

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 26/04/2021



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
Biotecnologia, 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 Biotecnologia
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 \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	67
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	68
Tabela 7. Adesividade instrumental (N.s) (média \pm desvio-padrão, n = 10) para os cereais matinais expandidos após adição de leite	70
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	72
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	73
Tabela 10. Intensidade dos atributos de textura (média \pm desvio-padrão, n = 27) para os cereais matinais expandidos secos e após adição de leite	75
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	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. Perfil sensorial de textura dos cereais matinais	126
3.2.2. Aceitação sensorial da textura dos cereais matinais	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.

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.
- Çarşamba, 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.