

ASTRID SELENE SEPÚLVEDA BETANCOURT

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E REOLÓGICAS DE
MORTADELAS FORMULADAS PELA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DE GORDURA POR CARNE OU POR MISTURAS DE FIBRAS
SOLÚVEIS E INSOLÚVEIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S479c
2014

Sepúlveda Betancourt, Astrid Selene, 19-
Características físicas e reológicas de mortadelas
formuladas pela substituição parcial de gordura por carne ou por
misturas de fibras solúveis e insolúveis / Astrid Selene
Sepúlveda Betancourt. – Viçosa, MG, 2014.
xii, 107. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Inclui apêndices.

Orientador: Lúcio Alberto de Miranda Gomide.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.80-88.

1. Embutidos (Alimentos). 2. Mortadela. 3. Reolgia.
4. Fibras. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Tecnologia de Alimentos. Programa de Pós-graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos. II. Título.

CDD 22. ed. 664.92

ASTRID SELENE SEPÚLVEDA BETANCOURT

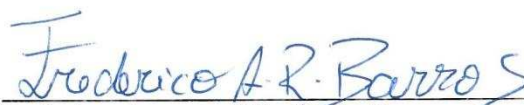
**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E REOLÓGICAS DE MORTADELAS
FORMULADAS PELA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE GORDURA POR
CARNE OU POR MISTURAS DE FIBRAS SOLÚVEIS E INSOLÚVEIS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 18 de novembro de 2014



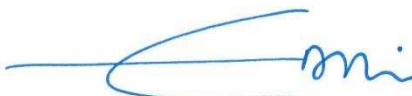
Eduardo Mendes Ramos



Frederico Augusto Ribeiro de Barros



Edimar Aparecida Filomeno Fontes
(Coorientadora)



Eduardo Basílio de Oliveira
(Coorientador)



Lúcio Alberto de Miranda Góme
(Orientador)

COLOMBIA SOLA

Ya pronto tendremos tu dulce sonrisa,
la luz de tus ojos, tus manos, tu voz,
ya pronto “mañana” será el nuevo “hoy”
contigo de nuevo llenando la vida
y las cosas de plena y filial alegría.
Ya pronto vendrá de Brasil nuestro sol.

Un año ha pasado, tan largo... tan corto...
tu cuarto, vacío y ausente te añora
pidiendo que vuelvas ya mismo ¡ahora!,
el barrio te extraña igual que nosotros,
y todos muy juntos gritamos en coro:
sin ti mi Lunita, Colombia está sola.

Regresa... queremos tenerte de nuevo...
queremos tenerte de nuevo... ¡regresa!

Rudas 23/09/2011

A mis padres Rubén Darío y Martha Lucía,
que en la distancia estuvieron conmigo,
me dieron su apoyo y me enseñaron a ser mejor mujer.
A mi Hermano Andrés, por creer en mi e insentivarme a ser feliz,
A mi Hermano Julián, por que tú saltico de felicidad me dio la fuerza.

Dedico esta tesis.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu força para continuar e esperança para crer.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), por me oferecer esta oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Às empresas Clariant do Brasil, NEWMAX e JRS, pela concessão dos insumos para confecção das mortadelas.

Ao Núcleo de Microscopia e Microanálise, pela ajuda e pelos ensinamentos.

À Marcia, do Laboratório de Desenvolvimento e Simulação de Processos, pela ajuda.

Ao meu orientador, professor Lúcio Alberto de Miranda Gomide, pelos ensinamentos e pela paciência.

À minha coorientadora, professora Edimar Aparecida Filomeno Fontes, pelo apoio e pela orientação.

Ao meu coorientador, professor Eduardo Basílio Oliveira, pelo apoio, pela confiança e pelo incentivo.

Ao Vandick, pela ajuda constante.

Às minhas amigas, Gabriela, Eliana, Laura e Naomi, pelo apoio e pela força no caminho; e à Marcília Medrado, por que me mostrou o caminho.

À minha família, que confiou em mim e estiveram do meu lado dia a dia.

Ao meu namorado, por acreditar em mim, me dar força, me ensinar que com esforço tudo é possível e por me permitir compartilhar com ele esta meta.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Produtos cárneos emulsionados: mortadela.....	4
2.2 Fibras alimentares.....	7
2.2.1 Celulose.....	11
2.2.2 Hemicelulose.....	12
2.2.3 Lignina.....	12
2.2.4 Inulina.....	13
2.3 Reologia.....	14
2.3.1 Teste de relaxamento de tensão (stress relaxation).....	15
2.3.2 Teste dinâmico oscilatório.....	17
2.3.2 Análise do Perfil de Textura (TPA).....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 Matéria-prima.....	26
3.2 Delineamento experimental.....	26
3.3 Formulações e processamento.....	26
3.2 Análises físico-químicas.....	29
3.5 Capacidade de retenção de água (CRA).....	33
3.6 Estabilidade da emulsão.....	33
3.7 Perfil de textura instrumental (TPA).....	34
3.8 Análise reológica.....	35
3.8.1 Teste de relaxamento de tensão.....	35
3.8.2 Teste dinâmico oscilatório.....	36
3.9 Análises estatísticas.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 Composição centesimal.....	38
4.2 Capacidade de retenção de água e estabilidade da emulsão.....	43
4.3 Análise do perfil de textura (TPA).....	47
4.4 Análises reológicas.....	55

4.4.1 Massa crua – Análises dinâmico-oscilatórias	55
4.4.1.1 Varredura de frequência.....	55
4.4.1.2 Varredura de temperatura	59
4.4.2 Mortadela – Análises dinâmico-oscilatórias	64
4.4.2.1 Varredura de frequência.....	64
4.4.2.2 Varredura de temperatura	69
4.4.3 Mortadela – Análises de relaxamento de tensão.....	72
4.5 Análises de contrastes entre 25% e 50% de substituição.....	75
4.6 Correlações de Pearson	75
5 CONCLUSÃO	78
6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	79
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICES	89
APÊNDICE A.....	90
APÊNDICE B	100
APÊNDICE C	101
APÊNDICE D.....	102
APÊNDICE E	103
ANEXOS	104
ANEXO A.....	105
ANEXO B.....	106

