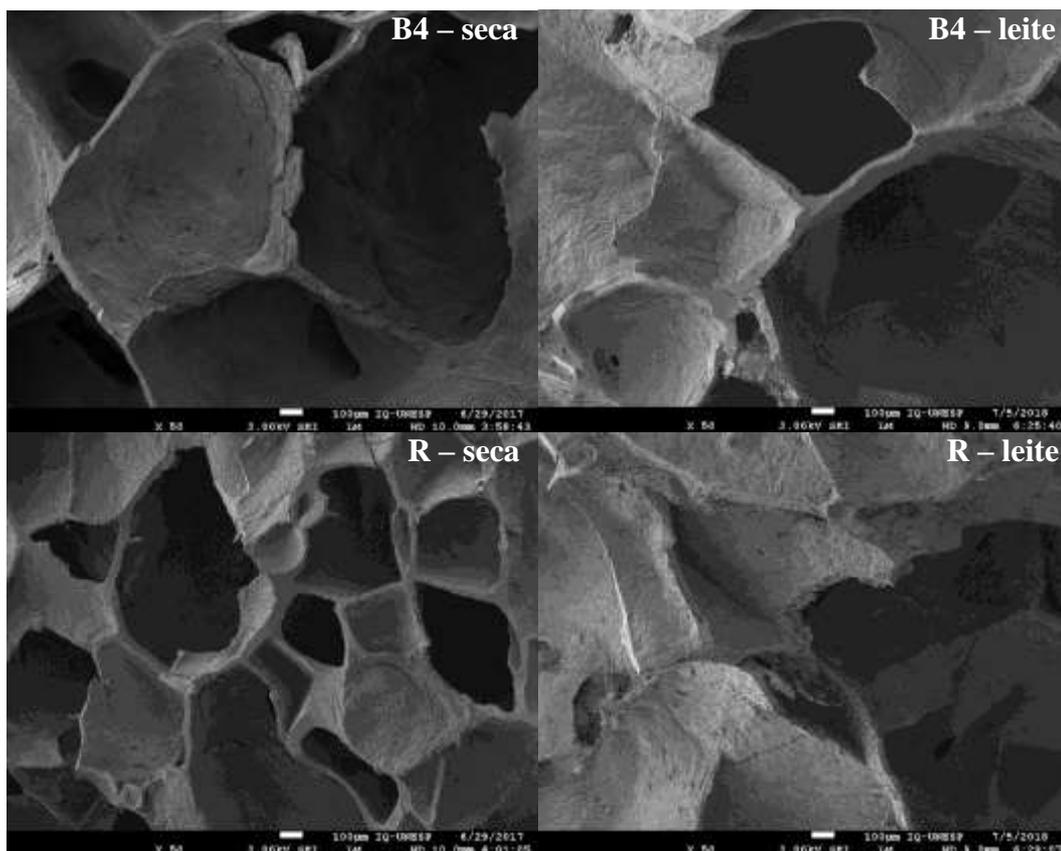
3.4. Análise microscópica

As microfotografias dos cereais matinais expandidos, obtidas a partir da análise de microscopia eletrônica de varredura, são apresentadas na Figura 12.

Figura 12. Microfotografias eletrônicas de varredura dos cereais matinais expandidos.



continua



Primeiramente, a avaliação visual da estrutura interna dos cereais matinais secos permite inferir que as amostras AB e B1 possuem alvéolos de ar maiores e de diâmetro uniforme, sendo que a estrutura de B1 é mais homogênea. De maneira distinta ao relatado para as amostras anteriormente citadas, os cereais B2 e B4 apresentam uma variação no diâmetro dos alvéolos. E no extremo oposto, as amostras B3 e R apresentam grande heterogeneidade em sua estrutura, seus alvéolos possuem diferentes tamanhos e formatos.

Analisando comparativamente a estrutura interna dos cereais matinais expandidos secos e após adição de leite, verifica-se que o leite não alterou bruscamente a estrutura das amostras AB, B1 e B2, as quais sofreram sutis alterações nas paredes dos alvéolos, evidenciadas por uma ligeira rugosidade nas amostras após a adição de leite.

Embora a imagem da amostra B2 após adição de leite não esteja no mesmo ângulo da imagem da amostra seca é possível perceber somente um enrugamento das paredes dos alvéolos, sem ocorrência de um murchamento acentuado. Esta aparente rugosidade pode indicar um pequeno murchamento dos alvéolos pela penetração do leite na estrutura, sem, no entanto, alterar seu diâmetro. Já nas imagens microscópicas das amostras B3 e B4 existe uma compactação dos tecidos e consequente redução do diâmetro dos alvéolos presentes, além da superfície mais rugosa, como evidenciado nas amostras AB, B1 e B2. E, por fim, a estrutura da

amostra R sofreu a maior alteração. Ainda, é possível observar para os cereais matinais B2, B3, B4 e R, adicionados de leite, um afinamento da parede dos alvéolos, efeito também provavelmente da penetração do leite na estrutura do produto.

Os resultados obtidos nas análises sensoriais dos cereais matinais expandidos (seção 3.2.1.) corroboram as microfotografias. Analisando-se as amostras que representam os dois extremos de textura dentre as amostras de cereal expandido, AB e R, verifica-se que, após a adição de leite, a primeira continuou apresentando elevadas intensidades de dureza, crocância e mastigabilidade, e baixa intensidade de adesividade, o que explica a baixa alteração em sua estrutura após contato com o leite. Além disso, a aceitação da sua textura (seção 3.2.2.) aumentou após a adição de leite, e os consumidores relataram a manutenção da textura, especialmente da crocância. A outra amostra, R, após a adição de leite, foi caracterizada por baixas dureza, crocância e mastigabilidade, e elevada adesividade, tais atributos elucidam a alteração dos alvéolos observada nas microfotografias. A redução da aceitação sensorial da sua textura, após a adição de leite, representa mais uma forma de constatação da completa alteração de sua estrutura microscópica.

A partir dos resultados da microscopia eletrônica de varredura, infere-se que apenas as amostras B3, B4 e R sofreram alteração significativa de sua estrutura interna após contato com leite em temperatura de refrigeração durante três minutos.

3.5. Ganho de massa por absorção de leite

Houve um aumento de cerca de 50%, em média, na massa dos cereais expandidos causada pela absorção do leite (Tabela 14). O cereal B3 apresentou um dos maiores aumentos, acompanhado por maior perda de leite, e AB e B2 foram uns dos cereais que menos absorveram leite, também acompanhado por menor perda de massa do leite. As perdas do processo foram estatisticamente iguais. É importante salientar que existe transferência de massa em ambos os sentidos, do cereal para o leite e do leite para o cereal, o que pôde ser percebido visualmente para os cereais AB, B1, B2 e B4, os quais são formulados com cacau, e ao final do procedimento 2.2.1 deixaram o leite escurecido. Entretanto, no balanço de massas, maior taxa de transferência de massa ocorre do leite para o cereal, por isso verifica-se um aumento de massa no cereal e uma redução da massa do leite.

Os resultados encontrados auxiliam na compreensão dos resultados instrumentais e sensoriais discutidos anteriormente. Após adição de leite, B3 apresentou um dos números de picos e uma das forças máximas médias mais baixos (Tabelas 5 e 6, respectivamente), bem

como uma das maiores adesividades instrumentais (Tabela 7), e foi o único cereal expandido a perder sua capacidade de emissão de som (Tabelas 8 e 9). Sensorialmente, B3 também foi um dos menos duros e crocantes, além de mais adesivo (Tabela 10), e um dos menos aceitos para dureza e adesividade (Tabela 11). Comprova-se também o inverso para os cereais AB e B2, que apresentaram umas das maiores intensidades das propriedades instrumentais de força e acústica, e também dos atributos sensoriais (exceto adesividade, instrumental e sensorial) e umas das melhores aceitaçãoes.

Tabela 14. Ganho de massa dos cereais matinais expandidos, perda de massa do leite e perdas do processo (médias em porcentagem \pm desvio-padrão, n = 3).

Cereal expandido	Ganho de massa do cereal	Perda de massa do leite	Perda do processo
AB	44,04 \pm 11,66 ^b	10,71 \pm 2,14 ^{ab}	3,06 \pm 0,21 ^a
B1	58,68 \pm 0,32 ^{ab}	9,59 \pm 0,69 ^{abc}	2,58 \pm 0,64 ^a
B2	44,17 \pm 0,99 ^b	7,16 \pm 0,39 ^c	2,30 \pm 0,11 ^a
B3	64,41 \pm 10,13 ^a	11,25 \pm 1,43 ^a	3,30 \pm 0,60 ^a
B4	52,54 \pm 5,48 ^{ab}	9,24 \pm 0,40 ^{abc}	2,90 \pm 0,63 ^a
R	49,94 \pm 5,17 ^{ab}	8,28 \pm 0,46 ^{bc}	2,50 \pm 0,45 ^a
Valor de p	0,009	0,002	0,185

Letras diferentes na mesma coluna indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4. CONCLUSÃO

Todas as técnicas de análise (instrumentais de força e acústica, perfil sensorial e aceitação sensorial) discriminaram a textura dos cereais matinais. O cereal em formato de bolinha B4 apresentou os maiores valores de número de picos de força, força máxima média, número de picos acústicos e nível de pressão sonora. O cereal em formato de aglomerado de bolinhas (AB) evidenciou maiores força máxima média e nível de pressão sonora, juntamente com B4, demonstrando-se um produto duro, porém não fraturável, enquanto o cereal em formato de bolinha B1 destacou-se como mais adesivo. A adição de leite causou, majoritariamente, a redução das propriedades de força e acústica dos cereais, levando à perda da fraturabilidade, mas aumentando a aceitação da textura para o cereal AB e reduzindo para o cereal em formato de rosquinha (R). Ainda, a elevada intensidade de dureza prejudica a aceitação da dureza nos cereais matinais expandidos secos, mas melhora sua aceitação nos cereais após a adição de leite. Além disso, o efeito do leite também foi visualizado nas microfotografias, sendo que os cereais em formato de bolinha B3 e B4 e o cereal R sofreram alterações significativas em sua estrutura.

A fim de empregar análises instrumentais em substituição às análises sensoriais descritivas, os *probes blade set* (guilhotina e corte “V”) e *Ottawa* (com ambas as bases) mostraram-se eficazes em correlacionar-se positivamente com a dureza e a mastigabilidade sensorial dos cereais matinais expandidos secos por meio dos resultados de força. O *probe Ottawa* com base *17 blades* também se mostrou eficiente na correlação positiva dos resultados de acústica com a crocância sensorial dos cereais matinais secos, enquanto que os *probes Ottawa* e *Kramer* se correlacionaram negativamente com a adesividade destes cereais por meio dos resultados de acústica e de força, respectivamente. A adição de leite aos cereais matinais levou à perda nas correlações instrumental e sensorial, pois apenas o *probe blade set* com guilhotina se correlacionou positivamente e negativamente à mastigabilidade e adesividade, respectivamente. Nenhuma correlação foi obtida para o *probe* cilíndrico e para a intensidade da fraturabilidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAM, S. A.; PENTIKÄINEN, S.; NÄRVÄINEN, J.; HOLOPAINEN-MANTILA, U.; POUTANEN, K.; SOZER, N. Effects of structural and textural properties of brittle cereal foams on mechanisms of oral breakdown and in vitro starch digestibility. *v. 96*, p. 1–11, 2017.
- AOAC. **Official and Tentative Methods of the AOAC International**, eighteenth ed. AOAC, MD. 2005.
- BRANDT, M. A.; SKINNER, E. Z.; COLEMAN, J. A. Texture profile method. **Journal of Food Science**, *v. 28*, n. 4, p. 404–409, 1963.
- CALDWELL, E. F.; MCKEEHEN, J. D.; KADAN, R. S. Cereals | Breakfast cereals. In: WRIGLEY, C.; CORKE, H.; SEETHARAMAN, K.; FAUBION, J. M. (Eds.). **Encyclopedia of Food Grains**. Amsterdam: Academic Press, 2. ed. 2016. p. 262–267.
- CASTRO-PRADA, E. M.; LUYTEN, H.; LICHTENDONK, W.; HAMER, R. J.; VAN VLIET, T. An improved instrumental characterization of mechanical and acoustic properties of crispy cellular solid food. **Journal of Texture Studies**, *v. 38*, n. 6, p. 698–724, 2007.
- CHANVRIER, H.; JAKUBCZYK, E.; GONDEK, E.; GUMY, J. C. Insights into the texture of extruded cereals: Structure and acoustic properties. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, *v. 24*, p. 61–68, 2014.
- CHEN, J. Food oral processing: Mechanisms and implications of food oral destruction. **Trends in Food Science and Technology**, *v. 45*, n. 2, p. 222–228, 2015.
- CHEN, J.; KARLSSON, C.; POVEY, M. Acoustic envelope detector for crispness assessment of biscuits. **Journal of Texture Studies**, *v. 36*, p. 139–156, 2005.
- CHEN, L.; OPARA, U. L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods - A review. **Food Research International**, *v. 51*, n. 2, p. 823–835, 2013.
- CIVILLE, G. V.; SZCZESNIAK, A. S. Guidelines to training a texture profile panel. **Journal of Texture Studies**, *v. 4*, p. 204–223, 1973.
- DELCOUR, J. A.; HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. Eagan: AACC International, 2010. 238 p.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Campagnat, 2011. 426 p.
- FRIEDMAN, H. H.; WHITNEY, J. E.; SZCZESNIAK, A. S. The Texturometer—A New Instrument for Objective Texture Measurement. **Journal of Food Science**, *v. 28*, n. 4, p. 390–396, 1963.
- GREGSON, C. M.; LEE, T.-C. Evaluation of numerical algorithms for the instrumental measurement of bowl-life and changes in texture over time for ready-to-eat breakfast cereals.

Journal of Texture Studies, v. 33, p. 505–528, 2003.

LILLFORD, P. J. Texture and breakdown in the mouth: An industrial research approach. **Journal of Texture Studies**, v. 49, n. 2, p. 213–218, 2018.

MACFIE, H. J.; BRATCHELL, N.; GREENHOFF, K.; VALLIS, L. V. Designs to balance the effect of order presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v. 4, n. 2, p. 129–148, 1989.

MACFIE, H. J. H.; MEISELMAN, H. L. **Food Choice, Acceptance and Consumption**. New York: Springer Science & Business Media, 2012. 258 p.

MASKAN, M.; ALTAN, A. **Advances in food extrusion technology**. Boca Raton: CRC Press, 2011. 412 p.

MEILGAARD, M. C.; CARR, T. B.; CIVILLE, G. V. **Sensory evaluation techniques**. Boca Raton: CRC Press, 2006. 464 p.

MINIM, V. P. R.; SILVA, R. C. S. N. **Análise Sensorial Descritiva**. Viçosa: UFG, 2016. 280 p.

MOSCICKI, L. Extrusion Cooking : Principles and Practice. In: **Encyclopedia of Food and Health**. Amsterdam: Elsevier, 2 ed. 2016. p. 576-580.

MOSKOWITZ, H. R. **Product Testing and Sensory Evaluation of Foods Food and Nutrition Press**. Westport: Food and Nutrition Press, 1983. 605 p.

OLIVEIRA, L. C.; ALENCAR, N. M. M.; STEEL, C. J. Improvement of sensorial and technological characteristics of extruded breakfast cereals enriched with whole grain wheat flour and jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. **LWT - Food Science and Technology**, v. 90, n. June 2017, p. 207–214, 2018.

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, p. 261-270, 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.

PHILIPP, C.; BUCKOW, R.; SILCOCK, P.; OEY, I. Instrumental and sensory properties of pea protein-fortified extruded rice snacks. **Food Research International**, v. 102, p. 658–665, 2017.

PRIMO-MARTIN, C.; CASTRO-PRADA, E. M.; MEINDERS, M. B. J.; VEREIJKEN, P. F. G.; VAN VLIET, T. Effect of structure in the sensory characterization of the crispness of toasted rusk roll. **Food Research International**, v. 41, n. 5, p. 480–486, 2008.

STONE, H.; BLEIBAUM, R. N.; THOMAS, H. A. Descriptive analysis. In: STONE, H.; BLEIBAUM, R. N.; THOMAS, H. A. (Eds.). **Sensory Evaluation Practices**. 4. ed. 2012. p.

233–289.

SZCZESNIAK, A. S. Objective Measurements of Food Texture. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 410–420, 1963. a.

SZCZESNIAK, A. S. Classification of textural characteristics. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 385–389, 1963. b.

SZCZESNIAK, A. S. Correlating sensory with instrumental texture measurements —an overview of recent developments. **Journal of Texture Studies**, v. 18, p. 1–15, 1987.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, p. 215–225, 2002.

WILKINSON, C.; DIJKSTERHUIS, G. B.; MINEKUS, M. From food structure to texture. **Trends in Food Science and Technology**, v. 11, n. 12, p. 442–450, 2001.

CAPÍTULO 3

CORRELAÇÃO ENTRE ANÁLISE SENSORIAL E INSTRUMENTAL DE TEXTURA DE CEREAIS MATINAIS EM FORMATO DE FLOCO

1. INTRODUÇÃO

Os cereais matinais em formato de floco podem ser obtidos por dois diferentes processamentos. O primeiro, e mais tradicional, é a laminação, processo que se inicia a partir do grão íntegro do cereal, e comumente usa-se o milho. Os grãos passam por uma moagem seca em que germe e farelo são removidos, em seguida, passam por uma cocção em uma solução de açúcar, malte e sal, sob pressão, até que atinjam 50% de umidade. São, então, secos até 20% de umidade, e passam por um período de têmpera para equilíbrio de sua umidade com o exterior (FAST, 2001). A laminação se dá após esta etapa, em que os grãos são submetidos à prensagem entre dois rolos, e cada grão que iniciou o processo dá origem a um floco (FAST; CALDWELL, 2000; KADAN; CALDWELL, 2003). Após o resfriamento, os flocos são tostados até 3% de umidade, processo que confere crocância, além de coloração e sabor devido à reação de *Maillard* (FARRONI; BUERA, 2012). O segundo processo, é a extrusão termoplástica, o qual é realizado como descrito no item 3 do Capítulo 1, entretanto, utiliza-se uma trafiladora (MOSCICKI, 2016) ao final do processo que confere ao produto o formato de floco. Embora sejam produzidos por diferentes processos industriais, suas características estruturais e de textura são semelhantes, de tal forma, que neste capítulo, são avaliados cereais matinais em formato de floco, independentemente do processo pelo qual eles foram obtidos.

A textura dos cereais matinais em formato de floco necessita de menor força para seu rompimento em relação a dos cereais matinais expandidos, embora os dois tipos de cereais sejam crocantes. Porém, a adição de leite pode causar grande perda de sua textura devido à sua baixa espessura (CHAUNIER et al., 2005; CHAUNIER; DELLA VALLE; LOURDIN, 2007). Como todo cereal matinal, a textura é um atributo crítico também para os flocos, e busca-se a elaboração de produtos mais resistentes à interação com o leite. Muitos cereais matinais em formato de floco disponíveis para o mercado consumidor possuem uma cobertura de açúcar que auxilia na manutenção de sua atividade de água, por retardar o processo de absorção da umidade do ambiente, e que pode, também, reduzir a taxa de amolecimento durante o contato com leite, conservando o cereal crocante até o final do consumo da porção.

Em relação ao estudo de cereais matinais, a maioria avalia os cereais expandidos, e poucos realizam estudos com flocos. Entretanto, Chaunier et al. (2005) e Courcoux et al. (2005) estudaram a correlação entre a textura sensorial e instrumental (de força e acústica) de cereais matinais em formato de floco. O primeiro estudo avaliou os cereais secos e após adição de leite,

e as correlações com o perfil sensorial de textura. O segundo avaliou somente os cereais secos e os correlacionou com dados de consumidores. Verifica-se, portanto que, embora haja muitas semelhanças com os estudos citados, o presente trabalho visa compreender todas as análises que foram realizadas em um e outro estudo, além de avaliar produtos diferentes dos já avaliados, utilizando equipamentos diferentes tanto para a análise de força quanto acústica, além de avaliar os cereais a partir de atributos distintos dos gerados nos trabalhos anteriores.

Assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar a textura de cereais matinais em formato de floco, comerciais, secos e adicionados de leite, por meio de análise de força e acústica em texturômetro utilizando diferentes testes/*probes*, perfil sensorial e aceitação sensorial. Feito isso, teve-se como principal objetivo correlacionar as análises instrumentais e sensoriais no sentido de determinar as condições de testes instrumentais mais adequadas para inferir sobre a textura sensorial dos cereais matinais em formato de floco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

2.1.1. Cereais matinais

Utilizaram-se cereais matinais em formato de floco (Figura 1) produzidos por extrusão termoplástica ou laminação, com ou sem açúcar e cobertura. Para caracterização dos cereais, seus ingredientes, segundo os rótulos, são evidenciados pela Tabela 1. Seus teores de umidade constam na Tabela 2, sendo a medição da umidade realizada de acordo com a metodologia da AOAC (2005). Para a realização das análises sensoriais e microscópicas, foram utilizados produtos pertencentes ao mesmo lote de fabricação. No entanto, para a realização das análises instrumentais, foram utilizados produtos de um segundo lote de fabricação, devido à diferença de tempo entre a realização das primeiras análises e das segundas, respeitando-se a data de validade especificada na embalagem. As embalagens eram abertas no momento da realização das análises, e seladas retirando-se o ar de seu interior logo após o uso, até que se utilizasse todo o conteúdo (400 g).

Figura 1. Amostras de cereais matinais em formato de floco.

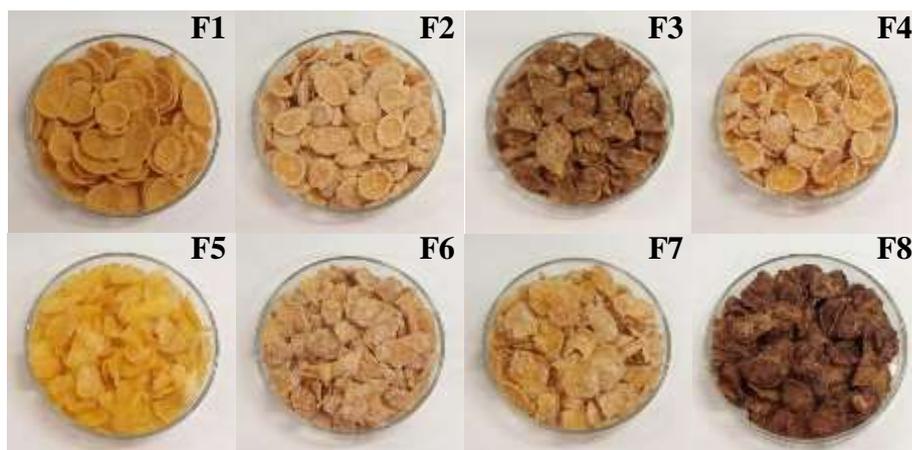


Tabela 1. Ingredientes constituintes dos cereais matinais em formato de floco.