LISTA DE FIGURAS

	Página
1	Papel fisiológico das fibras no metabolismo fermentativo 9
2	Papel fisiológico das fibras no intestino 10
3	Representação estrutural da celulose 11
4	Representação estrutural da hemicelulose 12
5	Representação estrutural da lignina 13
6	Representação estrutural da inulina 14
7	Curvas de relaxamento de tensão para um sólido elástico, um líquido viscoso, um líquido viscoelástico e um sólido viscoelástico 16
8	(a) Representação esquemática de um experimento oscilatório em um sólido elástico Hookeano; (b) Representação esquemática de um experimento oscilatório em um líquido Newtoniano, em que $\tau(t)$ = tensão de cisalhamento; $\gamma(t)$ = deformação; e $\dot{\gamma}(t)$ = taxa de deformação..... 18
9	Teste oscilatório no modo de varredura de tensão..... 20
10	Teste oscilatório no modo de varredura de frequência 21
11	Curva típica de deformação obtida da análise por TPA em alimentos sólidos ou semissólidos..... 23
12	Delineamento experimental para elaboração de diferentes formulações de mortadela..... 27
13	Diagrama de fluxo para processamento de mortadela 30
14	Variação no teor de água na massa crua para as diferentes formulações de mortadelas 38
15	Variação no teor de lipídeos na massa crua para as diferentes formulações de mortadelas 39
16	Variação no teor de proteína na massa crua para as diferentes formulações de mortadelas 40
17	Variação da percentagem de água perdida de mortadelas 44

	Página
18	Varição da percentagem de gordura exsudada da massa crua de mortadelas 46
19	Varição dos parâmetros da dureza (gf) do TPA, de mortadelas 48
20	Varição dos parâmetros da coesividade do TPA de mortadelas 49
21	Varição dos parâmetros da flexibilidade (mm) do TPA de mortadelas 50
22	Varição dos parâmetros da mastigabilidade (gf·mm) do TPA de mortadelas 51
23	Varição dos parâmetros da adesividade (gf·mm) do TPA de mortadelas 52
24	Varredura de frequência da massa crua, a uma tensão de cisalhamento predefinida de 10 Pa 56
25	Varição do módulo de armazenamento da massa crua de mortadelas 60
26	Varição do módulo de perda da massa crua de mortadelas 61
27	Varredura de temperatura da massa crua, a uma tensão predefinida de 10Pa 62
28	Varredura de frequência da mortadela, numa tensão predefinida de 10Pa 65
29	Varição do módulo de armazenamento de mortadelas 68
30	Varição do módulo de perda de mortadelas 69
31	Varredura de temperatura da mortadela, numa tensão predefinida de 10Pa 70
32	Curvas de relaxamento da tensão..... 72

LISTA DE TABELAS

	Página
1	Percentual dos ingredientes utilizados no preparo da massa crua para elaboração das diferentes formulações experimentais..... 28
2	Estimativa do contraste entre o grupo de médias (F2 + F3 + F4 + F5 + F6) – (F8 + F9 + F10 + F11 + F12) e probabilidades para as características físicas, físico-químicas da massa crua de mortadelas e parâmetros de TPA e CRA de mortadelas formuladas pela substituição de 25% e 50% de toucinho por carne ou misturas de fibras solúveis e insolúveis e água..... 76
3	Correlações para os parâmetros de textura instrumental (TPA), os teores de água, lipídeos e proteína, e as relações U/P, P/L e os parâmetros reológicos estudados no teste de varredura de frequência da massa crua e das mortadelas em 10 Hz (n = 39)..... 76
4	Correlações para os teores de água, lipídeos e proteína, e as relações U/P, P/L e os parâmetros reológicos estudados no teste de varredura de frequência da massa crua e das mortadelas em 10 Hz (n = 39)..... 77

Apêndice A

1A	Resumo da análise de variância dos teores de água, lipídios e proteína das formulações-controle (FC) e com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F12) 90
2A	Resumo da análise de variância dos teores de água, lipídios e proteína das formulações com 25% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F6) 90
3A	Resumo da análise de variância dos teores de água, lipídios e proteína das formulações com 50% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F7 – F12) 90
4A	Teor (médias ± desvios-padrão) de água, lipídeos e proteínas totais da massa crua de mortadelas formuladas pela substituição de 25% ou 50% de toucinho por carne (F1 e F7, respectivamente) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 a F6 e F8 a F12, respectivamente) e sua comparação com a mortadela-controle (FC) 91
5A	Resumo da análise de variância dos teores de água perdida e gordura exsudada das formulações-controle (FC) e com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F12) 91

6A	Resumo da análise de variância dos teores de água perdida e gordura exsudada das formulações com 25% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F6)	92
7A	Resumo da análise de variância dos teores de água perdida e gordura exsudada das formulações com 50% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F7 – F12)	92
8A	Teor (médias \pm desvios-padrão) de água perdida (AP) nas mortadelas e de gordura exsudada nas massas (GEX) de emulsão cárnea formuladas pela substituição de 25% ou 50% de toucinho por carne (F1 e F7, respetivamente) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 a F6 e F8 a F12, respetivamente) e sua comparação com a mortadela-controle (FC)	93
9A	Resumo da análise de variância dos parâmetros dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade das formulações-controle (FC) e com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F12)	94
10A	Resumo da análise de variância dos parâmetros dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade das formulações com 25% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F6)	94
11A	Resumo da análise de variância dos parâmetros dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade das formulações com 50% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F7 – F12)	94
12A	Valores (médias \pm desvios-padrão) de dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade de mortadelas formuladas pela substituição de 25% ou 50% de toucinho por carne (F1 e F7, respetivamente) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 a F6 e F8 a F12, respetivamente) e sua comparação com a mortadela-controle (FC)	95
13A	Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ da massa crua de mortadelas das formulações-controle (FC) e com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F12) .	96
14A	Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ da massa crua de mortadelas das formulações com 25% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F6)	96
15A	Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ da massa crua de mortadelas das formulações com 50% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F7 – F12)	96

16A	Valores de (médias \pm desvios-padrão) G' , G'' e $\tan \delta$, a uma frequência em 10 Hz de massa crua de mortadelas formuladas pela substituição de 25% ou 50% de toucinho por carne (F1 e F7, respectivamente) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 a F6 e F8 a F12, respectivamente), e sua comparação com a massa crua da mortadela-controle (FC).....	97
17A	Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ de mortadelas, das formulações-controle (FC) e com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F12)	97
18A	Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ de mortadelas, das formulações com 25% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F6)	98
19A	Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ de mortadelas, das formulações com 50% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F7 – F12)	98
20A	Parâmetros reológicos (médias \pm desvios-padrão) G' , G'' e $\tan \delta$, da varredura de frequência em 10 Hz de mortadelas formuladas pela substituição de 25% ou 50% de toucinho por carne (F1 e F7, respectivamente) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 a F6 e F8 a F12, respectivamente) e sua comparação com a mortadela-controle (FC)	99

Apêndice D

1D	Regressões linear e quadrática, em função da fibra insolúvel das formulações com 25% e 50% de substituição de toucinho.....	102
----	---	-----

Apêndice E

1E	Quantidades (gramas) dos ingredientes utilizados no preparo da massa crua para elaboração das diferentes formulações experimentais, com base em 6 k	103
----	---	-----

RESUMO

SEPÚLVEDA BETANCOURT, Astrid Selene, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2014. **Características físicas e reológicas de mortadelas formuladas pela substituição parcial de gordura por carne ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis.** Orientador: Lúcio Alberto de Miranda Gomide. Coorientadores: Eduardo Basílio de Oliveira e Edimar Aparecida Filomeno Fontes.