Floco	Ingredientes
F1	Farinha de milho enriquecida com ferro e ácido fólico (57%), farinha de milho integral (27%), açúcar, minerais [cálcio (carbonato de cálcio), ferro (ferro eletrolítico) e zinco (óxido de zinco)], sal, xarope de açúcar, extrato de malte, vitaminas [niacina (nicotinamida), ácido pantotênico (pantotenato de cálcio), B6 (cloridrato de piridoxina), B2 (riboflavina) e ácido fólico (ácido N-pteróil-L-glutâmico)], antiemético fosfato tricálcico, estabilizante fosfato trissódico e antioxidante tocoferol.
F2	Farinha de milho integral (33%), farinha de milho enriquecida com ferro e ácido fólico (32%), açúcar, minerais [cálcio (carbonato de cálcio), ferro (ferro eletrolítico) e zinco (óxido de zinco)], sal, leite condensado, xarope de açúcar, xarope de glicose, extrato de malte, oleína de palma, vitaminas [niacina (nicotinamida), ácido pantotênico (pantotenato de cálcio), B6 (cloridrato de piridoxina), B2 (riboflavina) e ácido fólico (ácido N-pteróil-L-glutâmico)], aromatizantes, antiemético fosfato tricálcico e estabilizante fosfato trissódico.
F3	Trigo integral (38%), arroz (15%), milho (14%), açúcar, farelo de trigo, minerais [cálcio (carbonato de cálcio), ferro (ferro eletrolítico) e zinco (óxido de zinco)] e vitaminas [ácido pantotênico (pantotenato de cálcio), niacina (nicotinamida), B2 (riboflavina), B6 (cloridrato de piridoxina), e ácido fólico (ácido N-pteróil-L-glutâmico)], extrato de malte, sal, xarope de glicose, antiemético fosfato tricálcico, estabilizante fosfato trissódico e antioxidante tocoferol.
F4	Farinha de milho integral (33%), farinha de milho enriquecida com ferro e ácido fólico (32%), açúcar, minerais [cálcio (carbonato de cálcio), ferro (ferro eletrolítico) e zinco (óxido de zinco)], sal, xarope de glucose, xarope de açúcar, oleína de palma, extrato de malte, vitaminas [niacina (nicotinamida), ácido pantotênico (pantotenato de cálcio), B6 (cloridrato de piridoxina), B2 (riboflavina) e ácido fólico (ácido N-pteróil-L-glutâmico)], antiemético fosfato tricálcico, estabilizante fosfato trissódico, antioxidante mistura concentrada de tocoferóis e aromatizante.
F5	Milho, sal, composto vitamínico [ácido ascórbico (vitamina C), niacinamida (niacina), mononitrato de tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2), piridoxina (vitamina B6), pantotenato de cálcio (ácido pantotênico) e ácido fólico], complexo mineral [pirofosfato férrico (ferro), sulfato de zinco (zinco)], antioxidantes lecitina de soja e TBHQ.
F6	Milho, açúcar, sal, malte, ferro reduzido (ferro) e óxido de zinco (zinco).
F7	Milho, açúcar, malte, sal, ácido ascórbico e ascorbato de sódio (vitamina C), niacina, ferro reduzido (ferro), óxido de zinco (zinco), palmitato de retinol (vitamina A), maltodextrina, cianocobalamina (vitamina B12), colecalciferol (vitamina D), cloridrato de piridoxina (vitamina B6), mononitrato de tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2) e folacina (ácido fólico).

Continua

F8

Milho, açúcar, malte, cacau, sal, ácido ascórbico e ascorbato de sódio (vitamina C), niacina, ferro reduzido por hidrogênio (ferro), óxido de zinco (zinco), palmitato de retinol (vitamina A), maltodextrina, cianocobalamina (vitamina B12), colecalciferol (vitamina D), cloridrato de piridoxina (vitamina B6), mononitrato de tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2), folacina (ácido fólico), corante caramelo IV e corantes artificiais vermelho allura AC e azul brilhante FCF e aromatizante.

Tabela 2. Umidade presente nos cereais matinais em formato de floco.

Cereal expandido	Umidade (g/100 g)
F1	4,87 ± 0,08
F2	5,31 ± 0,07
F3	6,41 ± 0,08
F4	3,20 ± 0,06
F5	9,19 ± 0,04
F6	5,11 ± 0,01
F7	5,08 ± 0,33
F8	5,61 ± 0,05

2.1.2. Leite

O leite UHT integral, com teor lipídico de 3 g/100 mL, envasado em embalagens plásticas do tipo garrafa, da marca Shefa®, foi adquirido em comércio local. Foram adquiridos os produtos com data de fabricação mais próxima à data da compra.

2.2. Metodologia

2.2.1. Adição de leite

Em todas as análises em que o leite foi empregado, adotou-se como procedimento padrão utilizá-lo a 6 °C, aplicá-lo ao cereal até que cobrisse todas as unidades que seriam utilizadas, deixar o cereal no leite sem agitação por 3 min (GREGSON; LEE, 2003), e drená-lo em peneira de aço inox, imediatamente antes da apresentação ao avaliador (análise descritiva), ao consumidor (análise de aceitação), ou da execução da análise instrumental.

2.2.2. Análise instrumental de força e de propriedades acústicas

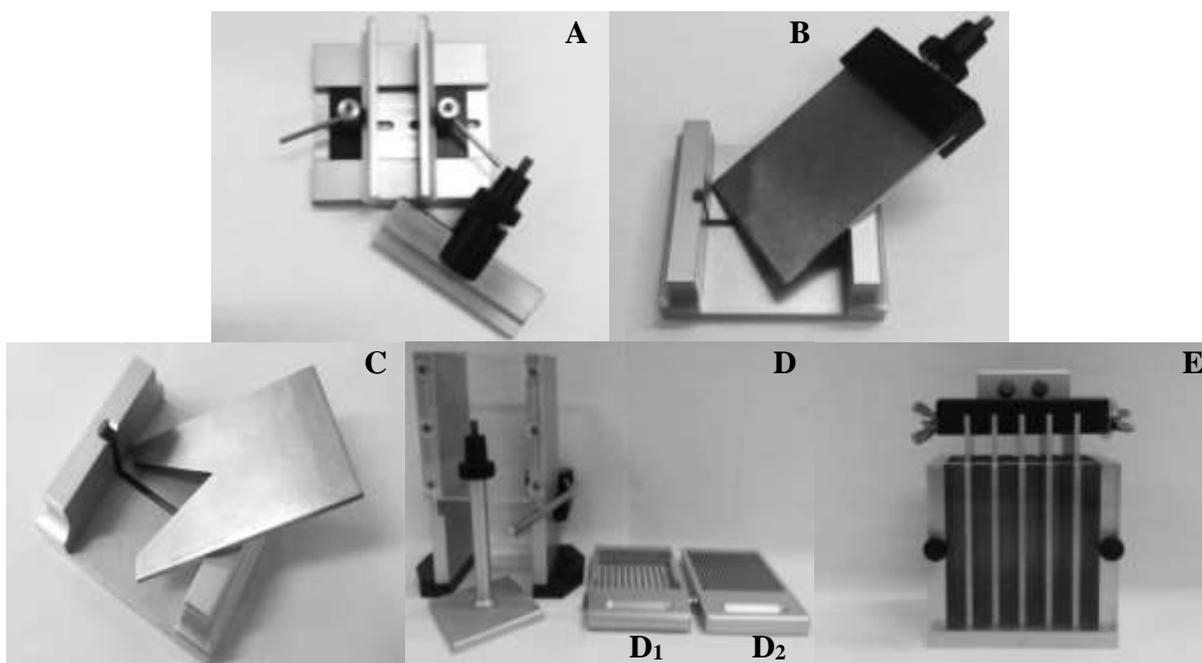
Os cereais matinais foram avaliados em texturômetro TA.XT *plus* 50 (Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido) e software *Exponent 32*.

Foram aplicados os seguintes testes e *probes* (Figura 2):

- 1) teste de corte com *probe Three point bending* (HDP/3PB) - Figura 2A;
- 2) teste de corte com *probe Blade set* com guilhotina (HDP/BS) - Figura 2B;

- 3) teste de corte com *probe Blade set* com corte em “V” (HDP/WBV) - Figura 2C;
- 4) teste de extrusão com *probe Ottawa* (A/OTC) com base 3 mm (A/BAR) - Figura 2D₁;
- 5) teste de extrusão com *probe Ottawa* (A/OTC) com base 17 *blades* (A/TBL) Figura 2D₂;
- 6) teste de cisalhamento com *probe Kramer* com cinco lâminas (HDP/KS5) - Figura 2E.

Figura 2. *Probes* utilizados para a análise instrumental da textura dos cereais matinais. A. *Three point bending*, B. *Blade set* com guilhotina, C. *Blade set* com corte “V”, D. *Ottawa*, D₁. Base 3 mm, D₂. Base 17 *blades*, E. *Kramer*.



A análise de força e de propriedades acústicas dos cereais matinais em formato de floco foi realizada de acordo com as metodologias descritas no item 2.2.2. do Capítulo 2.

Para as análises nos *probes Ottawa* e *Kramer*, os produtos foram dispostos no centro de cada base, ocupando todo o sentido da profundidade, como ilustrado pela Figura 3. Utilizaram-se quatro unidades de F3 e cinco unidades dos demais cereais em formato de floco. Para o *Kramer*, utilizaram-se três unidades de F3 e quatro unidades dos demais. A posição do microfone para cada *probe* é ilustrada pela Figura 4.

Figura 3. Disposição das amostras nos *probes* *Ottawa* e *Kramer*. A. *Ottawa* base 3 mm, B. *Ottawa* base 17 blades, C. *Kramer*.

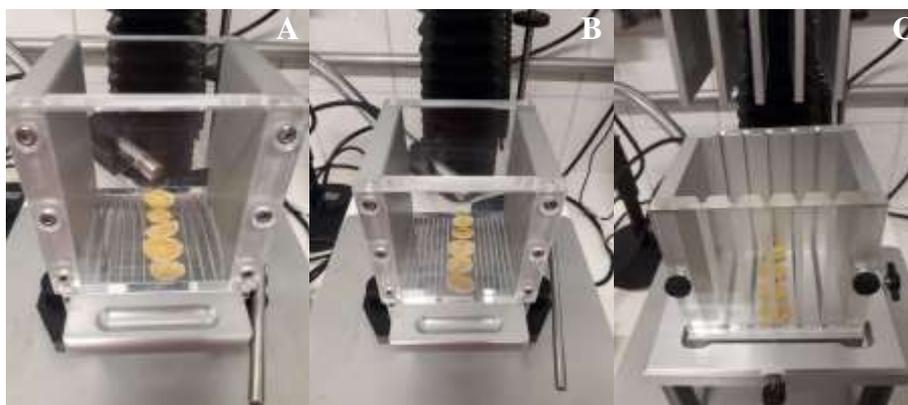
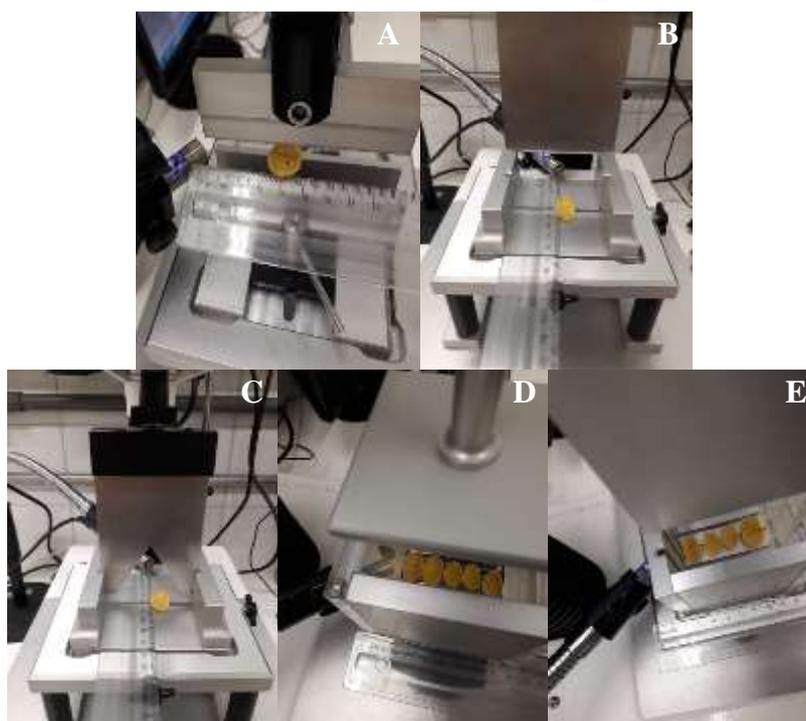


Figura 4. Posição do microfone para cada *probe*. A. *Three point bending*, B. *Blade set* com guilhotina, C. *Blade set* com corte “V”, D. *Ottawa*, E. *Kramer*.



Os testes de força e acústica foram realizados simultaneamente, em laboratório convencional, sem isolamento acústico, com umidade relativa de $25 \pm 1\%$ e temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Foram realizadas 10 replicatas para cada amostra em cada *probe* utilizado. Os gráficos de força foram plotados como força (N) *versus* tempo (s) e os dados obtidos nas curvas geraram as informações sobre as características de força descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Características de força e propriedades acústicas dos cereais matinais expandidos obtidas a partir da análise instrumental de textura.

Características de força	Definição
Número de picos de força	Número de picos positivos de força, considerando um limiar de 0,05 N
Força máxima média	Média dos três picos de força máximos (N)
*Adesividade instrumental	Área negativa, abaixo da linha de força zero (N.s)
Propriedades acústicas	Definição
Número de picos acústicos	Número de picos acústicos positivos, considerando um limiar de 2,5 dB
Nível de pressão sonora	Média dos dez picos acústicos máximos (dB)

* Detectada somente nos cereais após adição de leite.

Os gráficos acústicos foram plotados como energia sonora (V) *versus* tempo (s). Os resultados foram expressos em nível de pressão sonora (dB), utilizando-se o limiar de 2,5 dB, para eliminação de picos acústicos de baixa amplitude, provenientes de ruídos do ambiente. Para os testes de compressão e corte: *probes* Cilíndrico, *Blade Set* com guilhotina e *Blade Set com corte “V”*, delimitou-se a medição das características de força e das propriedades acústicas entre o início do teste ($t = 0$ s) e o rompimento da amostra, isto é, o decaimento da força ($F = 0$ N). Para os *probes Ottawa* e *Kramer* que exercem, além de forças de compressão/corte, uma força de extrusão (*Ottawa*) ou cisalhamento (*Kramer*), a medição foi considerada desde o início ($t = 0$ s) até o fim do teste, considerando-se a distância de deslocamento do *probe* igual à espessura da amostra (*three point bending*, *blade set* com guilhotina, *blade set* com corte “V” e *Kramer*) ou igual à 50% da espessura da amostra (*Ottawa*). As propriedades acústicas extraídas das curvas são apresentadas pela Tabela 3.

2.2.3. Análises sensoriais de textura dos cereais matinais

O projeto do presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (IBILCE) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto (Parecer consubstanciado nº 1.295.746/2 – Anexo A). Os testes sensoriais foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial do referido instituto.

2.2.3.1. Análise sensorial descritiva da textura dos cereais matinais

O perfil sensorial de textura dos cereais matinais foi avaliado de acordo com Meilgaard, Carr e Civille (2006), Minim e Silva (2016), Stone, Bleibaum e Thomas (2012), com adaptações.

As etapas de recrutamento e pré-seleção foram realizadas apenas uma vez, utilizando-se os cereais expandidos, como descrito no item 2.2.3.1. do Capítulo 2.

Levantamento e definição dos atributos: os atributos de textura sensorial foram gerados pelos quatorze avaliadores do painel sensorial, os quais já haviam avaliado os cereais expandidos, por meio do método de rede de Kelly (MOSKOWITZ, 1983) (Figura 8, Capítulo 2) para descrever a textura dos flocos F3, F5 e F8 (Figura 1). Os termos descritivos foram consensualmente definidos em uma reunião coletiva, e foram selecionados os mais importantes para caracterizar a textura dos cereais matinais em formato de floco (Tabela 4).

Definição dos alimentos-referência: o painel sensorial também definiu os atributos sensoriais, as referências para cada um dos atributos e o formulário de avaliação do produto (Tabela 4).

Treinamento e seleção do painel sensorial: a etapa de treinamento durou sete sessões de meia hora cada, nas quais os avaliadores analisaram todas as oito amostras por meio de uma escala linear de intensidade não estruturada de 9 cm, e memorizaram as referências. Durante essa etapa, dois avaliadores desistiram da análise, permanecendo doze avaliadores para a próxima etapa. O painel sensorial foi selecionado (Apêndice C) de acordo com sua capacidade discriminativa ($p_{amostra} \leq 0,30$), sua reprodutibilidade ($p_{repetição} > 0,05$) e sua capacidade para consenso (coeficiente de correlação de Pearson $\geq 0,80$, $p \leq 0,05$) (MINIM; SILVA, 2016). Sete dos doze avaliadores foram selecionados para avaliar o perfil de textura sensorial dos cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite. O número total de avaliadores do painel treinado, sete, tanto para os cereais secos como para os cereais após adição de leite está em consenso com Dutcosky (2011), que recomenda de seis a oito avaliadores experientes e com treinamento específico na textura do produto em questão.

Tabela 4. Definições e referências para os atributos da textura dos cereais matinais em formato de floco secos.

Atributo	Definição	Referências	
		Cereais secos	Cereais após adição de leite
Dureza	Força requerida para compressão de uma substância entre os dentes molares	<p>Pouco: meia unidade de chips de batata liso (Lays, Elma Chips, PepsiCo)</p> <p>Muito: meia unidade de biscoito salgado com aveia, trigo e milho do tipo “multigrãos” original (Equilibri, PepsiCo)</p>	<p>Pouco: um pedaço de 1 x 1 cm de uma fatia de pão de forma tradicional (Pullman) sem casca</p> <p>Muito: meia unidade de chips de batata liso (Lays, Elma Chips, PepsiCo)</p>
Crocância	Barulho emitido pelo alimento na primeira mordida com os dentes molares	<p>Pouco: um pedaço de 1 x 1 cm de uma fatia de pão de forma tradicional (Pullman) sem casca</p> <p>Muito: uma unidade de biscoito salgado à base de batata e trigo do tipo “cracker” original (Equilibri, PepsiCo)</p>	<p>Pouco: um pedaço de 1 x 1 cm de uma fatia de pão de forma tradicional (Pullman) sem casca</p> <p>Muito: meia unidade de chips de batata liso (Lays, Elma Chips, PepsiCo)</p>
Adesividade	Capacidade do alimento de aderir aos dentes quando mastigado	<p>Pouco: um pedaço de 1 x 1 cm de uma fatia de pão de forma tradicional (Pullman) sem casca</p> <p>Muito: meia unidade de biscoito de cacau sem recheio (Oreo, PepsiCo)</p>	<p>Pouco: uma fatia de cenoura de 2 mm de espessura</p> <p>Muito: uma unidade de macarrão de sêmola com ovos (Renata, Selmi) tipo conchinha cru</p>

Avaliação sensorial para descrição do perfil de textura dos cereais matinais: o perfil sensorial de textura foi realizado em cabines individuais, sob luz branca, em ambiente climatizado a 22 °C, utilizando-se o *FIZZ Sensory Analysis Software* versão 2.50 (BIOSYSTEMES, Couternon, França), sendo que as fichas sensoriais previamente elaboradas para a avaliação dos cereais expandidos foram reproduzidas para o *software*, e disponibilizou-se, também, a definição das referências utilizadas para consulta no próprio *software* (Figura 5), o *software* disponibilizou, ainda, a ordem de aleatorização para a apresentação das amostras, e

os Algarismos de três dígitos para codificá-las. Os oito cereais matinais em formato de floco foram apresentados em copos plásticos (3 g/cada) e analisados em três repetições pelos sete avaliadores. A apresentação das amostras foi feita de forma balanceada, aleatória e em blocos completos (realizados em seis sessões de quatro amostras cada). Um copo com água em temperatura ambiente foi servido aos participantes para eliminar os resíduos de amostras da boca entre a avaliação de uma amostra e a seguinte. Todos os procedimentos foram feitos de forma semelhante para os cereais matinais após adição de leite, e a apresentação das amostras foi feita conforme descrito no item 2.2.1, fornecendo-se uma colher descartável para pegar os cereais.

Figura 5. Ficha de avaliação do perfil sensorial dos cereais matinais em formato de floco a partir do FIZZ *Sensory Analysis Software*.

The screenshot shows a software interface for sensory evaluation. At the top, it says "Por favor, avalie a seguinte amostra:". Below this, there are four attributes listed on the left: "Textura", "Dureza (1)", "Crocância (1)", and "Adesividade (1)". A dropdown menu is open for "Dureza (1)", showing two options: "Dureza: Referência - meia batata chip's Lays" and "Muito: Referência - meio biscoito selgado Equilati". To the right of each attribute is a horizontal scale from "Pouco" to "Muito". A score of "755" is displayed in a black box next to the first scale. At the bottom right, there is a button labeled "Próxima página".

2.2.3.2. Análise sensorial de aceitação dos cereais matinais

As análises de aceitação sensorial dos cereais matinais foram realizadas em cabine individual, ambiente climatizado a 22 °C e luz branca. Foram recrutados consumidores de cereais matinais dentre alunos, docentes e colaboradores do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, os quais assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A) em duas vias imediatamente antes à realização do teste sensorial.

Imediatamente antes da aplicação do teste de aceitação, os consumidores responderam a um questionário (Figura 10, Capítulo 2) análogo ao utilizado na análise descritiva, para caracterização dos consumidores.

O teste de aceitação sensorial dos cereais matinais em formato de floco foi realizado

por meio do *FIZZ Sensory Analysis Software* versão 2.50 (BIOSYSTEMES, Couternon, França). As amostras foram avaliadas quanto à aceitação sensorial da textura empregando-se os termos definidos na análise descritiva, de escala hedônica linear semiestruturada de nove pontos com três âncoras (da esquerda para a direita: “desgostei extremamente”, “não gostei nem desgostei” e “gostei extremamente”), como mostra a Figura 6.

Figura 6. Modelo de ficha empregado para a análise de aceitação da textura dos cereais matinais em formato de floco no *FIZZ Sensory Analysis Software*.

Você está recebendo uma amostra de cereal matinal comercial em formato de floco.
Por favor, morda essa amostra usando os dentes do fundo da sua boca (dentes molares)
e indique o quanto você gosta ou desgosta da seguinte característica, utilizando a escala abaixo:

Desgosto extremamente Não gosto nem desgosto Gosto extremamente

Quão dura para mastigar

Desgosto extremamente Não gosto nem desgosto Gosto extremamente

Quanto barulho faz ao mastigar

Desgosto extremamente Não gosto nem desgosto Gosto extremamente

Quanto gruda aos dentes

Comentários:

Próxima página

O teste foi realizado por 71 consumidores com idade entre 18 e 35 anos. A análise foi realizada em blocos completos, em que todos os consumidores avaliam todas as amostras, em quatro sessões de quatro amostras cada, utilizando-se as duas primeiras para a avaliação das amostras secas, e as duas últimas para a avaliação das amostras após adição de leite. Cerca de 3 g de amostra foram fornecidas aos consumidores em copos descartáveis com capacidade para 50 mL, acompanhadas de colher para amostras após adição de leite e de um copo de água para eliminar os resíduos de alimento dos dentes, e foram apresentadas de forma monádica, balanceada e aleatória. A ordem de aleatorização para a apresentação das amostras e os códigos de três dígitos foram gerados pelo *FIZZ Sensory Analysis Software* versão 2.50 (BIOSYSTEMES, Couternon, França). Para as amostras apresentadas após adição de leite, seguiu-se o procedimento padrão para adição de leite previamente descrito no item 2.2.1.