Para desenvolver mortadelas com teor reduzido de gordura e adicionadas de fibras alimentares, estudou-se o efeito da substituição de 25% e 50% de toucinho por carne ou por diferentes misturas (4% e 0%, 3% e 1%, 2% e 2%, 1% e 3%, ou 0% e 4%) de fibras solúveis (FS) e insolúveis (FI), respectivamente; e água em mortadelas sobre as características físico-químicas das mortadelas. Além da formulação-controle (FC – sem substituição de toucinho e sem adição de fibras alimentares), foram elaboradas seis formulações com substituição de 25% de toucinho por carne (F1) ou por misturas de fibras (F2, F3, F4, F5 e F6) e seis formulações com substituição de 50% de toucinho por carne (F7) ou misturas de fibras (F8, F9, F10, F11 e F12). Foram avaliadas as características químicas (composição centesimal) e físicas (análise de perfil de textura, estabilidade da emulsão, capacidade de retenção de água e propriedades reológicas). Enquanto as formulações com substituição de 50% de toucinho apresentaram ($P < 0,05$) maior teor de umidade e menor teor lipídeos, aquelas com 25% de substituição de toucinho apenas apresentaram ($P < 0,05$) menor teor de lipídeos que a FC. Já o teor de proteína não variou ($P > 0,05$) com a redução de toucinho. Enquanto a capacidade de retenção de água não diferiu ($P > 0,05$), a estabilidade da emulsão de quase todas as formulações (à exceção da F1) foram maiores ($P < 0,05$) do que aquela daquela da FC. Em qualquer nível (25% ou 50%), a redução de toucinho não provocou diferenças nos parâmetros do perfil de textura instrumental (dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade), que foram similares ($P > 0,05$) àquelas da FC. Corroborando os dados da análise de perfil de textura (TPA), as análises reológicas mostraram que, em todas as formulações, a redução de toucinho e a adição de fibras não alterou as características reológicas das formulações das massas cruas e as mortadelas e estas se comportaram como materiais semissólidos com comportamento predominantemente elástico. Conclui-se que a substituição de toucinho em até 25% por misturas de fibras solúveis (92% de inulina) e fibras insolúveis (74% de celulose, 26% de hemicelulose e $< 0,5\%$ de lignina) permite a elaboração de mortadelas com características similares àquelas de uma mortadela tradicional.

ABSTRACT

SEPÚLVEDA BETANCOURT, Astrid Selene, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November of 2014. **Physical and rheological characteristics of mortadellas formulated by partial replacement of fat for meat or for mixtures of soluble and insoluble fibers.** Adviser: Lúcio Alberto de Miranda Gomide. Co-advisers: Eduardo Basílio de Oliveira and Edimar Aparecida Filomeno Fontes.

To develop low fat mortadellas with added fiber the effect of substituting 25% and 50% of lard for meat or for different combinations (4% and 0%, 3% and 1%, 2% and 2%, 1% and 3%, or 0% and 4%) of soluble fibers (FS) and insoluble (FI), respectively, and water in mortadella was studied. Chemical analysis (percent composition) and physical analysis (texture profile analysis, emulsion stability, water holding capacity and rheological properties) of the mortadellas were conducted. Beside a control mortadella (FC – without substitution of fat and without addition of alimentary fibers), another 12 formulations, 6 with 25% substitution of fat for meat (F1) or fiber mixtures (F2, F3, F4, F5 e F6) and 6 with 50% substitution of lard for meat (F7) or fiber mixtures (F8, F9, F10, F11 e F12). While the formulations with 50% substitution of lard, had higher ($P < 0.05$) moisture and lipid content, formulations with 25% of lard reduction only had higher ($P < 0.05$) lipid content than FC. Protein content was not affected ($P > 0.05$) by reducing lard content. While the water holding capacity did not differ, the emulsion stability of almost all (except F1) formulations were higher ($P < 0.05$) than that of FC. Whatever the level (25% or 50%) of lard reduction there were no differences in the texture profile analysis (TPA) parameters (hardness, cohesiveness, flexibility, chewiness and adhesiveness), which were similar ($P > 0.05$) to those of FC. Corroborating the TPA data, the rheological analyzes showed that, in all formulation, lard substitution for fibers did not alter ($P > 0,05$) the rheological properties of the mortadellas; the batters and the mortadellas behaved as semi-solid materials with a predominantly elastic behavior. It is concluded that the substitution of fat for fibers allows for development of mortadella with similar characteristics to those of traditional mortadella.

1 INTRODUÇÃO

Observa-se crescente preocupação dos consumidores com uma alimentação adequada que evite doenças oriundas da ingestão insuficiente ou exagerada de nutrientes; isto tem levado as indústrias cárneas a desenvolverem alimentos contendo fibras e com teores reduzidos de gordura como forma de redução do risco de ocorrência de obesidade, diabetes e doenças cardiovasculares (hipertensão arterial, aterosclerose e acidente vascular cerebral).

Para aumentar o rendimento dos produtos cárneos e favorecer o desenvolvimento de características sensoriais desejáveis, os embutidos cárneos tradicionalmente contêm alto teor de gordura (até 30%). Adição de gordura favorece algumas características de textura, aportando características de cremosidade e suavidade, reduzindo a coesão estrutural e facilitando a mastigação; também gera produtos de maior suculência e influencia no sabor, atuando como carreadora de substâncias aromáticas.

Por isto, embora nutricionalmente desejável, a redução de gordura em produtos cárneos pode gerar significativas alterações sensoriais e de textura nestes produtos. Assim, torna-se necessário o uso de substitutos de gordura para se conseguir produtos cárneos com características mais próximas dos produtos tradicionais.

Os substitutos de gordura mais pesquisados são a água, miméticos de gordura ou fibras e proteínas de diferentes fontes. Diferentes estudos têm apresentado os efeitos em produtos cárneos quando se varia o teor de água (CLAUS; HUNT; KASTNER, 1989; COFRADES et al., 2000); proteína (JIMENEZ-COLMENERO et al., 1995; FREITAS et al., 2004); gordura (JIMENEZ-COLMENERO et al., 1995); e o tipo e a quantidade de fibras alimentares (GARCÍA et al., 2002; COFRADES et al., 2008). A escolha do substituto de gordura a ser usado dependerá de como ele atua sobre características como capacidade de retenção de água (CRA), capacidade de gelificação, solubilidade, e dos limites estabelecidos pela legislação.