O *FIZZ Sensory Analysis Software* foi empregado somente para as avaliações sensoriais de textura dos cereais matinais em formato de floco pois foi disponibilizado ao grupo de pesquisa após o término das análises sensoriais com os cereais matinais expandidos.

2.2.4. Ganho de massa por absorção de leite

Foram utilizados pesa filtros previamente secos em estufa a 105 °C durante 1 h, os quais foram pesados em balança analítica modelo AY220 (Shimatzu, Kyoto, Japão) para em seguida receberem as amostras de cereal e o leite. Para cada replicata (três no total), utilizaram-se dois pesa filtros, um para receber a amostra e o outro para receber o leite. Utilizou-se 1 g de amostra e 10 g de leite (proporção 1:10 m/m, suficiente para cobrir todas unidades de cereal). O conteúdo do pesa filtro com leite foi vertido no pesa filtro contendo a amostra e seguiu-se o procedimento descrito no item 2.2.1. mantendo-se ambos pesa filtros em dessecador. Após o tempo de imersão (3 min), o cereal foi peneirado sobre pesa-filtro do leite, e devolvido ao seu respectivo pesa filtro. Em seguida pesou-se o pesa filtro com o cereal e o pesa filtro com o leite restante do processo, e calculou-se o ganho de massa por 100 g de cereal após a adição de leite, por meio da diferença entre a massa do cereal úmido e a massa do cereal seco.

2.3. Análise estatística

Os resultados da análise instrumental de textura (n = 10) e de ganho de massa por absorção de leite (n = 3) foram submetidos à análise de variância fator único, seguida do teste de Tukey. As médias obtidas da análise sensorial descritiva (n = 21) foram comparadas por meio de análise de variância fator duplo para os fatores “avaliador” e “amostra”, além da interação entre os fatores, com a finalidade de eliminar a interferência desta interação nos dados sensoriais (MINIM; SILVA, 2016), e em seguida, procedeu-se ao teste de Tukey. As médias da aceitação sensorial (n = 71) foram analisadas por meio de análise de variância fator duplo, considerando-se “consumidor” e “amostra” como fontes de variação, seguida do teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Em todos os casos de comparação dos cereais matinais secos e após adição de leite, utilizou-se o teste t de Student pareado. Apenas para o perfil sensorial de textura não foi aplicado o teste t de Student pareado por terem sido utilizadas referências diferentes para os cereais secos e para os cereais após adição de leite. Pelo fato de a quantificação das características ser dependente das referências, a aplicação do referido teste, neste caso, geraria resultados tendenciosos. Obtiveram-se as matrizes de correlação de *Pearson* entre os dados instrumentais e sensoriais, para os cereais secos e para os cereais após adição de leite. Foram consideradas fortes as correlações com coeficiente de correlação $r \geq 0,70$ ou $r \leq -0,70$. Todas essas análises foram realizadas ao nível de significância de 5%, usando o programa IBM SPSS *Statistics for Windows* versão 20.0 (IBM Corp., Armonk, Nova Iorque, EUA).

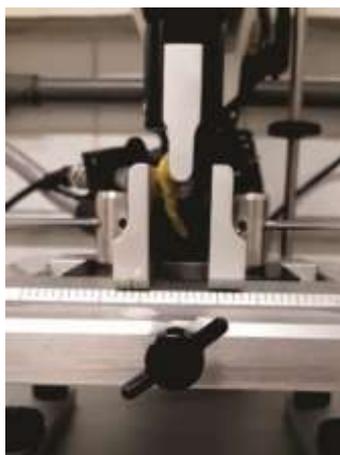
Foi utilizada a análise multifatorial para correlacionar simultaneamente todos os dados instrumentais e sensoriais dos cereais matinais. Para isso, as variáveis foram alocadas nas colunas e separadas em tabelas da seguinte forma: seis tabelas contendo os resultados para cada *probe*, uma tabela para os resultados da análise descritiva e uma tabela para os resultados da análise de aceitação. As amostras foram alocadas nas linhas. Consideraram-se as variáveis que obtiveram cargas fatorais $\geq 0,7$, ou $\leq -0,7$ para a explicação de cada componente. Essa análise foi realizada no programa XLSTAT 2018.4.51393: *Data Analysis and Statistical Solution for Microsoft Excel* (Addinsoft, Paris, França).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação instrumental de força e de propriedades acústicas dos cereais matinais

O número de picos de força obtido para cada cereal matinal em formato de floco, seco e após adição de leite, submetido a diferentes testes e *probes* é apresentado na Tabela 5. Após adição de leite, os cereais em formato de floco ficaram amolecidos, e durante a análise utilizando o *probe three point bending*, não apresentaram resistência à força exercida (Figura 7), impossibilitando a medição da força e das propriedades acústicas (Tabelas 5 a 9).

Figura 7. Cereal matinal em formato de floco após adição de leite durante análise com o *probe three point bending*.



Verificou-se baixo número de picos de força (Tabela 5) resultante dos testes de corte (*three point bending* e *blade set*) dos cereais matinais em formato de floco secos, pois a quebra do cereal ocorre de uma vez, gerando apenas dois fragmentos. Não houve diferença significativa entre o número de picos de força dos cereais em formato de floco secos para os *probes three point bending* e *blade set* com guilhotina, enquanto o *probe blade set* com corte “V” discriminou os cereais em dois níveis. Neste caso, o cereal F4 apresentou um dos maiores números de picos de força, e F5 e F7, uns dos menores.

Tabela 5. Número de picos de força (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais.

Floco	<i>Probe</i>					
	<i>Three point bending</i>	<i>Blade set guilhotina</i>	<i>Blade set corte “V”</i>	<i>Ottawa 3 mm</i>	<i>Ottawa 17 blades</i>	<i>Kramer</i>
Cereais secos						
F1	2,60 \pm 1,17	3,00 \pm 1,70	3,70 \pm 2,16 ^{ab}	25,00 \pm 5,68 ^a	26,70 \pm 4,16 ^a	41,20 \pm 6,46 ^a
F2	2,20 \pm 1,23	2,50 \pm 1,08	3,20 \pm 0,92 ^{ab}	22,90 \pm 4,23 ^a	21,60 \pm 4,22 ^{ab}	25,80 \pm 8,70 ^{bcd}
F3	1,90 \pm 0,74	3,10 \pm 0,74	4,20 \pm 2,25 ^{ab}	17,40 \pm 2,22 ^b	20,20 \pm 3,71 ^{bc}	20,10 \pm 5,32 ^d
F4	1,80 \pm 1,03	2,80 \pm 0,79	4,90 \pm 1,37 ^a	26,80 \pm 4,18 ^a	26,50 \pm 3,17 ^a	33,90 \pm 4,95 ^{ab}
F5	1,40 \pm 0,52	2,20 \pm 0,79	2,20 \pm 0,92 ^b	17,40 \pm 2,46 ^b	18,80 \pm 4,64 ^{bcd}	29,90 \pm 5,13 ^{bc}
F6	2,30 \pm 0,68	3,40 \pm 1,17	3,30 \pm 1,70 ^{ab}	16,50 \pm 4,33 ^b	17,70 \pm 4,52 ^{bcd}	32,90 \pm 6,15 ^{abc}
F7	2,30 \pm 1,06	2,90 \pm 1,20	2,70 \pm 1,16 ^b	14,20 \pm 2,44 ^b	15,20 \pm 3,65 ^{cd}	20,90 \pm 5,72 ^d
F8	1,50 \pm 0,71	2,20 \pm 0,63	2,80 \pm 1,14 ^{ab}	13,60 \pm 3,06 ^b	14,30 \pm 3,34 ^d	25,40 \pm 5,13 ^{cd}
*Valor de p	0,058	0,138	0,005	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cereais após adição de leite						
F1	-	1,30 \pm 0,48	1,50 \pm 0,97 ^c	1,00 \pm 0,00 ^d	1,00 \pm 0,00 ^b	1,20 \pm 0,42 ^c
F2	-	2,11 \pm 1,05	3,60 \pm 1,51 ^b	2,60 \pm 1,07 ^{bc}	2,80 \pm 1,32 ^a	4,90 \pm 2,77 ^{ab}
F3	-	1,60 \pm 0,70	2,00 \pm 1,05 ^{bc}	2,40 \pm 0,52 ^{bc}	2,60 \pm 0,70 ^{ab}	5,90 \pm 2,28 ^{ab}
F4	-	1,70 \pm 0,82	6,00 \pm 2,53 ^a	1,90 \pm 0,88 ^{bcd}	2,20 \pm 0,92 ^{ab}	7,40 \pm 1,78 ^{ab}
F5	-	1,40 \pm 0,70	1,30 \pm 0,67 ^c	1,30 \pm 0,48 ^{cd}	2,20 \pm 1,32 ^{ab}	4,50 \pm 1,43 ^b
F6	-	1,70 \pm 0,67	2,40 \pm 1,90 ^{bc}	3,20 \pm 1,03 ^{ab}	3,60 \pm 1,43 ^a	5,70 \pm 2,83 ^{ab}
F7	-	1,60 \pm 0,70	3,80 \pm 1,55 ^b	4,10 \pm 1,66 ^a	2,80 \pm 0,63 ^a	7,90 \pm 1,79 ^a
F8	-	1,60 \pm 0,70	2,40 \pm 0,84 ^{bc}	2,20 \pm 1,23 ^{bcd}	3,50 \pm 1,84 ^a	6,90 \pm 2,81 ^{ab}
*Valor de p	-	0,440	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Continua

Floco	<i>Three point bending</i>	<i>Blade set guilhotina</i>	<i>Blade set corte "V"</i>	<i>Ottawa 3 mm</i>	<i>Ottawa 17 blades</i>	<i>Kramer</i>
Valor de p (t de Student)						
F1	-	↓ (0,012)	↓ (0,028)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
F2	-	0,876	0,373	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
F3	-	↓ (< 0,0001)	↓ (0,014)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
F4	-	↓ (0,032)	0,115	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
F5	-	↓ (0,022)	↓ (0,010)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
F6	-	↓ (0,008)	0,324	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
F7	-	↓ (0,009)	0,214	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
F8	-	0,051	0,423	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)

Letras diferentes na mesma coluna, mas dentro de cada tipo de cereal matinal (seco ou após adição de leite), indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Valores de p resultantes da ANOVA.

Valores em negrito indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

↓ Redução do número de picos de força após adição de leite ao cereal.

Para os testes de extrusão e cisalhamento, o número de picos de força foi maior, pelo tipo de força exercido e pelo uso de mais unidades de cereal para a análise. Os cereais foram discriminados em até quatro níveis, sendo que F1 apresentou um dos maiores números de picos de força para os testes citados, e F7 e F8 uns dos menores.

Após a adição de leite, todos os cereais apresentaram baixo número de picos de força, independente do *probe* utilizado. Com exceção do *probe blade set* com guilhotina, os demais *probes* discriminaram os picos de força dos cereais matinais. O cereal matinal F4 manteve-se com o maior número de picos de força quando da realização do teste com o *probe blade set* com corte “V”, e com isto não apresentou redução significativa no número de picos de força pela adição de leite. Os testes de extrusão e cisalhamento discriminaram o número de picos de força dos cereais após adição de leite em até quatro níveis. O cereal F1, que havia apresentado um dos maiores números de picos de força para os cereais secos, apresentou um dos menores após a adição de leite, demonstrando grande perda de textura. O inverso ocorreu com o cereal F7, que apresentou menor perda de textura, pois apresentou baixo número de picos de força quando seco e alto após a adição de leite.

A adição de leite causou redução no número de picos de força nos cereais em formato de floco, sendo que esta perda não foi significativa para F2 e F8 quando avaliados por meio de ambos *probes blade set*, F4 (como mencionado acima), F6 e F7 avaliados pelo *probe blade set* com corte “V”.

Os testes aplicados discriminaram a força máxima média (Tabela 6) dos cereais secos em dois ou três níveis, enquanto o *probe blade set* com guilhotina não discriminou as amostras. Assim, a força máxima não variou muito entre os cereais matinais secos. Para os cereais após adição de leite, o *probe blade set* com guilhotina discriminou a força máxima média entre as amostras em dois níveis, e para os demais *probes*, os cereais que apresentaram as maiores forças quando secos, não se mantiveram, e diferentes cereais se destacaram para cada *probe*. A adição de leite resultou em redução da força máxima média dos cereais, com algumas exceções em que não houve alteração significativa (Tabela 5).

Tabela 6. Força máxima média (N) (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais.

Floco	<i>Probe</i>					
	<i>Three point bending</i>	<i>Blade set guilhotina</i>	<i>Blade set corte "V"</i>	<i>Ottawa 3 mm</i>	<i>Ottawa 17 blades</i>	<i>Kramer</i>
Cereais secos						
F1	2,85 \pm 1,11 ^{ab}	2,53 \pm 0,80	2,26 \pm 0,84 ^b	16,64 \pm 5,65 ^{ab}	12,95 \pm 3,74 ^b	22,80 \pm 6,97 ^c
F2	3,16 \pm 0,74 ^{ab}	3,35 \pm 1,35	3,34 \pm 1,29 ^{ab}	18,53 \pm 7,80 ^{ab}	14,15 \pm 3,90 ^{ab}	40,52 \pm 7,12 ^a
F3	4,08 \pm 0,95 ^{ab}	3,75 \pm 1,02	3,61 \pm 1,20 ^{ab}	14,36 \pm 2,83 ^{ab}	14,16 \pm 4,27 ^{ab}	24,17 \pm 9,83 ^c
F4	3,16 \pm 1,99 ^{ab}	3,26 \pm 1,52	3,69 \pm 1,74 ^{ab}	20,19 \pm 6,88 ^a	24,26 \pm 13,23 ^a	41,13 \pm 11,09 ^a
F5	2,31 \pm 1,14 ^b	2,42 \pm 1,09	2,89 \pm 0,99 ^{ab}	14,83 \pm 4,12 ^{ab}	16,34 \pm 7,96 ^{ab}	25,11 \pm 11,09 ^{bc}
F6	2,35 \pm 0,84 ^{ab}	3,64 \pm 1,06	3,74 \pm 1,15 ^{ab}	17,98 \pm 5,78 ^{ab}	16,81 \pm 4,70 ^{ab}	39,98 \pm 15,66 ^{ab}
F7	2,97 \pm 1,41 ^{ab}	3,42 \pm 0,88	4,86 \pm 1,95 ^a	14,56 \pm 3,93 ^{ab}	17,43 \pm 10,03 ^{ab}	21,52 \pm 12,11 ^c
F8	4,14 \pm 1,62 ^a	2,70 \pm 1,12	4,02 \pm 1,52 ^{ab}	12,33 \pm 3,82 ^b	10,85 \pm 3,85 ^b	24,65 \pm 10,47 ^c
*Valor de p	0,011	0,058	0,006	0,030	0,007	< 0,0001
Cereais após adição de leite						
F1	-	1,47 \pm 0,46 ^{ab}	1,06 \pm 0,20 ^c	0,80 \pm 0,42 ^b	1,21 \pm 0,77 ^d	7,39 \pm 2,44 ^c
F2	-	2,06 \pm 0,42 ^{ab}	3,77 \pm 1,78 ^a	3,64 \pm 1,70 ^{ab}	5,26 \pm 1,84 ^{bc}	26,03 \pm 7,72 ^a
F3	-	2,80 \pm 1,98 ^a	1,97 \pm 1,02 ^{bc}	4,28 \pm 1,71 ^a	6,56 \pm 1,01 ^{ab}	25,48 \pm 14,80 ^a
F4	-	2,14 \pm 1,16 ^{ab}	2,55 \pm 0,88 ^{ab}	2,71 \pm 1,36 ^{ab}	5,04 \pm 2,02 ^{bc}	23,85 \pm 14,30 ^{ab}
F5	-	1,98 \pm 0,79 ^{ab}	2,07 \pm 1,07 ^{bc}	3,45 \pm 2,19 ^{ab}	8,26 \pm 3,60 ^a	11,54 \pm 4,72 ^{bc}
F6	-	1,25 \pm 0,51 ^b	1,15 \pm 0,34 ^c	5,12 \pm 3,05 ^a	4,56 \pm 1,61 ^{bc}	23,80 \pm 10,29 ^{ab}
F7	-	1,00 \pm 0,52 ^b	1,90 \pm 0,84 ^{bc}	3,95 \pm 1,78 ^a	3,03 \pm 1,72 ^{cd}	20,64 \pm 6,14 ^{ab}
F8	-	1,88 \pm 0,88 ^{ab}	1,25 \pm 0,28 ^{bc}	4,03 \pm 3,80 ^a	4,20 \pm 1,65 ^{bc}	12,40 \pm 5,87 ^{bc}
*Valor de p	-	0,004	< 0,0001	0,004	< 0,0001	< 0,0001

Continua

Floco	<i>Three point bending</i>	<i>Blade set guilhotina</i>	<i>Blade set corte "V"</i>	<i>Ottawa 3 mm</i>	<i>Ottawa 17 blades</i>	<i>Kramer</i>
Valor de p (t de Student)						
F1	-	↓ (0,003)	↓ (0,001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)
F2	-	↓ (0,041)	0,556	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (0,004)
F3	-	0,252	↓ (0,010)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	0,809
F4	-	0,083	↓ (0,047)	↓ (< 0,0001)	↓ (0,001)	↓ (0,006)
F5	-	0,254	0,135	↓ (< 0,0001)	↓ (0,006)	↓ (0,003)
F6	-	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (0,021)
F7	-	↓ (< 0,0001)	↓ (0,002)	↓ (< 0,0001)	↓ (0,002)	0,829
F8	-	0,164	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	↓ (0,001)	↓ (0,011)

Letras diferentes na mesma coluna, mas dentro de cada tipo de cereal matinal (seco ou após adição de leite), indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Valores de p resultantes da ANOVA.

Valores em negrito indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

↓ Redução do valor de força máxima média após adição de leite ao cereal.

A adição de leite causou a adesividade (Tabela 7) dos cereais ao *probe* no final da aplicação da força, no retorno do *probe* à sua posição original. Os cereais em formato de floco apresentaram baixas adesividades, e alguns não a evidenciaram (adesividade não detectada). O cereal F2 apresentou uma das maiores adesividades, embora essa adesividade não tenha sido detectada pelo *probe blade set* corte “V”. Ainda, observaram-se elevados desvios-padrões causados pela ocorrência de replicatas em que os cereais não apresentaram adesividade ao *probe*.

Os cereais matinais secos que emitiram um dos maiores números de picos acústicos (Tabela 8) para os testes de corte foram F1 (*blade set* com corte “V”), F2 (*three point bending*) e F3 (*blade set* com guilhotina). Para os testes de extrusão com *probe Ottawa* (ambas as bases), F1 emitiu o maior número de picos acústicos, além de um dos maiores para o *probe Kramer*. Após a adição de leite, não houve emissão sonora (salvo algumas exceções que serão explicadas a seguir), pois os cereais perderam a rigidez de sua estrutura pela absorção do leite. E, devido a isto, houve redução no número de picos acústicos para todos os cereais, avaliados por todos os *probes*, causada pela adição do leite. Poucos cereais emitiram som no momento do seu rompimento, e para estes, observa-se elevado desvio-padrão, devido ao fato de algumas das dez repetições executadas não haverem emitido som.

O nível de pressão sonora (Tabela 9) foi discriminado em até cinco níveis entre as amostras, com maior discriminação pelo *probe Kramer*, mas sem diferenciação pelo *probe blade set* com guilhotina. O cereal seco capaz de emitir um dos maiores níveis de pressão sonora foi o F5, destacando-se dentre os demais cereais em formato de floco para os *probes three point bending, blade set* com corte “V”, *Ottawa* com base 3 mm e *Kramer*.

De forma análoga ao evidenciado para o número de picos acústicos (Tabela 8), os cereais matinais em formato de floco não emitiram som após serem adicionados de leite, não gerando, assim, nível de pressão sonora (“volume” de som) (Tabela 9). Somente poucas exceções apresentaram nível de pressão sonora. E, para o cálculo da média, repetições com nível de pressão sonora nulo foram descartadas para não causar tendenciosidade no valor, já que tais repetições não possuem nível de pressão sonora igual a “0 dB”, mas sim, são níveis de pressão sonora inexistentes, pois não foram detectados picos acústicos (acima do limiar de detecção 2,5 dB). Isto posto, a adição de leite causou redução do nível de pressão sonora para todos os cereais e testes avaliados, além de causar, majoritariamente, a total perda da capacidade de emissão sonora.

Tabela 7. Adesividade instrumental (N.s) (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais em formato de floco após adição de leite.

Floco	<i>Probe</i>				
	<i>Blade set guilhotina</i>	<i>Blade set corte "V"</i>	<i>Ottawa 3 mm</i>	<i>Ottawa 17 blades</i>	<i>Kramer</i>
F1	0,016 \pm 0,004 ^a	nd	0,006 \pm 0,003 ^{ab}	0,008 \pm 0,004 ^b	0,073 \pm 0,033 ^{ab}
F2	0,106 \pm 0,007 ^{ab}	nd	0,011 \pm 0,008 ^a	0,013 \pm 0,006 ^a	0,124 \pm 0,085 ^a
F3	0,002 \pm 0,002 ^c	0,017 \pm 0,029 ^c	nd	nd	nd
F4	0,102 \pm 0,011 ^{ab}	0,027 \pm 0,023 ^{bc}	0,009 \pm 0,003 ^{ab}	0,016 \pm 0,002 ^a	nd
F5	nd	0,071 \pm 0,048 ^{abc}	0,005 \pm 0,001 ^b	nd	nd
F6	0,005 \pm 0,005 ^{bc}	0,064 \pm 0,046 ^{abc}	nd	nd	0,041 \pm 0,039 ^b
F7	0,003 \pm 0,004 ^{bc}	0,127 \pm 0,093 ^a	nd	nd	nd
F8	0,003 \pm 0,004 ^{bc}	0,111 \pm 0,079 ^{ab}	nd	nd	nd

Letras diferentes na mesma coluna indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).
 nd = adesividade não detectada.

Tabela 8. Número de picos acústicos (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais.

Floco	<i>Probe</i>					
	<i>Three point bending</i>	<i>Blade set guilhotina</i>	<i>Blade set corte “V”</i>	<i>Ottawa 3 mm</i>	<i>Ottawa 17 blades</i>	<i>Kramer</i>
Cereais secos						
F1	12,00 \pm 2,40 ^{ab}	10,80 \pm 4,85 ^{ab}	13,50 \pm 5,72 ^a	94,20 \pm 24,83 ^a	112,50 \pm 8,44 ^a	49,60 \pm 9,09 ^a
F2	12,20 \pm 5,12 ^a	6,00 \pm 2,94 ^{cd}	11,30 \pm 3,56 ^{ab}	42,30 \pm 8,19 ^{bcd}	48,30 \pm 7,21 ^{bc}	23,40 \pm 3,95 ^{bcd}
F3	7,80 \pm 3,58 ^{abc}	11,80 \pm 3,97 ^a	7,70 \pm 3,59 ^{bc}	36,70 \pm 8,22 ^{cd}	37,70 \pm 9,38 ^c	14,50 \pm 5,21 ^{cd}
F4	11,80 \pm 5,45 ^{ab}	10,10 \pm 1,85 ^{ab}	11,50 \pm 2,68 ^{ab}	58,70 \pm 9,35 ^b	55,60 \pm 10,50 ^b	26,10 \pm 6,05 ^b
F5	3,00 \pm 0,94 ^d	5,40 \pm 2,88 ^d	6,10 \pm 2,08 ^c	51,90 \pm 12,85 ^{bc}	53,90 \pm 14,53 ^b	42,30 \pm 9,84 ^a
F6	7,40 \pm 1,84 ^{bcd}	7,00 \pm 2,45 ^{bcd}	6,00 \pm 2,40 ^c	34,10 \pm 11,37 ^d	37,40 \pm 7,78 ^c	24,60 \pm 10,34 ^{bc}
F7	6,50 \pm 1,96 ^{cd}	6,20 \pm 1,87 ^{cd}	5,90 \pm 1,66 ^c	27,80 \pm 7,97 ^d	35,30 \pm 10,55 ^c	13,90 \pm 3,81 ^d
F8	6,20 \pm 2,53 ^{cd}	6,90 \pm 2,64 ^{bcd}	5,20 \pm 2,49 ^c	32,30 \pm 8,06 ^d	39,80 \pm 5,43 ^c	23,60 \pm 7,66 ^{bcd}
¹ Valor de p	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cereais após adição de leite						
F1	-	nd	nd	nd	nd	nd
F2	-	nd	nd	nd	nd	nd
F3	-	nd	nd	nd	nd	nd
F4	-	nd	nd	nd	nd	nd
F5	-	nd	nd	nd	nd	nd
F6	-	nd	nd	2,60 \pm 2,37 ^A	nd	0,80 \pm 0,63
F7	-	nd	nd	2,10 \pm 2,38 ^A	1,80 \pm 0,92 ^B	nd
F8	-	nd	nd	nd	2,60 \pm 2,50 ^A	nd

Continua

Floco	<i>Three point bending</i>	<i>Blade set guilhotina</i>	<i>Blade set corte "V"</i>	<i>Ottawa 3 mm</i>	<i>Ottawa 17 blades</i>	<i>Kramer</i>
Valor de p (t de Student)						
F1	-	-	-	-	-	-
F2	-	-	-	-	-	-
F3	-	-	-	-	-	-
F4	-	-	-	-	-	-
F5	-	-	-	-	-	-
F6	-	-	-	↓ (< 0,0001)	-	↓ (< 0,0001)
F7	-	-	-	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	-
F8	-	-	-	-	↓ (< 0,0001)	-

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo teste t de Student para amostras independentes ($p \leq 0,05$).

¹ Valores de p resultantes da ANOVA.

Valores em negrito indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

↓ Redução do número de picos acústicos após adição de leite ao cereal.

Tabela 9. Nível de pressão sonora (dB) (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais.

Floco	Probe					
	<i>Three point bending</i>	<i>Blade set guilhotina</i>	<i>Blade set corte “V”</i>	<i>Ottawa 3 mm</i>	<i>Ottawa 17 blades</i>	<i>Kramer</i>
Cereais secos						
F1	79,15 \pm 4,38 ^b	77,82 \pm 3,02	76,67 \pm 7,42 ^{ab}	92,60 \pm 2,33 ^a	93,62 \pm 1,84 ^a	78,59 \pm 2,14 ^{ab}
F2	76,55 \pm 4,89 ^{bc}	73,66 \pm 1,87	74,39 \pm 2,71 ^{ab}	85,96 \pm 1,74 ^b	87,31 \pm 1,42 ^{bc}	69,49 \pm 3,87 ^e
F3	70,64 \pm 4,23 ^c	74,70 \pm 3,95	72,43 \pm 3,78 ^b	85,91 \pm 2,08 ^b	84,34 \pm 3,57 ^c	73,83 \pm 3,19 ^{cde}
F4	76,02 \pm 3,43 ^{bc}	73,71 \pm 1,78	74,30 \pm 2,96 ^{ab}	85,41 \pm 1,85 ^b	86,21 \pm 1,95 ^{bc}	69,51 \pm 3,52 ^e
F5	88,85 \pm 6,52 ^a	73,29 \pm 11,74	80,70 \pm 6,16 ^a	92,89 \pm 1,78 ^a	88,76 \pm 2,43 ^b	80,14 \pm 2,00 ^a
F6	75,53 \pm 3,07 ^{bc}	75,21 \pm 3,63	74,64 \pm 2,71 ^{ab}	86,63 \pm 3,21 ^b	86,31 \pm 2,76 ^{bc}	70,25 \pm 3,03 ^{de}
F7	77,50 \pm 2,99 ^b	76,63 \pm 3,21	65,55 \pm 6,75 ^c	84,69 \pm 1,98 ^b	87,02 \pm 2,37 ^{bc}	74,48 \pm 3,28 ^{bcd}
F8	79,79 \pm 5,07 ^b	77,56 \pm 3,57	74,08 \pm 2,51 ^{ab}	85,78 \pm 1,50 ^b	87,70 \pm 1,55 ^b	77,35 \pm 4,01 ^{abc}
¹ Valor de p	< 0,0001	0,277	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cereais após adição de leite						
F1	-	nd	nd	nd	nd	nd
F2	-	nd	nd	nd	nd	nd
F3	-	nd	nd	nd	nd	nd
F4	-	nd	nd	nd	nd	nd
F5	-	nd	nd	nd	nd	nd
F6	-	nd	nd	66,91 \pm 6,14 ^A	nd	64,99 \pm 4,05
F7	-	nd	nd	65,46 \pm 2,22 ^A	62,66 \pm 4,47 ^A	nd
F8	-	nd	nd	nd	67,37 \pm 2,67 ^A	nd

Continua

Floco	<i>Three point bending</i>	<i>Blade set guilhotina</i>	<i>Blade set corte "V"</i>	<i>Ottawa 3 mm</i>	<i>Ottawa 17 blades</i>	<i>Kramer</i>
Valor de p (t de Student)						
F1	-	-	-	-	-	-
F2	-	-	-	-	-	-
F3	-	-	-	-	-	-
F4	-	-	-	-	-	-
F5	-	-	-	-	-	-
F6	-	-	-	↓ (< 0,0001)	-	↓ (0,007)
F7	-	-	-	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	-
F8	-	-	-	-	↓ (< 0,0001)	-

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo teste t de Student para amostras independentes ($p \leq 0,05$).

¹ Valores de p resultantes da ANOVA.

Valores em negrito indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

↓ Redução do nível de pressão sonora após adição de leite ao cereal.

3.2. Avaliação sensorial da textura dos cereais matinais

3.2.1. Perfil sensorial de textura dos cereais matinais

O painel sensorial de avaliação dos cereais matinais foi composto por indivíduos na faixa etária de 24 a 28 anos, sendo 78% do sexo feminino. Quanto ao grau de gostar, 66,7% deles gostam muito de cereais matinais e 33,3% gostam pouco. Todos os avaliadores são consumidores de cereais matinais, 33,3% consomem pelo menos uma vez por semana e 66,7% consomem ocasionalmente, isto é, uma vez a cada 15 dias ou menos. Em relação à forma de consumo, era permitida a escolha de mais de uma alternativa, de forma que 66,7% alegaram ingerir os cereais puros, 77,8% com leite e 44,4% com outro tipo de acompanhamento, o iogurte. E todos os avaliadores que consomem cereais matinais com leite, utilizam-no gelado.

O painel sensorial discriminou os cereais matinais em função dos atributos e utilizaram toda a escala linear não estruturada fornecida pelo *software* sensorial empregado (Tabela 10). O cereal seco F1 apresentou intensidade intermediária de dureza, a maior intensidade de crocância dentre as amostras, e elevada adesividade. A amostra F2 se destacou pela elevada intensidade de todos os atributos, além de ser igualmente adesiva à amostra F1. E a amostra F3 se diferenciou das demais pela maior intensidade de dureza. O cereal F5 evidenciou a maior adesividade, e menores intensidades para dureza e crocância. E os cereais F6, F7 e F8 apresentaram intensidades similares entre si para os três termos, destacando-se a elevada crocância e a baixa adesividade.

Após a adição de leite, o painel sensorial discriminou os cereais matinais em função dos atributos e utilizaram toda a escala linear não estruturada (Tabela 10). A amostra F1 apresentou as menores dureza e adesividade, além de baixa crocância. O cereal F2 apresentou as maiores intensidades de dureza e crocância, e sua adesividade também foi elevada. A amostra F3 mostrou-se igualmente dura a F2, porém evidenciou menor crocância, e baixa adesividade. Já para F4, baixa intensidade de dureza e crocância foram identificadas, e F5 destacou-se como a amostra menos crocante e mais adesiva. As amostras F6, F7 e F8 destacaram-se pela baixa dureza e menor adesividade dentre os cereais avaliados, apresentando perfis similares, exceto para F6, a qual evidenciou maior dureza que as duas demais.

Tabela 10. Intensidade dos atributos de textura (média \pm desvio-padrão, n = 21) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite.

Floco	Atributo		
	Dureza	Crocância	Adesividade
Cereais secos			
F1	4,55 \pm 0,44 ^c	8,39 \pm 0,30 ^a	6,75 \pm 1,29 ^b
F2	6,48 \pm 1,63 ^b	6,96 \pm 0,56 ^b	6,79 \pm 0,89 ^b
F3	7,99 \pm 0,82 ^a	2,44 \pm 0,61 ^e	1,98 \pm 0,37 ^d
F4	2,08 \pm 0,94 ^d	6,39 \pm 0,59 ^c	4,57 \pm 0,99 ^c
F5	4,05 \pm 1,24 ^c	4,72 \pm 0,96 ^d	8,40 \pm 0,21 ^a
F6	5,22 \pm 2,29 ^c	6,07 \pm 0,69 ^c	2,00 \pm 0,63 ^d
F7	4,01 \pm 2,26 ^c	6,31 \pm 0,41 ^c	2,00 \pm 0,64 ^d
F8	4,61 \pm 0,84 ^c	6,48 \pm 0,98 ^{bc}	1,95 \pm 0,28 ^d
Cereais após adição de leite			
F1	0,81 \pm 0,25 ^e	1,89 \pm 0,41 ^c	0,45 \pm 0,11 ^e
F2	7,68 \pm 1,74 ^a	7,69 \pm 1,74 ^a	6,57 \pm 0,81 ^b
F3	8,22 \pm 0,22 ^a	0,84 \pm 0,30 ^e	4,69 \pm 0,93 ^c
F4	0,91 \pm 0,41 ^e	1,14 \pm 0,59 ^{cd}	5,68 \pm 2,60 ^{bc}
F5	4,86 \pm 1,10 ^b	0,37 \pm 0,35 ^e	8,73 \pm 0,21 ^a
F6	3,45 \pm 1,23 ^c	4,44 \pm 0,20 ^b	3,00 \pm 1,82 ^d
F7	2,36 \pm 1,35 ^d	4,01 \pm 1,20 ^b	2,49 \pm 1,87 ^d
F8	2,00 \pm 0,26 ^d	4,37 \pm 0,28 ^b	0,78 \pm 0,28 ^e

Letras diferentes na mesma coluna, mas dentro de cada tipo de cereal matinal (seco ou após adição de leite), indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Diferentemente do observado para os cereais matinais em formato de flocos secos, verificou-se modificação do perfil sensorial de textura do cereal matinal F1, após a adição de leite. O cereal F1 seco foi descrito pela crocância e adesividade, a adição de leite alterou seu perfil de textura, e ele foi descrito pela baixa intensidade dos três atributos de textura avaliados. Verifica-se que, pelo fato de F1 não possuir açúcar de cobertura (Figura 1), ele sofreu maior alteração em sua textura após a adição de leite, com maior perda de dureza e crocância (Tabela 10), do que as amostras que possuem açúcar de cobertura (F2, F4, F6, F7 e F8).

De maneira similar, F3 foi descrito por maior adesividade após a adição de leite, e F4 perdeu intensidade de crocância. Para as demais amostras, a adição de leite ocasionou a redução da intensidade de dureza e crocância, e aumento da adesividade, fatos indicados pela mudança das referências, sem, no entanto, alterar o perfil sensorial de textura.

Chaunier et al. (2005) avaliaram o perfil sensorial de cereais matinais em formato de floco, de 13 diferentes marcas comerciais, secos e adicionados de leite. Para a avaliação dos cereais com leite, os avaliadores eram instruídos a adicionar uma colher de cereais no recipiente com leite, homogeneizar durante 8 s, e provar a amostra. Dessa forma, os cereais não apresentaram alteração de seu perfil sensorial de textura, diferentemente do observado neste trabalho, devido ao maior tempo de contato dos cereais com o leite, 3 min. Este tempo de imersão, baseado no estudo de Gregson e Lee (2003), foi determinado após testes instrumentais e sensoriais por ser o tempo médio que os cereais matinais em formato de floco levam para perder sua crocância (sensorialmente avaliado) após início do contato com o leite, durante seu consumo.

3.2.2. *Aceitação sensorial da textura dos cereais matinais*

Os consumidores que avaliaram os cereais matinais em formato de floco tinham idade entre 18 e 35 anos e 63,4% eram mulheres. Dos 71 consumidores, 71,8% gostam muito de cereais matinais, 46,5% consomem pelo menos uma vez por semana, e 91,5% consomem cereais com leite, sendo que 81,5% destes utilizam leite gelado para o consumo. Dos 22,5% que consomem cereais matinais com outro tipo de acompanhamento, 62,5% o fazem com iogurte, sendo que frutas, polpa de açaí e sorvete também foram citados.

Embora se solicite que os indivíduos expressem seu ‘grau de gostar’ somente em relação às características de textura do cereal, pode ser que seja difícil para o consumidor desvincular totalmente a percepção afetiva da textura da percepção dos demais atributos sensoriais, especialmente no que diz respeito ao sabor, atributo altamente correlacionado com

a aceitação global de um produto (MACFIE; MEISELMAN, 2012). Assim, considera-se esse fato como uma limitação deste teste de aceitação.

As amostras F1, F2, F4, F6, F7 e F8, enquanto secas, foram igualmente aceitas entre si para as características de textura avaliadas (Tabela 11), com médias classificadas na escala hedônica entre “não gostei nem desgostei” e “gostei muitíssimo” e mais aceitas que os cereais F3 e F5, os quais foram igualmente aceitos entre si para dureza e crocância, e a adesividade de F5 foi menos aceita que a de F3, suas médias foram categorizadas na escala hedônica entre “desgostei levemente” e “gostei levemente”.

Após serem adicionadas de leite, as amostras F2, F6, F7 e F8 continuaram sendo igualmente aceitas entre si e as mais aceitas em relação aos outros cereais, e suas médias foram classificadas na escala hedônica como “gostei levemente” a “gostei muitíssimo”. As amostras F3 e F5 foram novamente as menos aceitas, e igualmente aceitas entre si, classificando-se na escala hedônica entre “desgostei levemente” e “gostei levemente”. A adição de leite prejudicou a aceitação da dureza e da crocância dos cereais F1, F3 e F5, e melhorou a aceitação da adesividade de F5.

O estudo de Jeltema, Beckley e Vahalik (2016) verificou que a aceitação da textura de um produto depende do tipo de alimento que o indivíduo prefere, e esta é uma característica intrínseca e individual. Existem pessoas que preferem alimentos mais crocantes, outras preferem alimentos mais mastigáveis, outras, mais macios. E este fator influencia diretamente a aceitação da textura de produtos crocantes. Como pode ser observado neste trabalho, alguns consumidores preferiram as amostras secas, mais duras e crocantes, outros atribuíram melhores notas de aceitação às amostras adicionada de leite, mais amolecidas e menos crocantes. Não é possível mensurar esta influência, entretanto, é possível notar que ela existe e atuou nos resultados da aceitação da textura dos cereais matinais obtidos neste trabalho.

Tabela 11. Aceitação sensorial de textura (médias \pm desvio-padrão, n = 71) para os cereais matinais em formato de floco secos e após adição de leite, e valor de p da comparação pareada entre os cereais matinais.

Floco	Atributo		
	Dureza	Crocância	Adesividade
Cereais secos			
F1	7,33 \pm 1,64 ^{ab}	7,07 \pm 2,15 ^a	5,92 \pm 2,42 ^{ab}
F2	7,52 \pm 1,72 ^a	7,19 \pm 1,80 ^a	6,49 \pm 1,92 ^a
F3	5,76 \pm 2,05 ^c	5,90 \pm 1,89 ^b	5,44 \pm 2,12 ^b
F4	7,58 \pm 1,44 ^a	7,10 \pm 1,84 ^a	6,26 \pm 2,05 ^{ab}
F5	5,20 \pm 2,40 ^c	5,47 \pm 2,03 ^b	3,85 \pm 2,11 ^c
F6	7,55 \pm 1,51 ^a	7,34 \pm 1,69 ^a	6,73 \pm 1,90 ^a
F7	7,54 \pm 1,56 ^a	7,14 \pm 1,59 ^a	6,53 \pm 2,03 ^a
F8	7,65 \pm 1,31 ^a	7,11 \pm 1,80 ^a	6,47 \pm 1,86 ^a
Cereais após adição de leite			
F1	5,79 \pm 2,22 ^b	5,79 \pm 2,12 ^b	6,48 \pm 2,04 ^{ab}
F2	7,82 \pm 1,14 ^a	7,36 \pm 1,74 ^a	6,37 \pm 2,00 ^{ab}
F3	4,89 \pm 2,02 ^{cd}	5,09 \pm 1,96 ^{bc}	5,36 \pm 2,22 ^{cd}
F4	7,43 \pm 1,44 ^a	7,12 \pm 1,54 ^a	5,99 \pm 2,04 ^{bc}
F5	4,39 \pm 2,04 ^d	4,55 \pm 1,80 ^c	4,49 \pm 2,13 ^d
F6	7,53 \pm 1,45 ^a	7,41 \pm 1,50 ^a	6,98 \pm 1,66 ^a
F7	7,18 \pm 1,75 ^a	6,78 \pm 1,98 ^a	6,64 \pm 2,00 ^{ab}
F8	7,24 \pm 1,60 ^a	6,97 \pm 1,78 ^a	6,46 \pm 1,72 ^{ab}

Continua

Floco	Dureza	Crocância	Adesividade
Valor de p			
F1	↓ (< 0,0001)	↓ (< 0,0001)	0,112
F2	0,198	0,476	0,639
F3	↓ (0,006)	↓ (0,008)	0,765
F4	0,391	0,994	0,307
F5	↓ (0,025)	↓ (0,006)	↑ (0,042)
F6	0,91	0,754	0,225
F7	0,155	0,184	0,666
F8	0,053	0,535	0,975

Letras diferentes na mesma coluna, mas dentro de cada tipo de cereal matinal (seco ou após adição de leite), indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Valores em negrito indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

↓ Redução da aceitação sensorial após adição de leite ao cereal; ↑ Aumento da aceitação sensorial após adição de leite ao cereal.

3.3. Correlação entre textura sensorial e instrumental dos cereais matinais

As análises de correlação apresentadas a seguir visam estabelecer relações entre os métodos instrumentais e sensoriais empregados, permitindo-se chegar a conclusões a respeito do emprego de testes instrumentais que, adequadamente, mimetizem a medição sensorial da textura dos cereais matinais em formato de floco.

Foram observadas correlações fortes e significativas entre as propriedades instrumentais e sensoriais dos cereais matinais em formato de floco secos (Tabela 12) somente para intensidade da adesividade, que se correlacionou negativamente com a força máxima média medida pelo *probe blade set* com corte “V”, e positivamente com o nível de pressão sonora emitido a partir da ruptura dos cereais com o *probe Ottawa* com base 3 mm, e com o número de picos acústicos gerados pelo rompimento dos cereais com o *probe Kramer*. Além disso, a aceitação da dureza e da crocância dos cereais secos possui relação direta com a intensidade de sua crocância.

A adição de leite (Tabela 13) resultou em algumas correlações diferentes dos cereais secos. A intensidade da crocância e o número de picos de força, medido pelo *probe blade set* com guilhotina, correlacionaram-se positivamente. A intensidade da adesividade se correlacionou positivamente com a força máxima média medida pelo *probe Ottawa* com a base *17 blades*, resultado instrumental que foi também negativamente correlacionado com a aceitação da adesividade. A aceitação da dureza e da crocância dos cereais após adição de leite se relacionou diretamente com adesividade instrumental medida pelo *probe blade set* com guilhotina. E por fim, os atributos sensoriais correlacionaram-se entre si demonstrando que a aceitação da dureza e da crocância dos cereais matinais em formato de floco após adição de leite possui relação direta com a intensidade de sua crocância, e a aceitação da adesividade possui relação inversa com a sua intensidade de adesividade.

Tabela 12. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos sensoriais descritivos e de aceitação, e as propriedades instrumentais medidas pelos diferentes *probes* para os cereais matinais em formato de floco secos.

	Variáveis	Atributos sensoriais						
		Descritivos			Aceitação			
		Dureza	Crocância	Adesividade	Dureza	Crocância	Adesividade	
Propriedades instrumentais	<i>Three point bending</i>	NPF	0,162	0,494	-0,066	0,490	0,574	0,533
		FMM	0,388	-0,307	-0,493	0,082	0,005	0,240
		NPA	-0,003	0,512	0,164	0,559	0,573	0,526
		NPS	-0,467	0,211	0,643	-0,353	-0,379	-0,632
	<i>Blade set guilhotina</i>	NPF	0,218	-0,063	-0,446	0,212	0,302	0,405
		FMM	0,432	-0,406	-0,628	0,190	0,236	0,498
		NPA	0,180	-0,190	-0,172	-0,070	-0,070	0,037
		NPS	-0,045	0,454	-0,393	0,455	0,441	0,413
	<i>Blade set corte "V"</i>	NPF	-0,037	-0,067	-0,176	0,206	0,200	0,289
		FMM	-0,081	-0,207	-0,763*	0,342	0,301	0,486
		NPA	-0,095	0,487	0,522	0,242	0,255	0,121
		NPS	-0,076	0,026	0,706	-0,454	-0,436	-0,618
	<i>Ottawa 3 mm</i>	NPF	-0,266	0,403	0,565	0,174	0,181	0,029
		FMM	-0,282	0,341	0,313	0,341	0,386	0,273
		NPA	-0,283	0,489	0,638	-0,022	-0,008	-0,239
		NPS	-0,125	0,170	0,748*	-0,503	-0,471	-0,703
	<i>Ottawa 17 blades</i>	NPF	-0,196	0,290	0,530	0,036	0,051	-0,080
		FMM	-0,616	-0,035	0,037	0,088	0,074	0,025
		NPA	-0,220	0,574	0,588	0,055	0,073	-0,159
		NPS	-0,285	0,702	0,584	0,110	0,123	-0,156

Continua

Variáveis		Atributos sensoriais						
		Descritivos			Aceitação			
		Dureza	Crocância	Adesividade	Dureza	Crocância	Adesividade	
<i>Kramer</i>	NPF	-0,476	0,624	0,489	0,209	0,246	-0,030	
	FMM	-0,127	0,183	0,085	0,387	0,421	0,388	
	NPA	-0,327	0,451	0,768*	-0,208	-0,187	-0,480	
	NPS	-0,084	-0,016	0,303	-0,489	-0,520	-0,633	
Atributos sensoriais	Descritivos	Dureza	1	-0,496	-0,191	-0,312	-0,255	-0,019
		Crocância		1	0,284	0,741*	0,742*	0,479
		Adesividade			1	-0,346	-0,336	-0,585
	Aceitação	Dureza				1	0,991**	0,930**
		Crocância					1	0,938**
		Adesividade						1

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.