Fibras alimentares de diferentes origens têm sido extensivamente pesquisadas como substitutos de gordura em produtos cárneos por ajudarem no desenvolvimento de características, como viscosidade, capacidade de gelificação, capacidade de retenção de água (CRA) e capacidade de ligação de óleos, entre outras, influenciando diretamente

na sua consistência, na textura e no comportamento reológico (CHOE et al., 2013). Porém, a sua eficiência como substituto de gorduras pode variar segundo as suas características físico-químicas, especialmente a sua solubilidade. Até onde é do nosso conhecimento, à exceção de Barreto (2007) e Guimarães (2011), nenhum trabalho avaliou mistura de fibras, especialmente de fibras com características físicas (solubilidade) diferentes.

As fibras são classificadas segundo a sua solubilidade em solúveis e insolúveis, o que além de poder afetar a sua atuação no sistema cárneo, pode incorporar aos produtos características diferentes de digestibilidade e função gastrointestinal; por exemplo, fibras solúveis apresentam maior tempo de trânsito intestinal, enquanto as fibras insolúveis apresentam menor tempo de trânsito intestinal (MATOS; CHAMBILLA, 2010), as quais apresentam diferenças químicas.

Entretanto, a maioria das pesquisas se baseia no uso de apenas um tipo de fibra (solúvel ou insolúvel), mas, segundo Selgas et al. (2005), para se obter produtos cárneos com características próximas àquelas de produtos tradicionais, pode ser necessária a adequação de processos produtivos e, ou, o uso de uma associação precisa de ingredientes de propriedades diferentes.

Num dos poucos trabalhos com misturas de fibras com propriedades diferentes, Guimarães (2011) observou alterações no perfil sensorial e perfil de textura instrumental (TPA) de mortadelas formuladas pela substituição de toucinho por 4% de misturas de fibras solúveis e insolúveis; apenas em nível de 25% de substituição de toucinho por mistura contendo 70% de FS e 30% de FI o TPA não diferiu daquele da mortadela-controle. Entretanto, à semelhança de outros estudos, ela não aprofundou na busca das razões físico-químicas e estruturais destas alterações de textura.

Porém, há evidências (JIMENEZ-COLMENERO et al., 2012; ÀLVAREZ; BARBUT, 2013; SCHUH et al., 2013) de que a adição de fibras pode interferir na estrutura da matriz de emulsões cárneas, afetando o seu comportamento reológico e, por consequência, sua textura.

Dessa forma, com vista a escolher as relações composição/propriedades nas mortadelas formuladas como acima descrito, no presente trabalho aplicou-se análises reológicas a esses produtos. Os parâmetros reológicos obtidos por testes dinâmicos oscilatórios e de relaxamento da tensão foram analisados e buscou-se estabelecer

correlações tanto com 0% de redução de gordura quanto com a proporção entre FS e FI na suspensão aquosa de fibras empregada como substituinte da mesma.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produtos cárneos emulsionados: mortadela

A mistura de dois líquidos imiscíveis com a adequada estabilidade cinética produz uma emulsão, definida como um sistema heterogêneo formado por um líquido completamente disperso, na forma de gotículas, em outro de polaridade oposta (McCLEMENTS, 1999; ARAÚJO, 2011). Os líquidos que compõem as emulsões não são mutuamente solúveis, razão pela qual formam uma micro fase dispersa e uma fase contínua (McCLEMENTS, 2005; COSTA, 2012). As emulsões são usualmente classificadas em “óleo em água” ou “água em óleo”, segundo a natureza da fase contínua (ARAÚJO, 2011).

Nas emulsões cárneas (óleo em água), as gotículas de óleo são estabilizadas na fase aquosa por um agente emulsionante (proteína), que reduz a tensão interfacial entre as duas fases. A fase contínua é constituída pela água da carne, e adicionada no processo, e pelas fibras e proteínas musculares; assim, forma-se uma rede proteica que evita a movimentação dos glóbulos de gordura emulsionados e não emulsionados, evitando a coalescência e a conseqüente quebra da emulsão (separação macroscópica das fases). Dentre as proteínas cárneas, as miofibrilares, em especial a miosina, são as proteínas mais importantes para emulsificação da gordura, capacidade de retenção de água do produto e formação da matriz gélica tridimensional (WESTPHALEN, BRIGGS; LONERGAN, 2005).

A estabilidade das emulsões cárneas é atribuída às proteínas musculares em virtude da natureza anfotérica. Algumas proteínas são capazes de se orientarem de acordo com a interface polar – apolar, sendo consideradas ótimas emulsificantes (ARAÚJO, 2011). Algumas destas proteínas possuem capacidade de formar géis viscoelásticos que liga à água e formam redes coesas que impedem a coalescência das gotículas de gordura.

A principal diferença entre as emulsões clássicas óleo em água e as emulsões cárneas, é que nas emulsões cárneas os glóbulos de gordura são de 1 a 50 μm de diâmetro, estando revestidos por proteínas miofibrilares e estabilizadas na matriz proteica, que conforma a estrutura tridimensional do gel que é formada quando acontece o cozimento. As características físico-químicas das emulsões cárneas são afetadas por

fatores, como variação do processamento (temperatura e tempo de cocção), qualidade da carne (DFD, PSE ou normal), pH, concentração de NaCl e de fosfato, e adição ou não de proteínas não cárneas, como a proteína texturizada de soja (PTS) (CHEN, 2007). Em específico, a estabilidade da emulsão dependerá principalmente do tipo de gordura utilizado e da disponibilidade de proteínas miofibrilares (YOUSSEF; BARBUT, 2010). Assim, quanto maior o teor de proteína, maior será a estabilidade, devido à presença de proteínas em quantidade suficiente para encapsular os glóbulos de gordura. Também a temperatura de coterização afeta a estabilidade, devido à desnaturação proteica e consequentemente perda da funcionalidade. Portanto, a velocidade de adição da gordura deve ser rápida para favorecer a migração das proteínas miofibrilares para a interfase óleo – água antes que se coagulem devido ao aumento na temperatura.

Os produtos cárneos emulsionados são, em geral, embutidos ricos em lipídeos (no máximo 30%, pela legislação brasileira) (BRASIL, 2000) e que não possuem fibra alimentar. Exemplos são: mortadelas, salsichas e patês (MADRUGA et al., 2007). Destes, a mortadela é o produto de maior demanda no mercado brasileiro (FERRAZ, 2010).