Legenda: Propriedades de força: NPF - número de picos de força; FMM - força máxima média. Propriedades acústicas: NPA - número de picos acústicos; NPS - nível de pressão sonora.

Tabela 13. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos sensoriais descritivos e de aceitação, e as propriedades instrumentais medidas pelos diferentes *probes* para os cereais matinais em formato de floco após adição de leite.

	Variáveis	Atributos sensoriais						
		Descritivos			Aceitação			
		Dureza	Crocância	Adesividade	Dureza	Crocância	Adesividade	
Propriedades instrumentais	<i>Blade set</i> guilhotina	NPF	0,482	0,763*	0,306	0,673	0,660	0,312
		FMM	0,593	-0,322	0,472	-0,409	-0,402	-0,624
		A(I)	0,498	0,428	0,837	0,984*	0,986*	-0,041
	<i>Blade set</i> corte “V”	NPF	-0,254	0,177	0,145	0,655	0,627	0,277
		FMM	0,542	0,378	0,693	0,233	0,182	-0,218
		A(I)	0,459	-0,676	0,514	-0,338	-0,279	-0,396
	<i>Ottawa</i> 3 mm	NPF	0,142	0,515	-0,161	0,537	0,527	0,512
		FMM	0,465	0,316	0,188	0,217	0,241	0,063
	<i>Ottawa</i> 17 blades	NPF	0,242	0,515	-0,034	0,486	0,507	0,310
		FMM	0,626	-0,274	0,853**	-0,439	-0,438	-0,791*
		A(I)	0,489	0,588	-0,379	-0,335	-0,372	0,977
	<i>Kramer</i>	NPF	-0,007	0,130	0,096	0,427	0,409	0,108
		FMM	0,517	0,331	0,342	0,422	0,433	0,167
		A(I)	-0,717	-0,672	-0,691	-0,272	-0,116	0,879

Continua

Variáveis		Atributos sensoriais						
		Descritivos			Aceitação			
		Dureza	Crocância	Adesividade	Dureza	Crocância	Adesividade	
Atributos sensoriais	Descritivos	Dureza	1	0,202	0,549	-0,279	-0,280	-0,397
		Crocância		1	-0,169	0,759*	0,742*	0,655
		Adesividade			1	-0,302	-0,325	-0,723*
	Aceitação	Dureza				1	0,995**	0,819*
		Crocância					1	0,837**
		Adesividade						1

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.

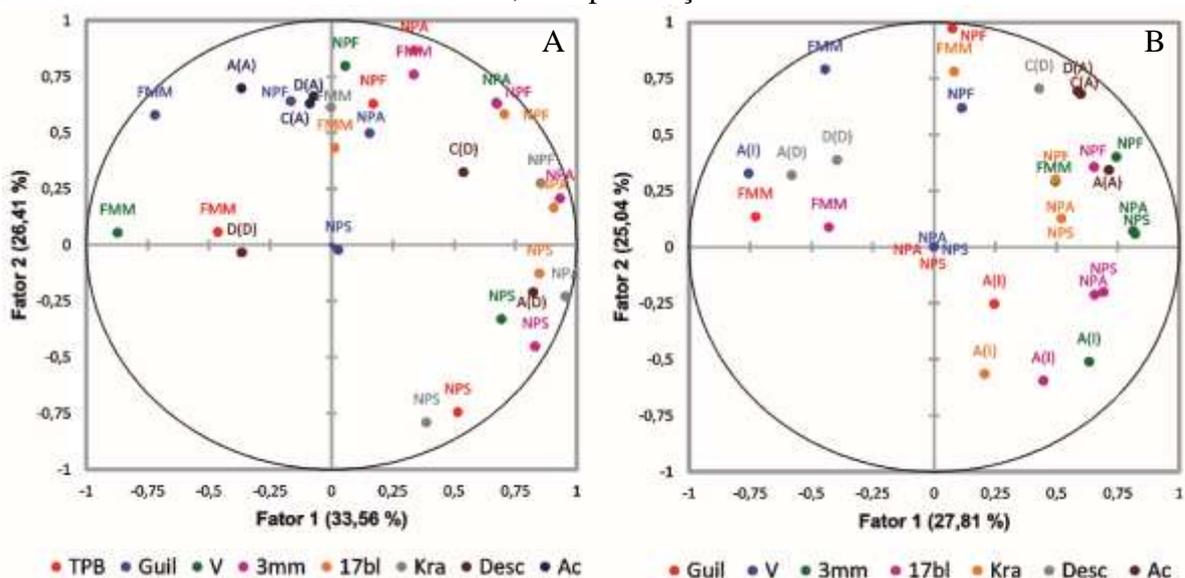
Legenda: Propriedades de força: NPF - número de picos de força; FMM - força máxima média; A(I) - adesividade instrumental. Propriedades acústicas: NPA - número de picos acústicos; NPS - nível de pressão sonora.

A análise multifatorial (Figura 8) foi empregada para correlacionar os resultados instrumentais, de força e de propriedades acústicas, e os sensoriais, descritiva e de aceitação, além de complementar e reiterar os resultados das matrizes de correlação de *Pearson*.

O primeiro fator da análise multifatorial dos cereais matinais em formato de floco secos (Figura 8A) explicou 33,56% da variação dos dados, e o segundo fator explicou 26,41%, explicando um total de 59,97% da variação dos dados.

O primeiro fator foi descrito por dois grupos de variáveis, negativamente correlacionados entre si. O primeiro grupo (cargas fatoriais $\geq 0,7$ no fator 1) foi formado pelo ‘número de picos de força’ avaliado por meio dos *probes Ottawa* com base 17 blades e *Kramer*; pelo ‘número de picos acústicos’ avaliado pelos *probes Ottawa* com ambas as bases e *Kramer*; pelo ‘nível de pressão sonora’ medido pelos *probes blade set* com corte “V” e *Ottawa* com base 17 blades; e pela ‘intensidade da adesividade’. O segundo grupo (cargas fatoriais $\leq -0,7$ no fator 1) constituiu-se pela ‘força máxima média’ avaliada pelos *probes blade set* com guilhotina e com corte “V”. As variáveis dentro de cada grupo foram positivamente correlacionadas entre si.

Figura 8. Análise multifatorial das características instrumentais e sensoriais dos cereais matinais em formato de floco. A. Secos, B. Após adição de leite.



Legenda: Probes: TPB - three point bending; Guil - blade set com guilhotina; V - blade set com corte “V”; 3mm - *Ottawa* com base 3mm; 17bl - *Ottawa* com base 17 blades; Kra - *Kramer*. Propriedades de força: NPF - número de picos de força; FMM - força máxima média; A(I) - adesividade instrumental. Propriedades acústicas: NPA - número de picos acústicos; NPS - nível de pressão sonora. Atributos sensoriais: D - dureza, C - crocância; A - adesividade; (D) - análise descritiva; (A) - aceitação.

O segundo fator foi descrito por dois grupos de variáveis. O primeiro (cargas fatoriais $\geq 0,7$ no fator 2), formado pelo ‘número de picos de força’ medido pelo *probe blade set* com corte “V”; pelo ‘número de picos acústicos’ medido pelo *probe three point bending*; pela ‘força máxima média’ medida pelo *probe Ottawa* com base 3 mm e pela ‘aceitação da adesividade’. E o segundo (cargas fatoriais $\leq -0,7$ no fator 2), constituído pelo ‘nível de pressão sonora’ medido pelos *probes three point bending* e *Kramer*. Variáveis pertencentes a um mesmo grupo foram positivamente correlacionadas entre si e negativamente correlacionadas com as variáveis do outro grupo.

As correlações observadas permitem inferir que, quanto maior a quantidade de picos de força e sonoros, e do “volume” do som emitido pela ruptura do cereal, maior a intensidade da adesividade percebida sensorialmente, sendo mais adequada a aplicação de forças de extrusão e cisalhamento. Em contrapartida, quanto maior for a força instrumental necessária para a quebra do cereal, menor é a intensidade da adesividade sensorialmente avaliada, e a aplicação de forças de corte é a mais apropriada para tal correlação. Afirma-se, ainda, que a aceitação da adesividade é positivamente influenciada pelo aumento do número de picos de força e acústicos e da força de ruptura do cereal, e negativamente influenciada pelo aumento do “barulho” emitido pelo cereal na primeira mordida.

O primeiro fator da análise multifatorial dos cereais matinais em formato de floco após adição de leite (Figura 8B) explicou 27,81% da variação dos dados, e o segundo fator explicou 25,04%, explicando um total de 52,85% da variação dos dados.

O primeiro fator foi descrito por dois grupos de variáveis. O primeiro, composto pelo ‘número de picos de força’, ‘número de picos acústicos’ e ‘nível de pressão sonora’ avaliados pelo *probe Ottawa* com base 3 mm; pelo ‘nível de pressão sonora’ avaliado pelo *probe Ottawa* com base 17 blades; e pela ‘aceitação da adesividade’. O segundo, constituído pela ‘força máxima média’ medida pelo *probe blade set* com guilhotina; e pela ‘adesividade instrumental’ mensurada pelo *probe blade set* com corte “V”. As variáveis foram positivamente correlacionadas dentro de um mesmo grupo e negativamente correlacionadas entre os grupos.

O segundo fator foi descrito por apenas um grupo de variáveis, positivamente correlacionadas entre si. O grupo foi formado pelo ‘número de picos de força’ avaliado pelo *probe blade set* com guilhotina; pela ‘força máxima média’ medida pelo *probe blade set* com corte “V” e pelo *Kramer*; pela ‘intensidade da crocância’ e pela ‘aceitação da dureza’.

As correlações evidenciadas pela análise multifatorial dos cereais em formato de floco após adição de leite mostram que quanto maior a força de corte necessária para a quebra da amostra, menor é a quantidade de picos sonoros emitidos e também menor a “intensidade” do

som emitido, ou menor força gera um som “mais alto”, de “maior volume”. Também, flocos adicionados de leite com maior adesividade instrumental causada pela aplicação de força de corte apresentaram menor aceitação pela adesividade. E ainda, maior número de picos de força obtidos por força de corte, e maior intensidade de forças de corte e cisalhamento resultam em maior intensidade de crocância e aumentaram a aceitação da dureza dos cereais após adição de leite. Considerando-se mais adequado o *probe* que apresenta representatividade à maior quantidade de atributos sensoriais, sugere-se, tanto para a análise instrumental dos cereais em formato de floco secos, quanto após adição de leite, o *probe Ottawa* com a base 3 mm.

A adição de leite causou alteração das correlações entre as características sensoriais de textura e as propriedades instrumentais. Antes da adição de leite, a aceitação da adesividade se correlacionou diretamente com a intensidade da força exercida para romper o cereal, e, inversamente, com o volume do som emitido (nível de pressão sonora) pela amostra no momento da quebra. Esta relação se inverteu após a adição de leite, em que a aceitação da adesividade aumentou com o aumento do som emitido pela amostra, e com a diminuição da força de ruptura e, ainda, com a redução da adesividade instrumental, mostrando que o consumidor demonstra maior aceitação da adesividade para o produto que ainda apresentar alguma emissão de som (crocância), certa resistência à quebra e pouca aderência após a adição de leite. Observou-se também outra alteração da correlação quando da adição de leite, para a intensidade de crocância e a aceitação da dureza (Figura 8B), pois estas características não foram fortemente correlacionadas com as propriedades instrumentais quando secas (Figura 8A), mas evidenciaram uma relação direta com o número de picos de força e a intensidade da força de ruptura após a adição de leite, demonstrando que os consumidores expressam maior aceitação da dureza para amostras que ainda conservem alguma crocância e resistência à quebra após a adição de leite. Considerando-se, ainda, a importância do estabelecimento de correlações entre os atributos do perfil sensorial de textura e os da aceitação, é possível inferir que a intensidade de crocância influenciou positivamente a aceitação da dureza dos cereais em formato de floco após a adição de leite.

Tal como evidenciado pelas análises de correlação apresentadas no presente trabalho, Chaunier et al. (2005) verificou correlações fortes e significativas entre os atributos sensoriais, de força e de acústica. Entretanto, observaram correlações entre a crocância e as propriedades de força medidas por testes de compressão, diferentemente do observado no presente estudo, em que a crocância dos cereais matinais em formato de floco após adição de leite se correlacionou com as propriedades de força medidas por testes de corte e cisalhamento.

3.4. Ganho de massa por absorção de leite

Houve um aumento de cerca de 100%, em média, na massa dos cereais em formato de floco causada pela absorção do leite (Tabela 14). O floco F1, que não apresenta açúcar de cobertura, evidenciou um dos maiores aumentos de massa, isto é, maior absorção de leite, acompanhado de uma das maiores perdas de massa do leite. As perdas do processo diferiram em três níveis, sendo que uma das maiores perdas foi para o cereal F6. Por outro lado, F7 e F8 apresentaram uns dos menores aumentos de massa por absorção de leite.

Tabela 14. Ganho de massa dos cereais matinais em formato de floco, perda de massa do leite e perdas do processo (médias em porcentagem \pm desvio-padrão, n = 3).

Floco	Ganho de massa do cereal	Perda de massa do leite	Perda do processo
F1	166,81 \pm 25,85 ^a	20,07 \pm 2,85 ^a	2,20 \pm 0,38 ^c
F2	76,79 \pm 5,27 ^{bcd}	10,59 \pm 1,64 ^c	1,96 \pm 0,47 ^c
F3	88,82 \pm 10,29 ^{bcd}	11,21 \pm 0,07 ^c	1,96 \pm 0,08 ^c
F4	81,19 \pm 13,86 ^{bcd}	12,42 \pm 2,20 ^{bc}	3,37 \pm 0,49 ^{ab}
F5	122,61 \pm 9,33 ^{abc}	14,47 \pm 0,97 ^{abc}	2,03 \pm 0,12 ^c
F6	131,45 \pm 50,97 ^{ab}	18,00 \pm 5,15 ^{ab}	4,10 \pm 0,13 ^a
F7	54,45 \pm 5,96 ^d	9,15 \pm 0,44 ^c	2,36 \pm 0,79 ^{bc}
F8	65,85 \pm 4,38 ^{cd}	9,81 \pm 0,29 ^c	2,32 \pm 0,11 ^{bc}

Letras diferentes na mesma coluna indicam médias estatisticamente diferentes entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tais resultados reiteram os resultados instrumentais e sensoriais abordados anteriormente. O cereal F1 evidenciou uma das menores intensidades das propriedades instrumentais de força (Tabelas 5 e 6), uma das maiores adesividades (Tabela 7) e perdeu sua capacidade de emissão de som (Tabelas 8 e 9), ainda, a adição de leite causou a perda de seu perfil sensorial (Tabela 10), e redução da aceitação de sua dureza e crocância (Tabela 11). É importante salientar que existe transferência de massa em ambos os sentidos, do cereal para o leite e do leite para o cereal, o que pode ser percebido visualmente para o cereal F8, o qual possui cobertura sabor chocolate, e ao final do procedimento 2.2.1 deixa o leite escurecido, e perde coloração. Entretanto, no balanço de massas, maior taxa de transferência de massa ocorre do leite para o cereal, por isso verifica-se um aumento de massa no cereal e uma redução da

massa do leite.

Em contrapartida, os cereais F7 e F8, com menor absorção do leite, foram uns dos únicos flocos que mantiveram sua capacidade de emissão de som após a adição de leite (Tabelas 8 e 9), além de a adição de leite não ter afetado sua aceitação (Tabela 11).

4. CONCLUSÃO

As análises instrumentais evidenciaram quatro diferentes flocos com maiores intensidades de propriedades de força e acústica. O floco F4 apresentou altos valores de número de picos de força e de força máxima média para a maioria dos *probes* avaliados. O floco F1 também evidenciou altos valores de número de picos de força, além de altos valores de número de picos acústicos. O floco F5 se destacou para os níveis de pressão sonora, enquanto o floco F2 para a adesividade instrumental. A adição de leite causou redução da intensidade de todas as propriedades de força e acústica e, majoritariamente, resultou na perda da capacidade de emissão de som dos flocos, além de ter alterado o perfil sensorial de textura do floco F1. A aceitação da dureza e da crocância dos cereais em formato de floco, secos e após adição de leite, mostrou ter relação direta com a intensidade de sua crocância, e o aumento da adesividade dos flocos após adição de leite prejudicou a aceitação da adesividade dos mesmos.

Os flocos secos evidenciaram correlações fortes somente entre a intensidade da adesividade (descritiva) com a força máxima média resultante do *probe blade set* com guilhotina, com o número de picos acústicos do *probe Ottawa 3 mm* e com o nível de pressão sonora do *probe Kramer*. Já a adição de leite revelou correlações entre a intensidade de crocância com o número de picos de força do *probe blade set* com guilhotina, e entre a intensidade da adesividade com a força máxima média do *probe Ottawa 17 blades*. Ainda, estes dois *probes* se correlacionaram com a aceitação sensorial de algumas características de textura, e nenhuma correlação foi obtida para o *probe three point bending* e para a intensidade da dureza. Assim, considerando a diversidade de *probes* encontrados para se correlacionar com as características sensoriais dos cereais matinais em formato de floco, sugere-se selecionar o *probe* adequado em função da característica sensorial que se deseja analisar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. **Official and Tentative Methods of the AOAC International**, eighteenth ed. AOAC, MD. 2005.

CHAUNIER, L.; COURCOUX, P.; DELLA VALLE, G.; LOURDIN, D. Physical and sensory evaluation of cornflakes crispness. **Journal of Texture Studies**, v. 36, n. 1, p. 93–118, 2005.

CHAUNIER, L.; DELLA VALLE, G.; LOURDIN, D. Relationships between texture, mechanical properties and structure of cornflakes. **Food Research International**, v. 40, n. 4, p. 493–503, 2007.

COURCOUX, P.; CHAUNIER, L.; DELLA VALLE, G.; LOURDIN, D.; SÉMÉNOU, M. Paired comparisons for the evaluation of crispness of cereal flakes by untrained assessors: Correlation with descriptive analysis and acoustic measurements. **Journal of Chemometrics**, v. 19, n. 3, p. 129–137, 2005.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Campagnat, 2011. 426 p.

FARRONI, A.; BUERA, M. D. P. Colour and surface fluorescence development and their relationship with Maillard reaction markers as influenced by structural changes during cornflakes production. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1685–1691, 2012.

FAST, R. B. Breakfast cereals. In: OWENS, G. (Ed.). **Cereals processing technology**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 158–172.

FAST, R. B.; CALDWELL, E. F. **Breakfast cereals, and how they are made**. Eagan: AACC International, 2000. 562 p.

GREGSON, C. M.; LEE, T.-C. Evaluation of numerical algorithms for the instrumental measurement of bowl-life and changes in texture over time for ready-to-eat breakfast cereals. **Journal of Texture Studies**, v. 33, p. 505–528, 2003.

JELTEMA, M.; BECKLEY, J.; VAHALIK, J. Food texture assessment and preference based on Mouth Behavior. **Food Quality and Preference**, v. 52, p. 160–171, 2016.

KADAN, R. S.; CALDWELL, E. F. Cereals | Breakfast cereals. In: CABALLERO, B. (Ed.). **Encyclopedia of food sciences and nutrition**. Oxford: Academic Press, 2. ed. 2003. p. 1023–1027.

MACFIE, H. J. H.; MEISELMAN, H. L. **Food Choice, Acceptance and Consumption**. New York: Springer Science & Business Media, 2012. 258 p.

MEILGAARD, M. C.; CARR, T. B.; CIVILLE, G. V. **Sensory evaluation techniques**. Boca Raton: CRC Press, 2006. 464 p.

MINIM, V. P. R.; SILVA, R. C. S. N. **Análise Sensorial Descritiva**. Viçosa: UFG, 2016. 280 p.

MOSCICKI, L. Extrusion Cooking : Principles and Practice. In: **Encyclopedia of Food and Health**. Amsterdam: Elsevier, 2 ed. 2016. p. 576-580.

MOSKOWITZ, H. R. **Product Testing and Sensory Evaluation of Foods** **Food and Nutrition Press**. Westport: Food and Nutrition Press, 1983. 605 p.

STONE, H.; BLEIBAUM, R. N.; THOMAS, H. A. Descriptive analysis. In: STONE, H.; BLEIBAUM, R. N.; THOMAS, H. A. (Eds.). **Sensory Evaluation Practices**. 4. ed. 2012. p. 233–289.

CAPÍTULO 4

***ACOUSTIC SETTINGS COMBINATION AS A SENSORY CRISPNESS
INDICATOR OF CRISPY FOOD***

Acoustic settings combination as a sensory crispness indicator of crispy food

Liara Silva Dias-Faceto^{a1}, Ana Salvador^a, Ana Carolina Conti-Silva^{b*}

^aInstituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Agustín Escardino, 7, Paterna, Valencia, Spain

^bSão Paulo State University (UNESP), Institute of Biosciences, Humanities and Exact Sciences (IBILCE), Campus São José do Rio Preto, Department of Food Engineering and Technology.

Correspondence Address: Rua Cristóvão Colombo, 2265, CEP 15054-000, São José do Rio Preto, São Paulo, Brazil.

***Corresponding Author**

A. C. Conti-Silva

Telephone: +55 1732212548

E-mail: conti.silva@unesp.br

¹ Author's permanent address: São Paulo State University (UNESP), Institute of Biosciences, Humanities and Exact Sciences (IBILCE), Campus São José do Rio Preto, Department of Food Engineering and Technology. Correspondence Address: Rua Cristóvão Colombo, 2265, CEP 15054-000, São José do Rio Preto, São Paulo, Brazil.

ABSTRACT

Crispness is a critical attribute of quality for crisp products, which can be evaluated through both instrumental and sensory analyses. The aim of the study was to identify the best combination of settings of a device coupled to a texture analyzer for acoustic analysis in order to find strong correlations with the sensory texture. For that, nine commercial food products were submitted to force and acoustic (Acoustic Envelope Detector) analyses, using two settings for acoustic data acquisition (gain 1 and gain 4), and two settings for acoustic data management (threshold 0.5 and 2.5). The products were also evaluated using texture descriptive sensory analysis. The gain changing from 1 to 4 (enhancing the test sensitivity) increased the number of acoustic peaks and reduced the sound pressure level. Changing the threshold from 0.5 to 2.5 (reducing the interference of background noise on the acquired data) reduced the number of acoustic peaks. The correlation between the instrumental and the sensory analysis showed gain 1 as the most adequate acoustic setting to obtain the acoustic parameters of products with different crispness intensities. Moreover, threshold 2.5 is the most appropriate for the acoustic data collection.