O alto conteúdo em gordura deve-se ao fato da gordura influenciar positivamente as características de rendimento (reduz custos de formulação e evita perda de água na cocção), cor, sabor, maciez, suculência, aceitabilidade e textura (JIMÉNEZ-COLMENERO et al., 1995; DESMOND; TROY; BUCKLEY, 1998; HUGHES, MULLEN; TROY, 1998; COFRADES et al., 2000; JIMÉNEZ-COLMENERO, 2000; FREITAS et al., 2004; CENGIZ; GOKOGLU, 2007; VENTANAS, PUOLANNE; TUORILA, 2010). Com respeito à textura, o aumento no teor de gordura promove uma maior cremosidade e suavidade do produto, reduzindo a coesão estrutural, facilitando a mastigação e a deglutição do alimento (DEGOUY, 1993). O efeito da gordura sobre o sabor se deve ao fato de que a gordura age como carreador e reservatório de compostos aromáticos; também contribui para uma maior e mais prolongada suculência dos embutidos (FERRAZ, 2010; VENTANAS, PUOLANNE; TUORILA, 2010).

Devido a estes efeitos a remoção de gordura pode trazer modificações indesejáveis nas características sensoriais em produtos cárneos emulsionados. Além disto, um efeito indireto da redução pura e simples de gordura é o aumento no teor de proteínas da massa da emulsão, fato que afeta o perfil de textura dos produtos emulsionados por promover uma maior geleificação da massa devido ao aumento nas

interações proteicas durante o processo de cozimento. Isto gera emulsões mais firmes e homogêneas, com maiores valores de dureza, gomosidade, coesividade e mastigabilidade, o que faz com que os produtos sejam percebidos como mais ou menos “borrachentos” e elásticos (KEETON, 1994; JIMÉNEZ-COLMENERO et al., 1995; HUFFMAN; HUFFMAN, 1997; BREWER et al., 2005; DÁVILA et al., 2007; KARWOWSKA; DOLATOWSKI, 2008; YOUSSEF; BARBUT, 2009; SUN; HOLLEY, 2011).

Ferraz (2010) apresentou indicações de que as alterações nos teores de proteína são as principais razões para a alteração de textura em produtos cárneos formulados com redução no teor de gordura; entretanto, segundo o autor, é possível formular produtos com pouca alteração na textura aumentando-se a quantidade de água adicionada (em substituição à gordura) à formulação, que, neste caso, continuará com o mesmo teor de proteína, tornando a textura dos produtos cárneos mais próxima daquela de produtos com teores normais de gordura.

Porém, a substituição de toucinho por água levará à alteração na relação umidade/proteína (U/P) dos embutidos fazendo com que não atendam à legislação, que exige no mínimo 12% de proteína, e no máximo 65% de umidade (BRASIL, 2000).

Em produtos cárneos, a gordura poderá ser substituída por ingredientes não cárneos, como proteínas, fibras, gomas, etc. dependendo de características como capacidade de retenção de água (CRA), capacidade de geleificação, solubilidade e dos limites estabelecidos pela legislação (JIMÉNEZ-COLMENERO, 1996; FERRAZ, 2010). Assim, a manutenção de textura similar a produtos tradicionais (25% a 30% de lipídeos) poderá ser compensada pela substituição da gordura por fibras, sem alterar a relação U/P, com nenhuma ou pouca alteração na textura e melhora dos resultados quanto à suculência e perdas durante a cocção; gerando produtos cárneos funcionais (SEABRA; ZAPATA, 2002; SILVA, 2010; BISWAS et al., 2011).

Vários trabalhos têm avaliado a substituição de gordura por outros ingredientes, especialmente as fibras de diversas fontes (CLAUS et al., 1989, 1990; CLAUS; HUNT, 1991; KHALIL, 1997; THEBAUDIN et al., 1997; MANSOUR; ANDERSON; BERRY, 2000; STEENBLOCK et al., 2001; GARCÍA et al., 2002; FERNÁNDEZ-GUINÉS et al., 2003; FERRAZ, 2010; BISWAS et al., 2011). Fibras alimentares têm sido estudadas isoladamente ou combinadas com outros ingredientes para melhorar a textura de diferentes produtos à base de carne.

Segundo Jimenéz-Colmenero et al. (2010), a microscopia eletrônica de varredura mostrou que a substituição de gordura por fibra hidratada de konjac e de algas resultou em estruturas de emulsões mais heterogêneas; eles sugerem que algas marinhas em presença de gel de konjac formam géis mais rígidos; explicam este comportamento à hipótese de géis de konjac limitar o efeito das algas marinhas sobre a matriz proteica.

Segundo Claus e Hunt (1991), a adição de água permite a recuperação da maioria dos parâmetros de textura em bolognas (produto similar à mortadela) formuladas com baixo teor de gordura (10%) e elevada adição de água (30%), tornando-as mais similares a uma bologna tradicional (10% de água e 30% de gordura).

2.2 Fibras alimentares

Fibras alimentares (dietéticas) são substâncias que, em geral, não são digeridas pelo organismo, passando incólumes pelo trato intestinal dos seres humanos. Apresentam diversas propriedades benéficas para a saúde, pelo que são indispensáveis na alimentação humana, recomendando-se um consumo diário entre 15 e 35 gramas, porque aceleram a passagem dos produtos residuais do organismo, absorvem substâncias perigosas (toxinas) e mantêm o tubo digestivo saudável. Entretanto, o seu consumo não deve ser excedido, uma vez que alguns tipos de fibras (com capacidade de troca de cátions) podem interferir na adequada absorção de minerais, embora algumas fibras (inulina e galacto-oligosacarídeos) tenham demonstrado efeito benéfico na absorção de cálcio e magnésio (WHITNEY; HAMILTON, 1987; THEBAUDIN et al., 1997; TUNGLAND; MEYER, 2002; MELLO; LAAKSONEN, 2009; SOUZA et al., 2012)

Entre as fibras incluem-se oligossacarídeos (inulina e frutooligosacarídeos – FOS); polissacarídeos não amiláceos (celulose, hemicelulose, gomas e mucilagens); e substâncias a eles associadas (ceras, cutina e suberina); oligossacarídeos resistentes, ligninas e seus complexos; também estão incluídos análogos de carboidratos (pectinas, amidos resistentes e as dextrinas); e carboidratos sintéticos, como a polidextrose (TUNGLAND; MEYER, 2002; SILVA, 2010).