Keywords: texture analyzer, Acoustic Envelope Detector – AED, instrumental force, sound emission, correlation.

1. INTRODUCTION

The consumption of food involves different stages of texture perception, beginning with visual contact and manipulation with the hands, followed by chewing forces and, at the same time, by the emission of sound waves from the rupture of its structure, which are perceived by the ears (Szczeniak, 2002). A crispy food is one that, when dry, has air-filled cells surrounded by a fragile cell wall and produces sound when these cells are ruptured. The fragments resulting from the breaking movement trigger vibrations generating sound, that stimulates the ear to send a message to the brain, which, in turn, recognizes the received information as a perception of crispness (Duizer, 2001; Saeleaw & Schleining, 2011). Moreover, the crispness is a critical attribute of the quality of crispy foods, therefore it must be a target for evaluation using instrumental and sensory analyses.

During the instrumental analysis of crispy products with a texture analyzer, the probe compresses the product for rupturing the food structure, and a graph of force *versus* time is plotted. At the same time, a microphone may be combined with the probe, detecting the sound waves (Taniwaki & Kohyama, 2012). Different settings can be used for data acquisition and data management for the acoustic curves, which enables variation in the sensitivity of the analysis. The setting 'gain', ranging from zero to four for the Acoustic Envelope Detector (AED), controls the amplification during sound detection by gains of 6 dB per level and the test sensitivity is enhanced by each increment. The 'threshold' setting discards, during data management, detected sounds under the chosen threshold value (in decibels), eliminating low peaks from the background noise (Chick, 1998). Moreover, studies developed to identify the best position (distance and angle) of the microphone in relation to the sample, for generating the best acoustic energy measurement, determined that both must be as low as possible (Castro-Prada, Luyten, Lichtendonk, Hamer, & Van Vliet, 2007; J. Chen, Karlsson, & Povey, 2005). However, differences in the analysis protocols used were found, which hampers discussion of results reported in the literature.

Although the texture analyzer is important, the instrumental analyses cannot faithfully substitute the sensory analysis because texture is a complex sensory attribute (Mosca & Chen, 2017), involving different variables such as the amount of saliva, the temperature of the mouth, the force applied during chewing and the number of chewing cycles (Bourne & Szczeniak, 2003). However, both analyses may be used together. Indeed, as stated by Szczeniak (1987),

correlations between sensory and instrumental texture measurements result in: (1) finding instruments to measure quality control of food in industries; (2) predicting consumer response, such as the degree of liking and the overall acceptance of a new product; (3) understanding what is being sensed and perceived in the mouth during the sensory assessment of texture; (4) improving or optimizing instrumental methods to complement the sensory evaluation. Moreover, if a correct instrumental settings combination is applied and correlation between sensory and instrumental analyses is carried out, it is possible to ensure more accurate texture measurements (Chen & Opara, 2013).

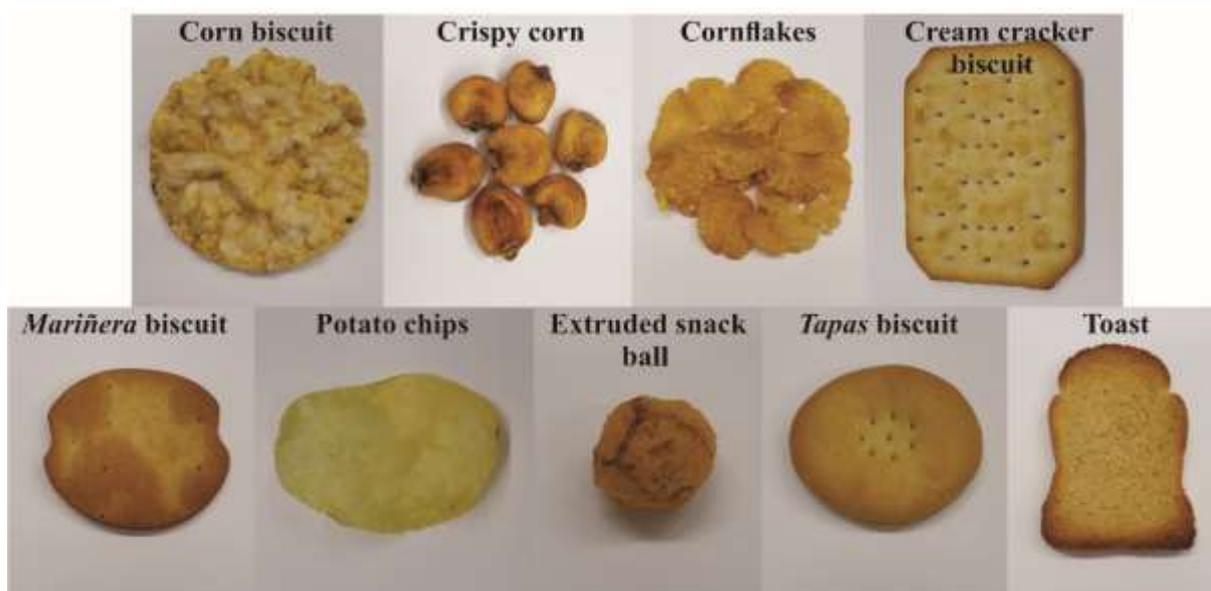
There are several studies in the literature about acoustic properties analysis in food products (Çarşamba, Duerrschmid, & Schleining, 2018; Jakubczyk, Gondek, & Tryzno, 2017). However, differences in the analysis protocols used were found, which hampers discussion of results reported in the literature. Divergences in acoustic analysis protocols are dependent on the food product evaluated, because the choice of the probe used during the analysis must be appropriate to that specific food. However, studies that propose to establish a scale of crispy products, as performed by Paula & Conti-Silva (2014) and Conti-Silva, Ichiba, Silveira, Albano, & Nicoletti (2018) for determining which settings of instrumental acoustic analysis is more adequate to correlate with sensory perception of texture, were not found. Thus, the purpose of this study is to establish test conditions for the acoustic texture analysis that will allow for convergence of data in future studies, using a wide variety of food products with different physical structures. The specific objective is to identify the best combination of settings for acoustic analysis in order to show any strong correlations with the sensory texture.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material

Twenty food products from local market (Valencia, Spain) were purchased and tested under different force and acoustic conditions (see section 2.2.) in order to define samples and analysis conditions to the study. The nine products (Fig. 1) which presented greater crispness difference intensity and better reproducibility at the preliminary tests were chosen: corn biscuit, crispy corn, cornflakes, cream cracker biscuit, *mariñera* biscuit, potato chips, extruded snack ball, *tapas* biscuit and toast.

Fig. 1. Crispy foods used in this study.



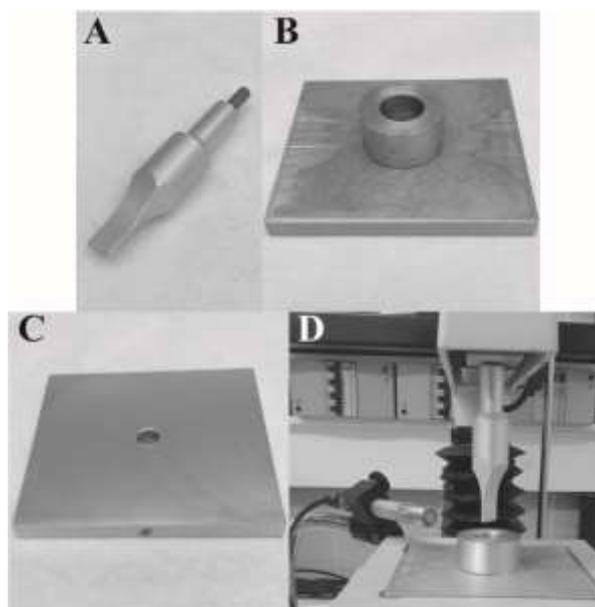
2.2. Instrumental analysis of force and acoustic properties

The compression force of crispy foods was analyzed in a TA.XTplus/30 texture analyzer (Stable Micro Systems, Godalming, UK) with a 25 kg load cell and using the Exponent 32 software. Two probes were firstly tested: stainless steel ball probe (P/0.25S; used for potato chips and cornflakes) and Volodkevich Bite Jaws probe (HDP/VB; used for hard products, like some biscuits). The Volodkevich Bite Jaws probe (Fig. 2A) was chosen because it was more appropriate to analyze all the samples tested.

Two holed bases were used, and each use was defined depending on the sample width

and thickness, in order to guarantee that the probe did not touch the platform during the analysis: the corn biscuit, cornflakes, cream cracker biscuit, *mariñera* biscuit, potato chips and toast samples were placed on the circular support insert with a support ring (Fig. 2B), while the crispy corn and extruded snack ball samples were placed on the holed plate with a 9 mm fixing hole (Fig. 2C). The test settings were: pre-test speed - 2 mm/s, test speed - 1 mm/s, post-test speed - 10 mm/s, auto trigger force - 5 g, travel distance of the probe - 7 mm. The data acquisition rate was 500 points per second (pps) and the threshold was 0.05 N.

Fig. 2. Combination of texture analyzer and acoustic envelope detector used for instrumental measurements: A. Volodkevich Bite Jaws probe (HDP/VB), B. heavy duty platform (HDP/90), C. circular support insert with a support ring (HDP/CFS), D. Brüel & Kjær microphone position.



The acoustic signals generated by the breakdown of the foods were analyzed using an Acoustic Envelope Detector - AED (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) coupled to the texture analyzer, again using the Exponent 32 software. A free-field 8-mm diameter microphone (Brüel & Kjær, Nærum, Denmark) (Fig. 2D), calibrated using the Type 4231 acoustic calibrator (94 and 114 dB sound pressure level, 1000 Hz), was positioned 4 cm distant from the sample and at an angle of 0° in relation to the base (Fig. 2D). This combination of distance and angle minimizes the influence of the ambient and mechanical noises (Castro-Prada et al., 2007; Chen et al., 2005). The acoustic setting 'gain' was set at two levels: 1 (6 dB) and 4 (24 dB), in order to verify the most efficient gain level in the measurement of the acoustic properties of the crispy foods. The AED high pass filter function (signal) was used in order to

eliminate undesirable sounds below 1.0 kHz, such as ambient and mechanical noises. Moreover, in order to neutralize the sound emitted by the texture analyzer, the corner envelope frequency used was 3.125 kHz. The data acquisition rate was 500 points per second (pps).

The force and acoustic tests were performed simultaneously in a laboratory with no special soundproofing, with a relative humidity of $25 \pm 1\%$ and a temperature of 22 ± 2 °C, in which fifteen replicates of each food were tested at the acoustic setting “gain 1”, and the other fifteen were tested at ‘gain 4’. Therefore, fifteen sets of data were collected for the acoustic properties (fifteen at each gain), while thirty sets of data were collected for the force characteristics (fifteen at gain 1 and fifteen at gain 4). The force graphs were plotted as force (N) *versus* time (s) and the data obtained from the curves generated information about force characteristics described in Table 1. The acoustic graphs were plotted as sound pressure level (dB) *versus* time (s) and two different thresholds, 0.5 dB and 2.5 dB, were applied in order to compare their effect on the linearity of the baseline and, consequently, the reduction in interference in the data. Acoustic properties were extracted from the curves, as shown in Table 1.

Table 1. Force characteristics and acoustic properties obtained from the texture analyzer for the crispy foods and sensory attributes related to the sensory analysis.

<i>Force characteristics</i>	<i>Definition</i>
Number of force peaks	Number of positive force peaks, considering threshold 0.05 N
Average of maximum force	Average of the three maximum force peak values
<i>Acoustic properties</i>	<i>Definition</i>
Number of acoustic peaks	Number of positive acoustic peaks, considering thresholds 0.5 dB and 2.5 dB
Sound pressure level	Average of the ten maximum acoustic peak values
<i>Sensory attributes</i>	<i>Definition</i>
Hardness	Force needed to bite the product with the incisor teeth
Sound intensity	Intensity of the sound made by the product at the first bite
Sound duration	Necessary chewing time for the product to stop making noise

2.3. Texture sensory profile

The texture sensory profile was performed according to Stone, Bleibaum, & Thomas (2012) with adaptations. Ten panelists were recruited from students and employees of the

Institute of Agrochemical and Food Technology (IATA), Valencia, Spain, who frequently participate in sensory analyses. The crispness attributes were defined in a collective meeting with the panelists by using a previous list of four possible texture attributes and their respective definitions. A previous list was used in order to study sensory attributes that could be effectively correlated to instrumental analysis. Three samples (crispy corn, potato chips, and extruded snack ball) were presented to the panelists in order to determine the attributes (Table 1). The 'crispness' was excluded from the previous list because the attributes 'sound intensity' and 'sound duration' were understood as similar by the panelists, and enough for evaluating the acoustic properties of the foods. Moreover, the attribute 'hardness' (Table 1) was considered in this study because force instrumental analysis of the foods was also being performed (Section 2.2).

The training stage was performed in three collective meetings and five individual sessions, when the crispy corn, cream cracker biscuit, potato chips, extruded snack ball and *tapas* biscuit samples, in combinations of three samples per session, were presented to the panelists. During the training, the sensory panel considered the cream cracker biscuit and crispy corn samples as having, respectively, the lowest and the highest intensities for all the attributes in an unstructured linear intensity scale of 100 mm in length.

After the training, the panelists evaluated the crispy corn, cream cracker biscuit, extruded snack ball, and *tapas* biscuit samples in two repetitions, and were selected according to their discriminative capacity ($p_{\text{sample}} \leq 0.30$), reproducibility capacity ($p_{\text{repetition}} > 0.05$) and capacity for consensus with the sensory panel for each attribute (Pearson's correlation coefficient ≥ 0.80 , $p \leq 0.05$). All the ten panelists were selected for the crispy products texture evaluation.

The nine crispy products were evaluated by the ten trained and selected panelists in two repetitions, in two sessions of four samples, and two sessions of five samples each, using the unstructured linear intensity scale of 100 mm in length. The analysis was carried out in individual booths, at 22 ± 2 °C, under white light. The samples were coded with three-digit random numbers, with a monadic and randomized presentation. The CompuSense Cloud software (CompuSense Inc., Guelph, Canada) was used for analyzing the data.

2.4. Statistical analyses

The results of the force characteristics ($n = 30$) were evaluated through analysis of variance, followed by the Tukey test. Results of the acoustic properties ($n = 15$) were also

evaluated through analysis of variance, followed by the Tukey test: one test comparing all the nine food products and another test comparing the combination of conditions between different gains and threshold (see Section 3.1). Results of the sensory attributes ($n = 20$), were evaluated through two-way analysis of variance, considering 'sample' and 'panelist' as factors, as well the interaction between the factors, followed by the Tukey test on the samples. The IBM SPSS Statistics for Windows, (version 20.0) software (IBM Corp., Armonk, USA) was used and all statistical tests were performed at a 0.05 significance level.

The data obtained from the instrumental and sensory evaluations were correlated using Principal Component Analysis, in which the variables were fixed in columns (variables) and the products in rows (cases). The columns were standardized before analysis. Factors were extracted from the correlation matrix and there was no factor rotation. Variables that obtained factorial charges ≥ 0.7 or ≤ -0.7 were considered for the explanation of each component. The STATISTICA version 12 software (StatSoft Inc., Tulsa, USA) was used.

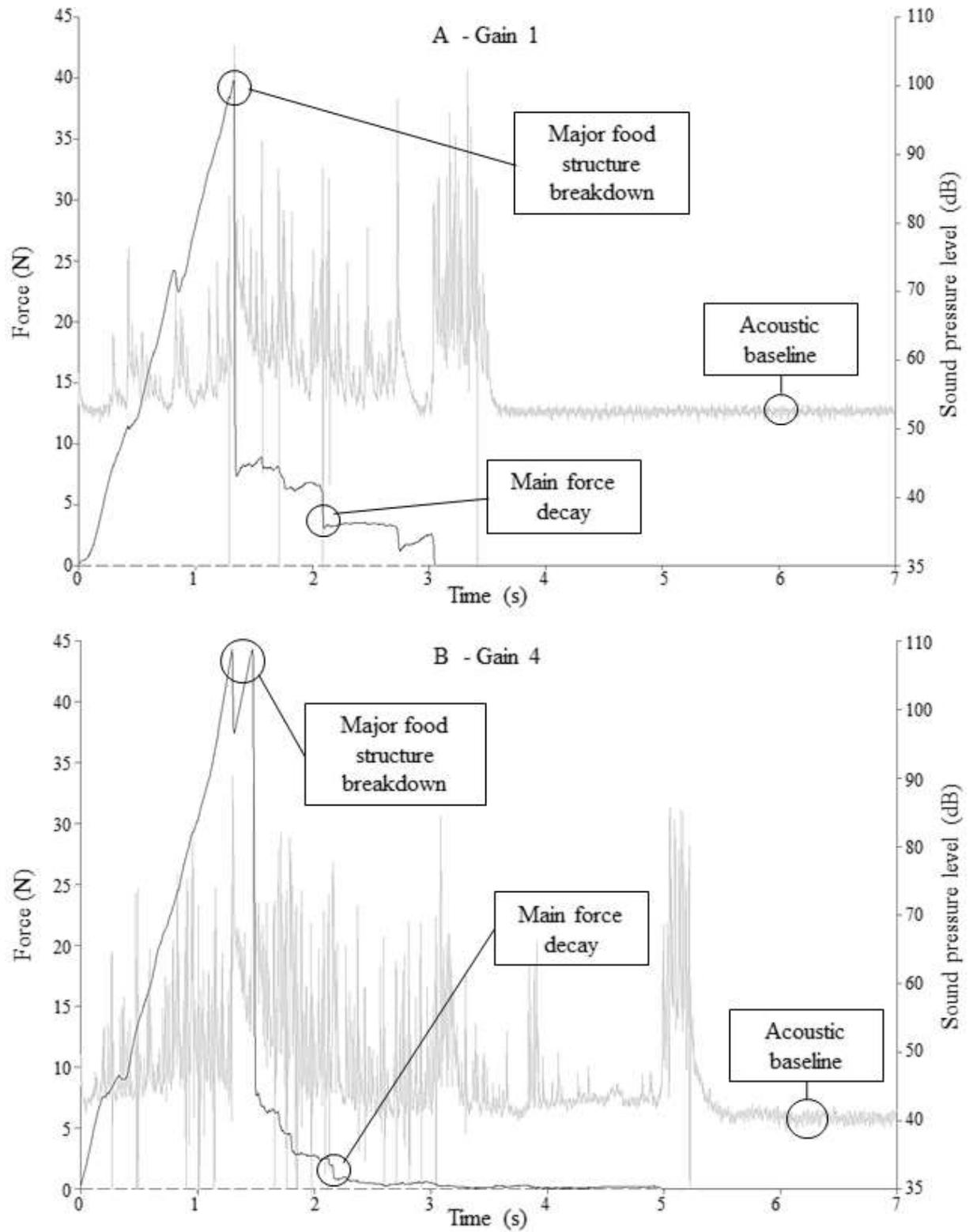
3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Force and acoustic properties

Typical graphs obtained during texture analysis, in this case for the *mariñera* biscuit, are shown in Fig. 3. Force and sound pressure level (SPL) *versus* time curves at gain 1 (Fig. 3A) and at gain 4 (Fig. 3B) are presented in order to make a comparison and identify the differences between the measurement at gain 1 and at gain 4. Both graphs show the moment when the ‘major food structure breakdown’ occurs, detected through the black line related to the force (scale on the left) and the moment when the relevant acoustic emission happens (gray line and scale on the right). Therefore, the data acquisition of force and acoustic peaks came from the region located between the beginning of the analysis (time 0 s) and the time at the end of the ‘major food structure breakdown’, i.e., at the ‘main force decay’ (Fig. 3) (Salvador, Varela, Sanz, & Fiszman, 2009). For the extruded snack ball, the total analysis time was considered for data acquisition because the probe did not totally rupture the sample.

A visual comparison of the acoustic curves shows that the change from gain 1 (detection at 6 dB, Fig. 3A) to gain 4 (detection at 24 dB, Fig. 3B) produces a greater number of sound peaks per second, that may be seen as the higher agglomeration of gray peaks in Fig. 3B. The lower acoustic baseline at around 42 dB at gain 4 indicates a higher sensitivity of the test in relation to gain 1 with a baseline around 53 dB. However, the acoustic baseline at gain 4 is less regular than at gain 1, which means that background noise is being detected during the sample analysis. This detection can be suppressed by the use of higher threshold values, such as 2.5 dB, which discard sound peaks related to the background noise. Two different thresholds, 0.5 dB and 2.5 dB, were applied in order to compare the effect of background noise on the linearity of the baseline and, consequently, on the reduction of the background noise interference on the data (see Section 2.2).

Fig. 3. Typical graph obtained during texture analysis: force in N (black line and scale on the left) and sound pressure level (SPL) in dB (gray line and scale on the right) *versus* time. Gain 1 (A) and gain 4 (B).



Instrumental tests discriminated the foods both for force and for acoustic properties, indicating that samples are different regarding these variables. The extruded snack ball showed statistically the highest number of force peaks (Table 2), which is related to the fracturability of the sample, i.e., to the breaking of the sample macrostructure (Bourne, Kenny, & Barnard, 1978). Crispy products are fracturable, as may be seen by the number of force peaks for all the samples in Table 2, but the extruded snack ball is an expanded product obtained through thermoplastic extrusion, having air vacuoles, being very fracturable (Paula & Conti-Silva, 2014) and so explaining the higher number of force peaks. However, this sample had an intermediate average maximum force, while crispy corn statistically showed the highest force. Crispy corn is fried corn grain, having a compact macrostructure, leading to a hard product (high average maximum force) but low fracturability (low number of peaks).

Table 2. Force characteristics of the crispy foods (means \pm SD; n = 30).

Food	Number of force peaks	Average of maximum force (N)
Corn biscuit	17.2 ^d \pm 6.3	15.4 ^c \pm 4.5
Crispy corn	10.9 ^e \pm 4.8	51.2 ^a \pm 16.8
Cornflakes	2.2 ^f \pm 0.9	2.1 ^e \pm 1.1
Cream cracker biscuit	28.4 ^c \pm 4.6	9.3 ^d \pm 1.4
<i>Mariñera</i> biscuit	9.6 ^e \pm 5.1	43.9 ^b \pm 7.6
Potato chips	10.1 ^e \pm 5.6	3.3 ^e \pm 1.2
Extruded snack ball	138.9 ^a \pm 7.1	16.5 ^c \pm 3.6
<i>Tapas</i> biscuit	14.2 ^{de} \pm 6.5	45.2 ^b \pm 6.8
Toast	46.3 ^b \pm 13.3	9.4 ^d \pm 1.7

Different letters in the same column indicate statistically different means by Tukey test ($p \leq 0.05$).