Fisicamente, as fibras são classificadas, segundo a sua solubilidade em água, em fibras solúveis e fermentáveis (frutanos, pectinas, gomas e mucilagens) e fibras insolúveis (celuloses, ligninas e algumas hemiceluloses), de difícil fermentação (TUNGLAND; MEYER, 2002; CHAMP et al., 2003; SILVA, 2010).

As características das fibras baseiam-se principalmente nas propriedades químicas/funcionais e fisiológicas dos compostos. Assim, do ponto de vista fisiológico, a solubilidade das fibras está relacionada com a sua estrutura, incorporando características de digestibilidade e boa função gastrointestinal aos produtos.

As fibras insolúveis são encontradas em todos os alimentos vegetais, principalmente no farelo de cereais e nos grãos de cereais propriamente ditos. As fibras solúveis são encontradas em polpa de frutas, verduras, legumes e grãos, como a lentilha. Os papéis fisiológicos da fibra alimentar dependem do tipo de fibra a ser consumido e da forma como se apresenta.

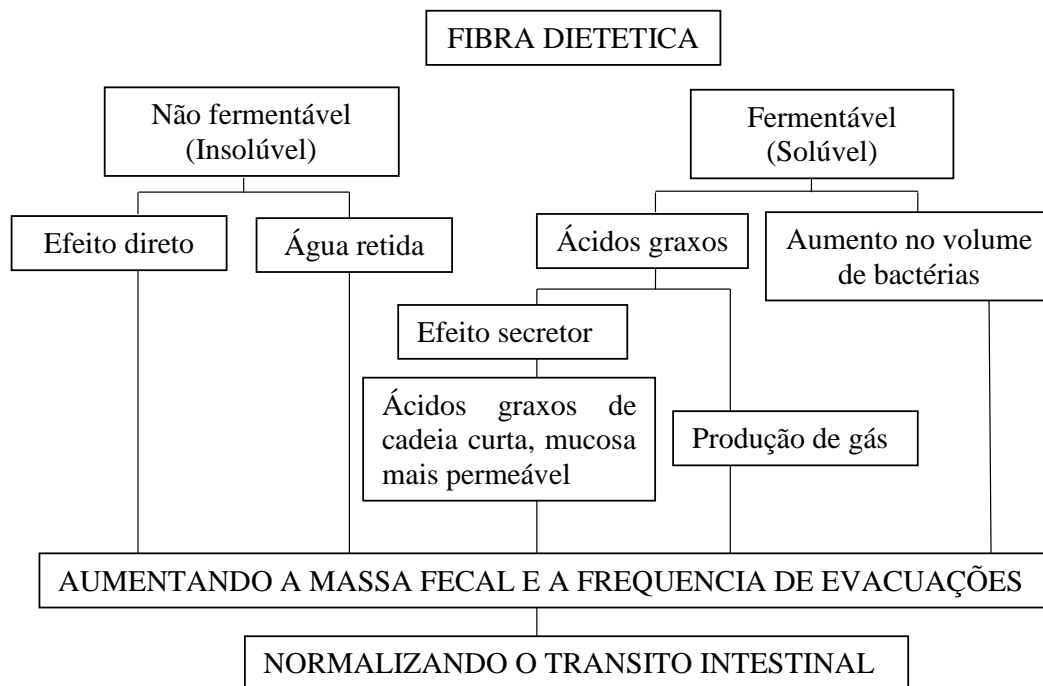
A fração insolúvel das fibras é apenas parcialmente fermentada no intestino grosso devido ao efeito das bactérias do cólon, que as fermenta aumentando a massa do bolo fecal, reduzindo o tempo de trânsito no intestino grosso e tornando a eliminação fecal mais fácil e rápida; desta maneira, previnem a constipação intestinal, a flatulência e o desconforto associado, além de diminuir a exposição do cólon a agentes que provocam câncer. Além disso, as fibras insolúveis tornam a absorção de glicose mais lenta; retardam a hidrólise do amido; melhoram a tolerância à glicose, controlando o diabetes tipo II, além de diminuir a ingestão calórica.

O efeito sobre a prevenção da constipação intestinal das fibras insolúveis é ainda maior se o consumo de fibra for acompanhado por um aumento na ingestão de água. O seu efeito sobre a prevenção do câncer do intestino se deve à sua hidrofobicidade, fazendo com que as fibras absorvam compostos carcinogênicos hidrofóbicos, como os derivados de pirenos e as aminas aromáticas heterocíclicas. Além disto, os ácidos graxos de cadeia curta, produzidos durante a fermentação da fibra pelas bactérias intestinais, são uma grande fonte de energia para as células do cólon, podendo inibir o crescimento e a proliferação de células cancerígenas no intestino grosso (COPPINI et al, 2004; DOSSIÊ: FIBRAS ALIMENTARES, 2008).

Já as fibras alimentares solúveis são totalmente fermentáveis e possuem a capacidade de formar géis quando entram em contato com água. A solubilidade em água condiciona a formação de géis viscosos no intestino, favorecendo a absorção de água e sódio. Do ponto de vista fisiológico, as fibras solúveis retardam o esvaziamento gástrico, tornando lento o trânsito intestinal, diminuem o ritmo de absorção de glicose e colesterol, são substratos para fermentação bacteriana que resultam em gases

(hidrogênio, metano e dióxido de carbono) e ácidos graxos de cadeia curta importantes para o metabolismo intestinal, onde estão envolvidos na regulação da divisão e morte celular do epitélio digestivo (Figura 1)(WHITNEY; HAMILTON, 1987; PACHECO; SGARBIERI, 2001; COPPINI et al., 2004; MATOS; CHAMBILLA, 2010).

A Figura 1 resume os diversos papéis fisiológicos das fibras alimentares.



Fonte: Álvarez e Sánchez (2006).

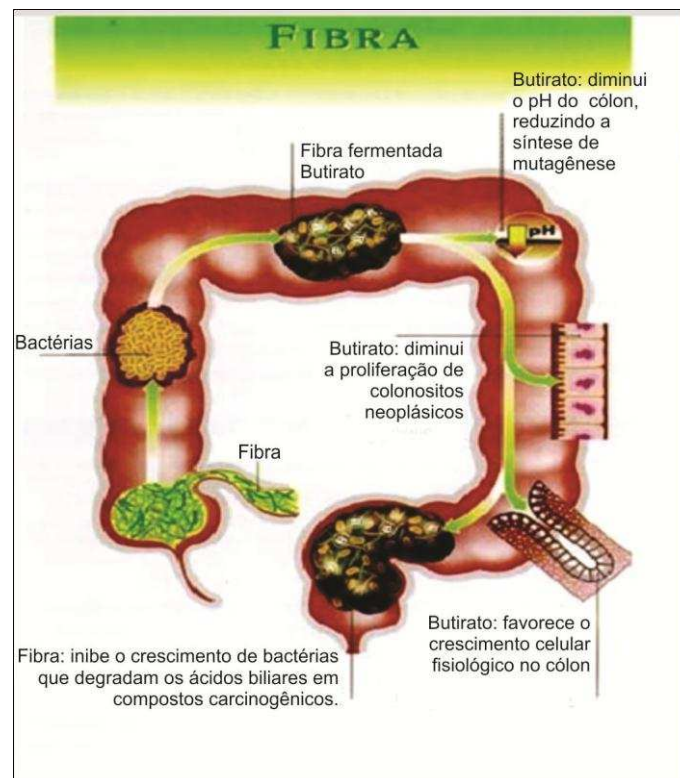
Figura 1 – Papel fisiológico das fibras no metabolismo fermentativo.