In relation to the acoustic properties (Table 3), the extruded snack ball statistically showed the highest number of acoustic peaks, although it had a sound pressure level as high as those for the other samples, while the crispy corn had one of the lowest number of acoustic peaks but one of the highest sound pressure levels along with the extruded snack ball. This happened because the number of acoustic peaks was statistically discriminated among almost all the samples, while the sound pressure level was less discriminated. Cornflakes statistically showed the lowest number of force peaks and one of the lowest averages of maximum force (Table 2), although they had one of the highest sound pressure levels at gain 1 (Table 3), indicating there is no relationship between force properties and sound pressure level for this

product. Moreover, the composition of the food plays an important role in the texture, since cornflakes are products with low water activity, a characteristic that results in large acoustic energy emission (Gondek & Lewicki, 2006).

The change from gain 1 to gain 4, at threshold 0.5 dB (Table 3), did not alter the number of acoustic peaks for most samples, while it enhanced the number of acoustic peaks for most samples at threshold 2.5 dB, as expected, due to the higher sensitivity of the test. These observations permit us to infer that the lower threshold negatively influenced the sensitivity of gain 4, annulling its effect. However, the sound pressure level (the ‘average of the ten maximum acoustic peak values’) (Table 1), significantly decreased for all foods from gain 1 to gain 4 at the same threshold (Table 3). This seems contradictory because, by increasing the test sensitivity (from gain 1 to gain 4), more intense peaks would be expected.

Changing the threshold from 0.5 to 2.5 dB, at the same gain, resulted, in a significantly lower number of peaks for all foods, reducing the interference of background noise on the acquired data (Table 3), which is desirable during the analysis. Therefore, although changes in the number of peaks occur, their intensity does not change because the increase in the threshold only discards sound peaks related to background noise.

Table 3. Acoustic properties of the crispy foods (means \pm SD; n = 15).

Food	Number of acoustic peaks				Sound pressure level (dB)			
	Gain 1		Gain 4		Gain 1		Gain 4	
	Threshold at 0.5 dB	Threshold at 2.5 dB	Threshold at 0.5 dB	Threshold at 2.5 dB	Threshold at 0.5 dB	Threshold at 2.5 dB	Threshold at 0.5 dB	Threshold at 2.5 dB
Corn biscuit	293 ^{cA} \pm 57	136 ^{cC} \pm 27	328 ^{bcA} \pm 43	239 ^{bcB} \pm 36	91 ^{aA} \pm 3	91 ^{aA} \pm 3	86 ^{aB} \pm 2	86 ^{aB} \pm 2
Crispy corn	133 ^{fA} \pm 29	41 ^{efC} \pm 13	155 ^{eA} \pm 40	85 ^{eB} \pm 29	89 ^{abcA} \pm 4	88 ^{abA} \pm 4	83 ^{bcB} \pm 3	81 ^{cB} \pm 3
Cornflakes	54 ^{gA} \pm 19	15 ^{fC} \pm 7	39 ^{fB} \pm 11	21 ^{fC} \pm 7	87 ^{abcA} \pm 5	87 ^{abA} \pm 5	83 ^{bcB} \pm 3	82 ^{bcB} \pm 3
Cream cracker biscuit	216 ^{deB} \pm 37	86 ^{dC} \pm 13	276 ^{cdA} \pm 36	212 ^{cdB} \pm 31	81 ^{dA} \pm 3	81 ^{cA} \pm 3	78 ^{dB} \pm 2	78 ^{dB} \pm 2
<i>Mariñera</i> biscuit	179 ^{efA} \pm 48	65 ^{deB} \pm 25	148 ^{eA} \pm 28	91 ^{eB} \pm 22	90 ^{abA} \pm 3	90 ^{aA} \pm 3	84 ^{abcB} \pm 2	84 ^{abcB} \pm 2
Potato chips	183 ^{efA} \pm 41	59 ^{deB} \pm 23	162 ^{eA} \pm 57	96 ^{eB} \pm 43	86 ^{cA} \pm 4	86 ^{bA} \pm 4	82 ^{cB} \pm 3	82 ^{bcB} \pm 3
Extruded snack ball	661 ^{aC} \pm 28	342 ^{aD} \pm 23	973 ^{aA} \pm 14	707 ^{aB} \pm 36	87 ^{bcA} \pm 2	87 ^{abA} \pm 2	84 ^{abB} \pm 1	84 ^{abB} \pm 1
<i>Tapas</i> biscuit	258 ^{cdA} \pm 56	60 ^{deC} \pm 17	270 ^{dA} \pm 37	175 ^{dB} \pm 37	77 ^{eA} \pm 3	77 ^{dA} \pm 3	76 ^{eA} \pm 2	76 ^{dA} \pm 2
Toast	369 ^{bA} \pm 81	226 ^{bB} \pm 52	358 ^{bA} \pm 94	261 ^{bB} \pm 73	88 ^{abcA} \pm 2	88 ^{abA} \pm 2	85 ^{abB} \pm 1	85 ^{aB} \pm 1

Different lowercase letters in the same column indicate statistically different means by Tukey test ($p \leq 0.05$).

Different uppercase letters in the same row, for the same acoustic property, indicate statistically different means by Tukey test ($p \leq 0.05$).

3.2. Sensory texture

The sensory panel correctly used the extension of the unstructured scale, since values for all the attributes were found from 0 to 10 (Table 4). This indicates that the cream cracker biscuit and crispy corn samples, respectively considered as having the lowest and the highest intensities for all the attributes, were well defined and used by the sensory panel. Indeed, the sensory panel was capable of statistically discriminating the samples for the three texture attributes (Table 4).

The crispy corn presented the highest hardness, sound intensity and sound duration, while cream cracker biscuit presented one of the lowest intensities for these characteristics. This was expected, since the panelists were told to consider the cream cracker biscuit and the crispy corn as the extremes of minimum and maximum respectively for all the attributes in an unstructured linear intensity scale of 100 mm in length (see Section 2.3). *Mariñera* biscuit and toast also showed high intensity of the texture characteristics. The cornflakes and potato chips, although having presented one of the lowest intensities of hardness, along with the cream cracker biscuit, had intensities of sound and sound duration that were higher than the cream cracker biscuit, which corroborates the instrumental results, in which samples do not have to be very hard to be crispy and to emit sound.

Table 4. Sensory attributes of the crispy foods (means \pm SD; n = 20).

Food	Hardness	Sound intensity	Sound duration
Corn biscuit	2.4 ^e \pm 2.0	2.7 ^e \pm 2.1	4.6 ^c \pm 2.2
Crispy corn	9.9 ^a \pm 0.2	9.8 ^a \pm 0.2	9.7 ^a \pm 0.5
Cornflakes	0.8 ^f \pm 0.7	2.2 ^e \pm 1.3	1.9 ^{ef} \pm 1.1
Cream cracker biscuit	0.4 ^f \pm 0.4	0.5 ^f \pm 0.4	0.8 ^f \pm 0.5
<i>Mariñera</i> biscuit	6.9 ^b \pm 1.8	5.6 ^{bc} \pm 2.1	6.7 ^b \pm 1.7
Potato chips	1.1 ^f \pm 1.0	4.2 ^d \pm 1.7	3.5 ^{cd} \pm 1.0
Extruded snack ball	2.5 ^e \pm 1.0	4.5 ^{cd} \pm 1.0	2.5 ^{de} \pm 1.0
<i>Tapas</i> biscuit	3.8 ^d \pm 1.4	2.5 ^e \pm 1.1	3.4 ^{cd} \pm 1.3
Toast	5.2 ^c \pm 2.1	6.3 ^b \pm 2.1	6.5 ^b \pm 1.4

Different letters in the same column indicate statistically different means by Tukey test ($p \leq 0.05$).

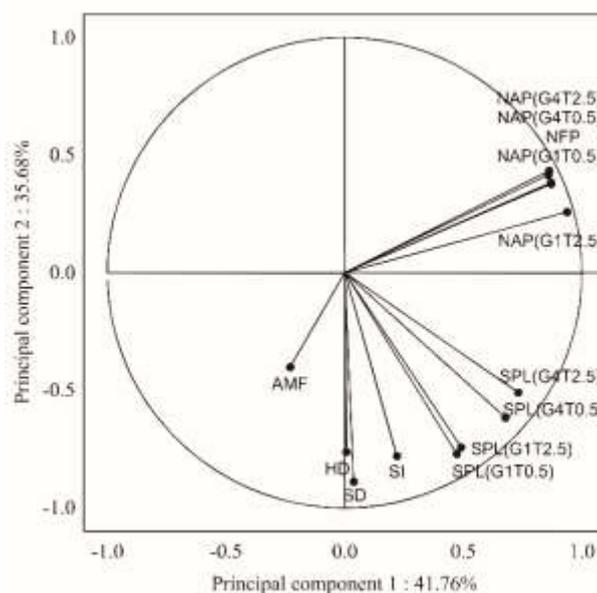
Similar results were found by Jakubczyk et al. (2017), since a co-extruded snack with milk cream filling presented higher values of sound loudness (which corresponds to sound

intensity in this study) and duration of sound but low hardness, also indicating that the sample was crispy but not hard. Moreover, pea-protein-fortified extruded rice snacks with higher amounts of pea protein were described by trained panelists as harder samples but less crispy, while snacks with lower quantities of pea protein were described as crispier and less hard (Philipp et al., 2017). Both studies corroborate our results, showing that there is not a direct relationship between hardness and crispiness for the same product, i.e. a food product can be crispy without being hard.

3.3. Correlation between instrumental and sensory analyses

A correlation analysis was used to determine the combination setting analysis that resulted in the most similarity to the sensory texture characteristics perceived by the panelists. Principal component 1 explained 41.8% of the data variation, while component 2 explained 35.7% (Fig. 4), totaling 77.5% of the total data variation.

Fig. 4. Principal component analysis on sensory and instrumental texture of the crispy foods.



Legend: Force characteristics: NFP - number of force peaks, AMF - average maximum force, NAP - number of acoustic peaks. Acoustic properties: SPL - sound pressure level, G1 - gain 1, G4 - gain 4, T0.5 - threshold 0.5, T2.5 - threshold 2.5. Sensory attributes: HD - hardness, SI - sound intensity, SD - sound duration.

Principal component 1 was explained by variables that are positively correlated, namely the acoustic properties ‘number of acoustic peaks’ under all adopted conditions (different gains and thresholds) and the sound pressure level at gain 4 and threshold 2.5, as well

as the ‘number of force peaks’ force variable (Fig. 4). The strong positive correlations between the number of force peaks and the number of acoustic peaks indicate that the rupture of the product generated directly proportional numbers of force peaks and acoustic peaks, validating that the data from AED for sound wave detection was acquired at the same instant as the product rupture. Indeed, the energy release at the product breakdown moment is dissipated as sound energy and occurs in the vicinity of the major rupture point of the product (Chen et al., 2005; Taniwaki & Kohyama, 2012). Therefore, the numbers of acoustic and force peaks correlate positively due to their energy release/dissipation relationship at the moment of product fracture. Çarşanba, Duerrschmid, and Schleining (2018), evaluating wafer products from nine different commercial brands through two probes (three-point bending and craft knife adapter) with simultaneous measurement of acoustic properties through AED, also found strong positive correlations between the number of force and acoustic peaks for both probes.

Principal component 2 (Fig. 4) was explained by the following positively correlated variables: all the sensory attributes (hardness, sound intensity and sound duration), along with the acoustic variable sound pressure level obtained at gain 1 with both thresholds (0.5 and 2.5). Therefore, acoustic analysis at gain 1, independent of the threshold, must be used to obtain acoustic results that represent the sensory attributes of acoustic texture. The high correlation between the sensory characteristics of sound and the sound pressure level at gain 1 may have been caused by the compatibility between human ability to perceive the sound intensity and duration and the test sensitivity at this acoustic setting. Thus, not only the sensory characteristics related to sound (sound intensity and sound duration) are correlated with the sound pressure level, but also hardness, which indicates that food hardness may be a crispness indicator. Strong positive correlations between sensory attributes and number of force peaks or number of acoustic peaks were also found (Saeleaw, Dürschmid, & Schleining, 2012; Varela, Chen, Fiszman, & Povey, 2006). However, these are studies focused on only one type of product (rye expanded snack and roasted almonds, respectively), while our study considers a wide variety of food products, with different physical structures.

4. CONCLUSION

Instrumental analyses of force and acoustic detection, as well as the sensory texture analysis, effectively discriminated the samples used in this study. Instrumental and sensory results showed that samples with both high and low hardness produce sound and are crispy. The gain changing from 1 to 4 (enhancing the test sensitivity) increased the number of acoustic peaks at threshold 2.5, and reduced the sound pressure level in general. The threshold changing from 0.5 to 2.5 (reducing the interference of background noise on the data acquisition) reduced the number of acoustic peaks. The correlation between instrumental and sensory analysis allowed us to define gain 1 as the most adequate acoustic condition for obtaining the acoustic parameters of products with different crispness intensity. Moreover, threshold 2.5 is the most appropriate to eliminate small sound peaks from the background noise and guarantee an analysis more accurate.

Acknowledgements

The authors are grateful for the financial support grant #2014/24822-2 and #2017/06713-0 from the São Paulo Research Foundation (FAPESP).

5. REFERENCES

- Bourne, M. C., Kenny, J. F., & Barnard, J. (1978). Computer-assisted readout of data from texture profile analysis curves. *Journal of Texture Studies*, 9(4), 481–494.
- Bourne, M. C., & Szczesniak, A. S. (2003). Texture. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2nd ed., pp. 5167–5174). Academic Press.
- Çarşanba, E., Duerrschmid, K., & Schleining, G. (2018). Assessment of acoustic-mechanical measurements for crispness of wafer products. *Journal of Food Engineering*, 229, 93–101.
- Castro-Prada, E. M., Luyten, H., Lichtendonk, W., Hamer, R. J., & Van Vliet, T. (2007). An improved instrumental characterization of mechanical and acoustic properties of crispy cellular solid food. *Journal of Texture Studies*, 38(6), 698–724.
- Chen, J., Karlsson, C., & Povey, M. (2005). Acoustic envelope detector for crispness assessment of biscuits. *Journal of Texture Studies*, 36, 139–156.
- Chen, L., & Opara, U. L. (2013). Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods - A review. *Journal of Food Engineering*, 119(3), 497–507.
- Chick, B. B. (1998). 6 Research instruments and systems. In R. N. Thurston & A. D. Pierce (Eds.), *Reference for Modern Instrumentation, Techniques, and Technology: Ultrasonic Instruments and Devices II* (Vol. 24, pp. 347–361). Physical acoustics.
- Conti-Silva A. C., Ichiba, A. K. T., Silveira, A. L., Albano, K. M., & Nicoletti, V. R. (2018). Viscosity of liquid and semisolid materials: Establishing correlations between instrumental analyses and sensory characteristics. *Journal of Texture Studies*, 49, 569–577.
- Duizer, L. (2001). A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. *Trends in Food Science and Technology*, 12(1), 17–24.
- Gondek, E., & Lewicki, P. P. (2006). Antiplasticization of cereal-based products by water. Part II: Breakfast cereals. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 644–652.
- Jakubczyk, E., Gondek, E., & Tryzno, E. (2017). Application of novel acoustic measurement techniques for texture analysis of co-extruded snacks. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 582–589.
- Malchaire, J. (2001). Sound Measuring Instruments. In *Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control* (pp. 125–140). WHO.
- Mosca, A. C., & Chen, J. (2017). Food-saliva interactions: Mechanisms and implications.

Trends in Food Science and Technology, 66, 125–134.

- Paula, A. M., & Conti-Silva, A. C. (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 121(1), 9–14.
- Philipp, C., Buckow, R., Silcock, P., & Oey, I. (2017). Instrumental and sensory properties of pea protein-fortified extruded rice snacks. *Food Research International*, 102, 658–665.
- Saeleaw, M., Dürschmid, K., & Schleining, G. (2012). The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering*, 110(4), 532–540.
- Saeleaw, M., & Schleining, G. (2011). A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques. *Journal of Food Engineering*, 105(3), 387–399.
- Salvador, A., Varela, P., Sanz, T., & Fiszman, S. M. (2009). Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 42(3), 763–767.
- Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2012). Descriptive analysis. In H. Stone, R. N. Bleibaum, & H. A. Thomas (Eds.), *Sensory Evaluation Practices* (4th ed., pp. 233–289). Cambridge: Academic Press.
- Szczesniak, A. S. (1987). Correlating sensory with instrumental texture measurements —an overview of recent developments. *Journal of Texture Studies*, 18, 1–15.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215–225.
- Taniwaki, M., & Kohyama, K. (2012). Mechanical and acoustic evaluation of potato chip crispness using a versatile texture analyzer. *Journal of Food Engineering*, 112(4), 268–273.
- Varela, P., Chen, J., Fiszman, S., & Povey, M. J. W. (2006). Crispness assessment of roasted almonds by an integrated approach to texture description : texture , acoustics , sensory and structure. *Journal of Chemometrics*, 20, 311–320.

CONCLUSÃO GERAL

As propriedades de força e acústicas mensuradas pelos diferentes tipos de aplicação de força/*probes* foram discriminadas dentre os cereais expandidos e em formato de flocos. A adição de leite reduziu a intensidade das propriedades de força e acústicas, sendo que os flocos perderam sua capacidade de emissão de som.

O perfil sensorial de textura dos cereais matinais expandidos foi descrito por fraturabilidade, dureza, crocância, mastigabilidade e adesividade, e o dos cereais em formato de floco foi descrito por dureza, crocância e adesividade. A adição de leite causou perda da fraturabilidade dos cereais expandidos e alteração do perfil de textura do cereal em formato de floco F1. A elevada intensidade da dureza prejudicou a aceitação deste atributo nos cereais matinais expandidos secos, mas melhorou sua aceitação nos cereais após a adição de leite. A aceitação da dureza e da crocância dos cereais em formato de floco, secos e após adição de leite, teve relação direta com a intensidade de sua crocância, enquanto o aumento da adesividade dos flocos após adição de leite prejudicou a aceitação da adesividade destes produtos.

Para os cereais matinais expandidos secos, os *probes blade set* (guilhotina e corte “V”) e *Ottawa* (com ambas as bases) se destacaram em correlacionar positivamente as propriedades de força com as intensidades de dureza e mastigabilidade. Após a adição de leite, apenas o *probe blade set* com guilhotina se correlacionou positivamente e negativamente às intensidades de mastigabilidade e adesividade, respectivamente.

Para os cereais matinais em formato de flocos, houve maior diversidade dentre os *probes* para se correlacionar com as características sensoriais, pois a intensidade da adesividade dos produtos secos se correlacionou com apenas uma característica de cada um dos *probes blade set* com guilhotina, *Ottawa 3 mm* e *Kramer*. Já após a adição de leite, os *probes blade set* com guilhotina e *Ottawa 17 blades* se correlacionaram com a intensidade e aceitação de alguns atributos sensoriais.

Em relação às condições de análise a serem utilizadas para correlacionar as propriedades acústicas instrumentais às sensoriais, definiu-se ‘*gain 1*’ como a condição acústica mais adequada para obtenção dos parâmetros acústicos de produtos com diferentes intensidades de crocância, sendo que o *threshold* de 2,5 mostrou-se o mais adequado para eliminar pequenos picos sonoros do ruído de fundo e garantir uma análise mais precisa. De fato, essas condições, quando utilizadas nas análises instrumentais dos cereais matinais expandidos e em formato de

floco, permitiram obter correlações fortes entre as características acústicas instrumentais e sensoriais.

Os resultados obtidos no presente estudo possuem grande importância para a geração de informações para a literatura acadêmica no tocante à escolha de *probes* de acordo com o tipo de cereal matinal e de força/teste que se deseja aplicar, e à metodologia de detecção acústica desenvolvida, a qual abrange produtos com variadas intensidades de crocância. Isso permite a convergência na utilização dos testes instrumentais, facilitando a discussão dos dados. Ainda, as correlações encontradas também trazem benefícios às indústrias de alimentos, as quais podem economizar tempo e reduzir custos com análises sensoriais, garantindo a confiabilidade de seus resultados.

APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/2012)

Você está sendo convidado a participar como voluntário do projeto de pesquisa “*Correlação entre análise sensorial e instrumental de textura de cereais matinais laminados e expandidos*” sob responsabilidade da pesquisadora Liara Silva Dias. O estudo será realizado com amostras de *cereais matinais* para avaliação de suas características sensoriais. Os riscos da pesquisa à sua saúde são mínimos, pois os produtos a serem experimentados são de consumo comum e de marcas comerciais, além de serem manipulados utilizando-se as Boas Práticas de Manipulação/Fabricação. 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 (UNAMOS), 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, coloque sua assinatura a seguir e rubriche cada página deste termo.

Nome: _____ R.G. _____
 Endereço: _____ Fone: _____
 Email _____
 São José do Rio Preto, _____ de _____ de 201__

 Usuário ou responsável legal

 Pesquisador responsável

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

Nome: Liara Silva Dias	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 2545 / 3221 2384	

APÊNDICE B - SELEÇÃO DO PAINEL SENSORIAL DE AVALIAÇÃO DOS CEREAIS MATINAIS EXPANDIDOS

As Tabelas AP.B.1 e AP.B.2 apresentam, respectivamente, os resultados da ANOVA para cada avaliador, e os coeficientes de correlação de Pearson entre cada avaliador e o painel sensorial, da etapa de seleção para avaliação dos cereais matinais expandidos secos.

Por meio da análise combinada entre as tabelas AP.B.1 e AP.B.2, verifica-se que os avaliadores a8, a9 e a11 não apresentaram repetibilidade para um dos atributos, sendo este, respectivamente, dureza, mastigabilidade e fraturabilidade, e o avaliador a10 não apresentou repetibilidade para crocância e fraturabilidade (Tabela AP.B.1). Houve consenso para todos os atributos avaliados, exceto para a adesividade, ressaltando-se que os avaliadores a1, a3, a12 e a14 não apresentaram consenso com o painel sensorial para a fraturabilidade, e não foram consensuais também para a adesividade (Tabela AP.B.2). Dessa forma, os avaliadores a1, a3, a10, a12 e a14 foram dispensados por não terem apresentado repetibilidade ou consenso com o painel por duas vezes, e o painel de avaliação foi composto por nove avaliadores.

Tabela AP.B.1. Valores de $p_{amostra}$ e $p_{repetição}$ (entre parênteses) para cada avaliador (a_n) em cada atributo da textura dos cereais matinais expandidos secos julgado no teste de seleção do painel sensorial.