A fibra solúvel pode retardar a digestão e a absorção dos hidratos de carbono, reduzindo desta forma o aumento da glicose sanguínea, que ocorre após a refeição; as FS também aumentam o tempo de exposição dos nutrientes no estômago, proporcionando uma melhoria na digestão dos mesmos, em particular dos açúcares e das gorduras; este aspecto contribui para a regularização do metabolismo energético e para um melhor aproveitamento no desempenho de todas as atividades físicas.

Outro papel das fibras alimentares solúveis e insolúveis é na prevenção da doença coronária ao melhorar o perfil lipídico sanguíneo e na regulação do crescimento e da composição da flora bacteriana (BESSESEN, 2001; COPPINI et al., 2004).

Além dos efeitos já citados, uma refeição rica em fibras terá mais volume, exigindo mastigação mais prolongada. Além disso, as fibras estimulam a salivação e melhoram a viscosidade do suco duodenal. Também retardam o esvaziamento gástrico e

aumentam a saciedade, relevante para dietas de emagrecimento (CHINDA; NAKAJI, 2004). Ao contrário do que acontece no estômago, o processo de absorção de nutrientes acontece no intestino delgado. No intestino, as fibras aumentam a velocidade do trânsito no intestino delgado, retardam a captação de açúcares, aminoácidos e drogas (Figura 2). No cólon predomina um maior aproveitamento dos alimentos mediante um contato mais intenso com a mucosa intestinal; em virtude disto, quando as fibras insolúveis chegam ao cólon, aumentam o peso e a maciez das fezes, aumentando a frequência de evacuações, diminuindo a pressão do cólon e mantendo a flora intestinal (GREEN, 2000).



Fonte: Álvarez e Sánchez (2006).

Figura 2 – Papel fisiológico das fibras no intestino.

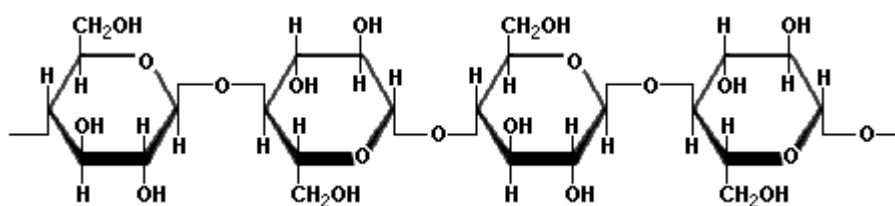
As principais propriedades que as fibras fornecem no desenvolvimento de alimentos estão relacionadas à sua solubilidade, viscosidade e capacidade de geleificação, capacidade de retenção de água e de ligação de óleos, minerais e moléculas orgânicas, influenciando a consistência, a textura e o comportamento reológico (THEBAUDIN et al., 1997; GUILLON; CHAMP, 2000; TOKUSOGLU; UNAL, 2003; BISWAS et al., 2011; CHOE et al., 2013).

Segundo Femenia et al. (1997), as propriedades funcionais das fibras polissacarídeas dependem da composição e da estrutura da sua matriz; há também que se considerar a quantidade, o tipo, a origem, o tratamento prévio a que a fibra foi submetida, a sua porosidade e forma e as forças iônicas, o pH e a temperatura do meio. Assim, torna-se importante conhecer as características dos componentes estruturais das fibras solúveis e insolúveis.

Nas subseções a seguir, serão apresentadas as fibras que foram utilizadas no presente trabalho de pesquisa: celulose, hemicelulose, lignina e inulina.

2.2.1 Celulose

A celulose (Figura 3) é o principal componente nas células das plantas; apresenta cadeia não ramificada de glicoses covalentemente ligadas em α (1 \rightarrow 4). Apresenta resistência mecânica, baixa solubilidade em água, resistência à degradação biológica e como resultado de ligações de hidrogênio dentro das microfibrilas é resistente à hidrólise ácida (DHINGRA et al., 2012).



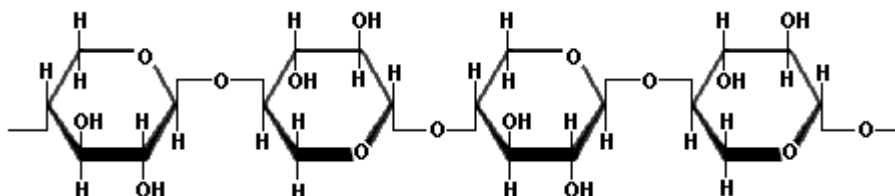
Fonte: Santos et al. (2012).

Figura 3 – Representação estrutural da celulose.

A baixa solubilidade em água das celuloses se deve ao arranjo linear de cadeias adjacentes totalmente estendidas, permitindo a perfeita sobreposição de cadeias adjacentes, formando uma rede paralela (fibrilas microcristalinas) de moléculas de celulose unidas por ligações de hidrogênio, o que diminui o acesso da água e a formação de ligações de hidrogênio entre a água e os resíduos dos monômeros (WHISTER; DANIEL, 1985; WHITNEY; HAMILTON, 1987; BOBBIO; BOBBIO, 1992; SIKORSKI, 2007; DHINGRA et al., 2012; SANTOS et al., 2012). Ainda assim, a celulose é capaz de ligar a água e de intumescer, pelo que uma das propriedades mais importantes é a sua capacidade de absorver água (0,4 grama de água por grama de celulose). Esta característica explica a habilidade de produtos ricos em fibras insolúveis de aumentar a massa do bolo fecal, diminuindo o tempo de trânsito intestinal (SOUTHGATE et al., 1992; SIKORSKI, 2007).

2.2.2 Hemicelulose

As hemiceluloses são o segundo maior constituinte das fibras insolúveis. São heteropolissacarídeos complexos; diferem da celulose por serem menores em tamanho (Figura 4) e com variedade de açúcares geralmente ramificados como a xilose (DHINGRA et al., 2012).