Avaliador	Atributo					D	R	Total
	Fraturabilidade	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade			
a1	< 0,0001 (0,239)	< 0,0001 (0,734)	< 0,0001 (0,206)	< 0,0001 (0,982)	0,006 (0,778)	0	0	0
a2	< 0,0001 (0,359)	< 0,0001 (0,788)	< 0,0001 (0,631)	< 0,0001 (0,625)	< 0,0001 (0,425)	0	0	0
a3	0,033 (0,284)	< 0,0001 (0,078)	< 0,0001 (0,701)	< 0,0001 (0,084)	0,004 (0,056)	0	0	0
a4	0,001 (0,966)	< 0,0001 (0,416)	< 0,0001 (0,372)	< 0,0001 (0,530)	0,002 (0,326)	0	0	0
a5	0,001 (0,475)	< 0,0001 (0,179)	< 0,0001 (0,116)	< 0,0001 (0,172)	0,001 (0,135)	0	0	0
a6	< 0,0001 (0,776)	< 0,0001 (0,339)	< 0,0001 (0,889)	< 0,0001 (0,574)	< 0,0001 (0,248)	0	0	0
a7	0,010 (0,658)	< 0,0001 (0,445)	< 0,0001 (0,343)	< 0,0001 (0,280)	0,074 (0,157)	0	0	0
a8	0,001 (0,881)	< 0,0001 (0,026)	< 0,0001 (0,143)	< 0,0001 (0,155)	0,163 (0,380)	0	1	1
a9	0,008 (0,420)	< 0,0001 (0,137)	< 0,0001 (0,132)	< 0,0001 (0,001)	< 0,0001 (0,744)	0	1	1
a10	< 0,0001 (0,751)	< 0,0001 (0,449)	< 0,0001 (0,048)	< 0,0001 (0,001)	< 0,0001 (0,800)	0	2	2
a11	< 0,0001 (0,021)	< 0,0001 (0,991)	< 0,0001 (0,957)	< 0,0001 (0,875)	< 0,0001 (0,804)	0	1	1
a12	0,007 (0,279)	0,001 (0,308)	< 0,0001 (0,474)	< 0,0001 (0,774)	0,013 (0,427)	0	0	0
a13	0,004 (0,427)	< 0,0001 (0,836)	< 0,0001 (0,212)	< 0,0001 (0,324)	0,057 (0,096)	0	0	0
a14	0,030 (0,159)	< 0,0001 (0,868)	< 0,0001 (0,469)	< 0,0001 (0,227)	0,001 (0,827)	0	0	0

D = número de vezes em que o avaliador não discriminou as amostras no nível de significância desejado ($p \leq 0,30$).

R = número de vezes em que o avaliador não apresentou repetibilidade no nível de significância desejado ($p > 0,05$).

Tabela AP.B.2. Coeficientes de correlação de Pearson entre a nota média de cada avaliador e a nota média do painel sensorial, por atributo, para os cereais matinais expandidos secos.

Avaliador	Atributo					FC
	Fraturabilidade	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade	
a1	0,620**	0,914**	0,939**	0,944**	0,699**	2
a2	0,981**	0,971**	0,966**	0,991**	0,930**	0
a3	0,765**	0,900**	0,970**	0,963**	0,788**	2
a4	0,894**	0,968**	0,974**	0,912**	0,760**	1
a5	0,932**	0,965**	0,973**	0,962**	0,836**	0
a6	0,971**	0,983**	0,992**	0,984**	0,858**	0
a7	0,834**	0,893**	0,921**	0,960**	0,546*	1
a8	0,923**	0,929**	0,952**	0,967**	0,518*	1
a9	0,833**	0,961**	0,966**	0,921**	0,892**	0
a10	0,947**	0,982**	0,994**	0,978**	0,775**	1
a11	0,978**	0,982**	0,984**	0,981**	0,925**	0
a12	0,680**	0,884**	0,921**	0,923**	0,728**	2
a13	0,829**	0,887**	0,921**	0,909**	0,581*	1
a14	0,556*	0,950**	0,941**	0,971**	0,590**	2

* Significativo ($p \leq 0,05$).

** Significativo ($p \leq 0,01$).

FC = número de vezes que o avaliador não apresentou correlação com o painel sensorial acima do coeficiente mínimo desejado ($r \geq 0,80$).

As Tabelas AP.B.3 e AP.B.4 apresentam, respectivamente, os resultados da ANOVA para cada avaliador, e os coeficientes de correlação de Pearson entre cada avaliador e o painel sensorial, da etapa de seleção para avaliação dos cereais matinais expandidos após adição de leite.

Por meio da análise combinada entre as tabelas AP.B.3 e AP.B.4, verifica-se que os avaliadores a2, a3 e a12 não apresentaram repetibilidade para a dureza, e o avaliador a10 não apresentou repetibilidade para dureza e mastigabilidade (Tabela AP.B.3). Houve consenso entre os avaliadores para todos os atributos avaliados, entretanto, os avaliadores a12 e a13 analisaram a adesividade dos cereais de forma diferente à do painel, e o avaliador a3 não foi consensual com o painel para dureza, mastigabilidade e adesividade (Tabela AP.B.4). Os avaliadores a3 e a10 foram dispensados por terem apresentado problemas em repetir resultados ou não ser consensual com o painel por duas ou mais vezes. No intuito de que as amostras de cereal matinal expandido (com ou sem leite) fossem analisadas pelo mesmo número de avaliadores, os

avaliadores a1, a12 e a14, que já haviam sido dispensados do painel dos cereais expandidos secos, também foram dispensados nesta etapa. Isto posto, o painel sensorial de avaliação dos cereais matinais expandidos após adição de leite foi composto por nove avaliadores.

Tabela AP.B.3. Valores de $p_{amostra}$ e $p_{repetição}$ (entre parênteses) para cada avaliador (a_n) em cada atributo da textura dos cereais matinais expandidos após adição de leite julgado no teste de seleção do painel sensorial.

Avaliador	Atributo				D	R	Total
	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade			
a1	< 0,0001 (0,084)	< 0,0001 (0,891)	< 0,0001 (0,340)	< 0,0001 (0,716)	0	0	0
a2	< 0,0001 (0,025)	< 0,0001 (0,292)	< 0,0001 (0,534)	< 0,0001 (0,327)	0	1	1
a3	< 0,0001 (0,028)	< 0,0001 (0,240)	0,182 (0,313)	0,002 (0,997)	0	1	1
a4	< 0,0001 (0,812)	< 0,0001 (0,696)	< 0,0001 (0,152)	< 0,0001 (0,205)	0	0	0
a5	< 0,0001 (0,058)	< 0,0001 (0,416)	< 0,0001 (0,125)	< 0,0001 (0,814)	0	0	0
a6	< 0,0001 (0,979)	< 0,0001 (0,739)	< 0,0001 (0,539)	< 0,0001 (0,350)	0	0	0
a7	< 0,0001 (0,353)	< 0,0001 (0,428)	< 0,0001 (0,429)	< 0,0001 (0,086)	0	0	0
a8	< 0,0001 (0,398)	< 0,0001 (0,762)	< 0,0001 (0,912)	< 0,0001 (0,059)	0	0	0
a9	< 0,0001 (0,132)	< 0,0001 (0,073)	< 0,0001 (0,309)	< 0,0001 (0,681)	0	0	0
a10	< 0,0001 (0,022)	< 0,0001 (0,145)	< 0,0001 (0,040)	< 0,0001 (0,512)	0	2	2
a11	< 0,0001 (0,297)	< 0,0001 (0,129)	< 0,0001 (0,364)	< 0,0001 (0,492)	0	0	0
a12	< 0,0001 (0,003)	< 0,0001 (0,061)	< 0,0001 (0,263)	0,009 (0,834)	0	1	1
a13	< 0,0001 (0,634)	< 0,0001 (0,437)	< 0,0001 (0,274)	0,002 (0,118)	0	0	0
a14	< 0,0001 (0,274)	< 0,0001 (0,687)	< 0,0001 (0,289)	< 0,0001 (0,386)	0	0	0

D = número de vezes em que o avaliador não discriminou as amostras no nível de significância desejado ($p \leq 0,30$).

R = número de vezes em que o avaliador não apresentou repetibilidade no nível de significância desejado ($p > 0,05$).

Tabela AP.B.4. Coeficientes de correlação de Pearson entre a nota média de cada avaliador e a nota média do painel sensorial, por atributo, para os cereais matinais expandidos após adição de leite.

Avaliador	Atributo				FC
	Dureza	Crocância	Mastigabilidade	Adesividade	
a1	0,880**	0,947**	0,955**	0,974**	0
a2	0,917**	0,935**	0,948**	0,870**	0
a3	0,707**	0,867**	0,515*	0,691**	3
a4	0,945**	0,927**	0,941**	0,980**	0
a5	0,969**	0,969**	0,940**	0,938**	0
a6	0,969**	0,970**	0,966**	0,956**	0
a7	0,930**	0,955**	0,905**	0,976**	0
a8	0,877**	0,921**	0,938**	0,963**	0
a9	0,923**	0,922**	0,961**	0,950**	0
a10	0,890**	0,890**	0,931**	0,957**	0
a11	0,964**	0,963**	0,982**	0,979**	0
a12	0,819**	0,978**	0,954**	0,327	1
a13	0,983**	0,941**	0,986**	0,783**	1
a14	0,840**	0,862**	0,948**	0,985**	0

* Significativo ($p \leq 0,05$).

** Significativo ($p \leq 0,01$).

FC = número de vezes que o avaliador não apresentou correlação com o painel sensorial acima do coeficiente mínimo desejado ($r \geq 0,80$).

APÊNDICE C - SELEÇÃO DO PAINEL SENSORIAL DE AVALIAÇÃO DOS CEREAIS MATINAIS EM FORMATO DE FLOCO

As Tabelas AP.C.1 e AP.C.2 apresentam, respectivamente, os resultados da ANOVA para cada avaliador, e os coeficientes de correlação de Pearson entre cada avaliador e o painel sensorial, da etapa de seleção para avaliação dos cereais matinais em formato de floco secos.

Por meio da análise combinada entre as tabelas AP.C.1 e AP.C.2, verifica-se que os avaliadores a3, a9 e a10 não apresentaram repetibilidade de julgamento para um dos atributos, sendo ele dureza, adesividade e crocância, respectivamente (Tabela AP.C.1). O avaliador a11 não apresentou capacidade de discriminação entre as amostras para a dureza. Não houve consenso entre o painel sensorial para a dureza (Tabela AP.C.2). Os avaliadores a1 e a8, os quais não apresentaram consenso para a dureza, também não foram consensuais para crocância e adesividade, respectivamente. O avaliador a11 não apresentou consenso para dureza e crocância, e o avaliador a10 analisou todos os atributos de textura de forma diferente ao painel sensorial. Desse modo, os avaliadores a1, a3, a8, a10 e a11 foram dispensados e o painel sensorial de avaliação dos cereais matinais em formato de floco secos foi composto por sete avaliadores.

Tabela AP.C.1. Valores de $p_{amostra}$ e $p_{repetição}$ (entre parênteses) para cada avaliador (a_n) em cada atributo da textura dos cereais matinais em formato de floco secos julgado no teste de seleção do painel sensorial.

Avaliador	Atributo			D	R	Total
	Dureza	Crocância	Adesividade			
a1	0,002 (0,205)	0,036 (0,702)	< 0,0001 (0,054)	0	0	0
a2	0,029 (0,768)	< 0,0001 (0,656)	< 0,0001 (0,287)	0	0	0
a3	0,354 (0,563)	< 0,0001 (0,638)	0,001 (0,431)	1	0	1
a4	0,002 (0,996)	< 0,0001 (0,299)	< 0,0001 (0,762)	0	0	0
a5	0,006 (0,633)	< 0,0001 (0,542)	< 0,0001 (0,442)	0	0	0
a6	0,002 (0,421)	< 0,0001 (0,553)	0,001 (0,806)	0	0	0
a7	< 0,0001 (0,471)	< 0,0001 (0,955)	< 0,0001 (0,735)	0	0	0
a8	0,205 (0,190)	0,001 (0,508)	0,003 (0,842)	0	0	0
a9	< 0,0001 (0,423)	< 0,0001 (0,074)	< 0,0001 (0,016)	0	1	1
a10	< 0,0001 (0,871)	0,006 (0,045)	0,008 (0,195)	0	1	1
a11	0,527 (0,401)	0,006 (0,627)	0,002 (0,237)	1	0	1
a12	0,001 (0,275)	< 0,0001 (0,213)	< 0,0001 (0,489)	0	0	0

D = número de vezes em que o avaliador não discriminou as amostras no nível de significância desejado ($p \leq 0,30$).

R = número de vezes em que o avaliador não apresentou repetibilidade no nível de significância desejado ($p > 0,05$).

Tabela AP.C.2. Coeficientes de correlação de Pearson entre a nota média de cada avaliador e a nota média do painel sensorial, por atributo, para os cereais matinais em formato de floco secos.

Avaliador	Atributo			FC
	Dureza	Crocância	Adesividade	
a1	0,387	0,744**	0,857**	2
a2	0,749**	0,891**	0,975**	1
a3	0,532**	0,889**	0,832**	1
a4	0,820**	0,982**	0,979**	0
a5	0,600**	0,965**	0,960**	1
a6	0,772**	0,885**	0,880**	1
a7	0,892**	0,953**	0,971**	0
a8	0,353	0,844**	0,748**	2
a9	0,841**	0,974**	0,980**	0
a10	0,222	0,622**	0,684**	3
a11	0,571**	0,789**	0,835**	2
a12	0,730**	0,973**	0,974**	1

* Significativo ($p \leq 0,05$).

** Significativo ($p \leq 0,01$).

FC = número de vezes que o avaliador não apresentou correlação com o painel sensorial acima do coeficiente mínimo desejado ($r \geq 0,80$).

As Tabelas AP.C.3 e AP.C.4 apresentam, respectivamente, os resultados da ANOVA para cada avaliador, e os coeficientes de correlação de Pearson entre cada avaliador e o painel sensorial, da etapa de seleção para avaliação dos cereais matinais em formato de floco após adição de leite.

Por meio da análise combinada entre as tabelas AP.C.3 e AP.C.4, verifica-se que o avaliador a7 não apresentou capacidade discriminativa entre as amostras em relação à crocância, os avaliadores a8 e a12 não apresentaram repetibilidade de resultados para um dos atributos analisados, sendo ele crocância e adesividade, respectivamente (Tabela AP.C.3). O avaliador a11 não apresentou repetibilidade para dureza e crocância. Com relação ao consenso dos avaliadores com o painel sensorial (Tabela AP.C.4), os avaliadores a6 e a11 analisaram dureza e crocância de forma distinta do painel, e os avaliadores a7 e a10 não foram consensuais com o painel para todos os atributos de textura investigados. Assim, os avaliadores a6, a7, a10 e a11 foram dispensados desta etapa da análise. De maneira análoga ao realizado para a seleção de avaliadores para os cereais expandidos, o avaliador a8, previamente dispensado do painel

sensorial de avaliação dos cereais em formato de floco secos, foi também dispensado nesta etapa para que as amostras fossem analisadas pelo mesmo número de avaliadores. Por fim, o painel sensorial de avaliação dos cereais matinais em formato de floco após adição de leite foi composto por sete avaliadores.

Tabela AP.C.3. Valores de $p_{amostra}$ e $p_{repetição}$ (entre parênteses) para cada avaliador (a_n) em cada atributo da textura dos cereais matinais em formato de floco após adição de leite julgado no teste de seleção do painel sensorial.

Avaliador	Atributo			D	R	Total
	Dureza	Crocância	Adesividade			
a1	< 0,0001 (0,987)	< 0,0001 (0,270)	0,007 (0,395)	0	0	0
a2	0,001 (0,479)	< 0,0001 (0,394)	< 0,0001 (0,600)	0	0	0
a3	< 0,0001 (0,096)	0,001 (0,552)	< 0,0001 (0,084)	0	0	0
a4	0,002 (0,745)	0,007 (0,533)	0,001 (0,889)	0	0	0
a5	< 0,0001 (0,541)	< 0,0001 (0,365)	< 0,0001 (0,389)	0	0	0
a6	0,065 (0,718)	0,002 (0,792)	< 0,0001 (0,377)	0	0	0
a7	0,119 (0,707)	0,596 (0,470)	0,174 (0,944)	1	0	1
a8	< 0,0001 (0,694)	< 0,0001 (< 0,0001)	< 0,0001 (0,390)	0	1	1
a9	< 0,0001 (0,445)	< 0,0001 (0,150)	< 0,0001 (0,413)	0	0	0
a10	0,019 (0,958)	0,021 (0,196)	0,003 (0,807)	0	0	0
a11	< 0,0001 (0,016)	< 0,0001 (0,007)	0,001 (0,950)	0	2	2
a12	< 0,0001 (0,266)	< 0,0001 (0,914)	< 0,0001 (0,012)	0	1	1

D = número de vezes em que o avaliador não discriminou as amostras no nível de significância desejado ($p \leq 0,30$).

R = número de vezes em que o avaliador não apresentou repetibilidade no nível de significância desejado ($p > 0,05$).

Tabela AP.C.4. Coeficientes de correlação entre a nota média de cada avaliador e a nota média do painel sensorial, por atributo, para os cereais matinais em formato de floco após adição de leite.

Avaliador	Atributo			FC
	Dureza	Crocância	Adesividade	
a1	0,941**	0,936**	0,853**	0
a2	0,897**	0,914**	0,887**	0
a3	0,841**	0,847**	0,827**	0
a4	0,849**	0,836**	0,865**	0
a5	0,948**	0,929**	0,881**	0
a6	0,533**	0,482*	0,880**	2
a7	0,651**	0,381	0,667**	3
a8	0,921**	0,955**	0,901**	0
a9	0,966**	0,946**	0,945**	0
a10	0,566**	0,683**	0,628**	3
a11	0,753**	0,762**	0,804**	2
a12	0,955**	0,953**	0,934**	0

* Significativo ($p \leq 0,05$).

** Significativo ($p \leq 0,01$).

FC = número de vezes que o avaliador não apresentou correlação com o painel sensorial acima do coeficiente mínimo desejado ($r \geq 0,80$).

ANEXO A - PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
LETRAS E CIÊNCIAS
EXATAS/CAMPUS DE SÃO



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Correlação entre análise sensorial e instrumental de textura de cereais matinais laminados e expandidos

Pesquisador: Liara Silva Dias

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 47970415.0.0000.5466

Instituição Proponente: Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas/ Campus de São José do

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.295.746

Apresentação do Projeto:

Trata o presente do atendimento as adequações solicitadas por este CEP ao projeto intitulado "Correlação entre análise sensorial e instrumental de textura de cereais matinais laminados e expandidos" sob a responsabilidade de Liara Silva Dias, 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 determinar o perfil de textura de cereais matinais laminados e expandidos comerciais e correlacionar os resultados obtidos na análise sensorial e instrumental dos cereais.

Objetivo da Pesquisa:

Os objetivos da pesquisa são analisar instrumentalmente a textura dos cereais matinais laminados e expandidos comerciais por meio de diferentes testes e probes; avaliar por microscopia os cereais matinais comerciais; analisar o perfil de textura dos cereais matinais comerciais por meio de análise sensorial descritiva e, avaliar a aceitação sensorial pela textura dos cereais matinais comerciais, a fim de correlacionar os resultados sensoriais e instrumentais de textura.

Os cereais matinais comerciais serão adquiridos no comércio local, sendo dez cereais matinais laminados e dezessete cereais matinais expandidos, com e sem adição de açúcar na superfície, de

Endereço: CRISTOVAO COLOMBO 2265
Bairro: JARDIM NAZARETH **CEP:** 15.054-000
UF: SP **Município:** SAO JOSE DO RIO PRETO
Telefone: (17)3221-2428 **Fax:** (17)3221-2500 **E-mail:** liliane@bilce.unesp.br

**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
LETRAS E CIÊNCIAS
EXATAS/CAMPUS DE SÃO**



Continuação do Parecer: 1.295.746

diferentes formatos e marcas. Os cereais matinais laminados e expandidos comerciais serão avaliados instrumental e sensorialmente "puros" (sem a adição de leite) e adicionados de leite em temperatura ambiente de 25 °C.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

No Formulário de informações básicas do projeto na Plataforma Brasil, no item Riscos foi inserido que o projeto proposto oferece risco mínimo, visto que os cereais matinais a serem ingeridos são produtos comerciais, industrializados e oferecidos dentro do prazo de validade. No Projeto e no Formulário de informações básicas do projeto da Plataforma Brasil foram inseridos os critérios de exclusão de indivíduos para as análises sensoriais, indivíduos que apresentem patologias relacionadas aos ingredientes dos cereais matinais e aos componentes do leite, tais como doença celíaca, diabetes, intolerância a lactose e alergias alimentares.

Benefícios: a pesquisa poderá contribuir para o segmento de cereais matinais laminados e expandidos comerciais, fornecendo informações sobre o perfil sensorial e instrumental da textura destes produtos, além de estabelecer uma correlação entre os resultados obtidos para a avaliação sensorial e instrumental da textura. No Item Benefícios do Formulário de informações básicas do projeto da Plataforma Brasil e no Projeto foi inserido a informação que se pretende divulgar os resultados da pesquisa na comunidade científica, com a apresentação dos resultados em eventos técnico-científicos e submissão de artigos científicos em revistas especializadas.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa é relevante para a área de análise sensorial, pois se pretende avaliar a textura instrumental e sensorial de cereais matinais laminados e expandidos comerciais, bem como correlacionar estes resultados. A pesquisa esta bem referendada pela literatura. Há infraestrutura necessária da instituição proponente para execução do projeto. O projeto terá o custo de R\$ 2775,40 que será custeado com reserva técnica da Fapesp.

O número de indivíduos para pesquisa envolvendo seres humanos será de 250, informação que consta do Formulário de informações básicas do projeto da Plataforma Brasil, do Projeto e da Folha de rosto para pesquisa envolvendo seres humanos.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos de apresentação obrigatória foram apresentados. O TCLE é apresentado de forma adequada e contempla os itens obrigatórios. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) será entregue aos indivíduos no momento da análise sensorial, em duas vias, instantes antes da entrega das amostras, tanto nas análises descritivas, quanto nas de aceitação sensorial. Logo após

Endereço: CRISTOVAO COLOMBO 2265
Bairro: JARDIM NAZARETH **CEP:** 15.054-000
UF: SP **Município:** SAO JOSE DO RIO PRETO
Telefone: (17)3221-2428 **Fax:** (17)3221-2500 **E-mail:** liliane@ibilce.unesp.br

**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
LETRAS E CIÊNCIAS
EXATAS/CAMPUS DE SÃO**



Continuação do Parecer: 1.295.746

o preenchimento, uma via ficará com o próprio indivíduo, a outra será recolhida pelo pesquisador responsável e ficará sob a sua responsabilidade por um prazo de cinco anos.

Recomendações:

Nada a declarar.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há mais pendências.

Considerações Finais a critério do CEP:

O Comitê de Ética em Pesquisa do IBILCE, em reunião de 20 de outubro de 2015, deliberou, por unanimidade, pela aprovação do presente projeto de pesquisa. Os relatórios parciais deverão ser encaminhados semestralmente, contando a partir desta data.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_P ROJETO_564276.pdf	10/09/2015 12:18:32		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_comite_novo.pdf	10/09/2015 11:46:44	Liara Silva Dias	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto_nova.pdf	10/09/2015 11:44:30	Liara Silva Dias	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_cereais_matinais.pdf	06/08/2015 10:57:41		Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO JOSE DO RIO PRETO, 26 de Outubro de 2015

Assinado por:
Monica Abrantes Galindo de Oliveira
(Coordenador)

Endereço: CRISTOVAO COLOMBO 2265
Bairro: JARDIM NAZARETH **CEP:** 15.054-000
UF: SP **Município:** SAO JOSE DO RIO PRETO
Telefone: (17)3221-2428 **Fax:** (17)3221-2500 **E-mail:** liliane@ibilce.unesp.br