Fonte: Santos et al. (2012).

Figura 4 – Representação estrutural da hemicelulose.

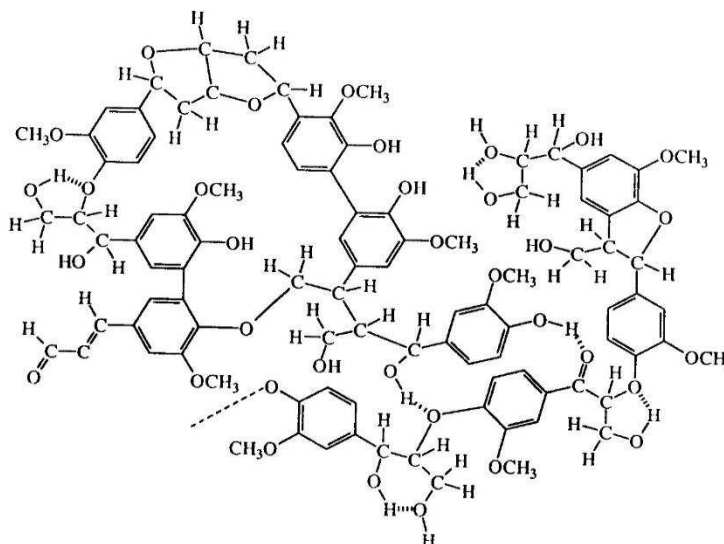
Algumas das características da celulose são compartilhadas com a hemicelulose, como a capacidade de retenção de água e o aumento na massa do bolo fecal (CUMMINGS, 1976).

As hemiceluloses são, por definição, solúveis em álcali diluído, mas não em água; não são digeridas no intestino grosso, mas são mais facilmente fermentadas por microrganismos presentes no cólon do que a celulose (SOUTHGATE et al., 1992)

2.2.3 Lignina

É o composto de menor proporção das fibras insolúveis; está presente na parede celular das plantas e sementes; é um heteropolímero amorfo, que consiste em três diferentes unidades de fenilpropanos (Figura 5) (SANTOS et al., 2012).

O uso da lignina foi avaliado com a inclusão de fibra de trigo (casca de trigo) em hambúrguer reduzido em gordura (MANSOUR; KHALIL, 1997); estes autores recomendaram o uso desta fibra como substituto de gordura por reduzirem o teor de colesterol, melhorar as características de textura, em especial por seu poder geleificante, e também por provocarem o aumento na CRA e, conseqüentemente, aumento no teor de umidade destes produtos.



Fonte: Santos et al. (2012).

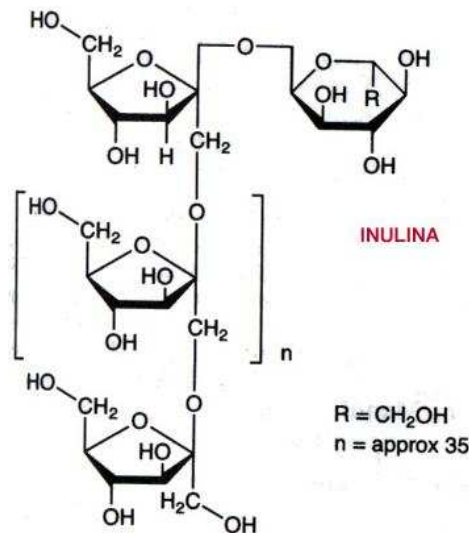
Figura 5 – Representação estrutural da lignina.

2.2.4 Inulina

A inulina é uma fibra solúvel de grande interesse; diferente das fibras insolúveis, quando adicionada em grandes quantidades melhora a capacidade geleificante, conferindo aos alimentos uma excelente alternativa para melhorar a textura e as características sensoriais dos produtos com teor reduzido de gordura (COUSSEMENT; FRANK, 2001). É um polissacarídeo de reserva encontrado em plantas como a chicória e o yacon; estruturalmente é um polímero cujos monômeros são moléculas de frutose unidas por ligações lineares β (2-1), com um resíduo de glicose terminal (ROBERFROID, van LOO; GIBSON, 1998).

Sua cadeia curta e ramificada (Figura 6) é responsável pela sua solubilidade e a capacidade de formar microcristais de inulina, que interagem entre si para formar uma textura suave e cremosa, proporcionando uma sensação semelhante à da gordura (FONTANA et al., 1994; SILVA, 1996; NINESS, 1999; HAULY; MOSCATTO, 2002; SILVA, 2010).

Características como textura, palatabilidade e sabor podem ser melhoradas com o uso da inulina devido ao sinergismo que possui com espessantes de alta capacidade de ligação de água, conseguindo melhora na reologia mediante o controle de migração de água (TUNGLAND; MEYER, 2002; MARTINEZ; PACHECO, 2007; SILVA, 2010).



Fonte: Roberfroid et al. (1998).

Figura 6 – Representação estrutural da inulina.

Entretanto, as características dos embutidos cárneos e, em especial dos géis, dependerão de fatores, como: tipo, fonte e forma de obtenção das fibras (FEMENIA et al., 1997; SUN; HOLLEY, 2011). Estes fatores tanto podem aumentar como reduzir a força do gel formado na emulsão. Portanto, a textura dos embutidos dependerá do tipo de polissacarídeo usado, e do teor de proteínas nos produtos com teor de gordura reduzido.

Com respeito às características da matriz proteica, segundo Chin et al. (1998), as proteínas cárneas solúveis em sal, especialmente a miosina e a actina (proteínas miofibrilares), são consideradas responsáveis pela textura viscoelástica de produtos cárneos processados e autores (ASGHAR et al., 1985) por eles citados reportaram que a miosina forma um excelente gel, especialmente em sinergia com a actina.

2.3 Reologia

A reologia pode ser definida como o estudo da deformação (em sólidos) e, ou, do escoamento (em líquidos) dos materiais em resposta à aplicação de uma tensão. No contexto da fabricação de produtos alimentícios, é uma ferramenta importante para se definir as condições de processamento (como, por exemplo, variáveis de operação de bombas e agitadores). Também pode ser aplicada para avaliar e comparar a funcionalidade de componentes espessantes ou gelificantes durante os testes em

desenvolvimento de produtos alimentícios. Pode ainda ser útil em fornecer informações instrumentais acerca da textura, que podem ser correlacionadas com dados de textura provenientes de avaliações sensoriais (STEFFE, 1996; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CANÓVAS, 2005).

Muitos materiais alimentícios apresentam comportamento viscoelástico e, nesses casos, somente a viscosidade aparente não é suficiente para caracterizar o fluido, devido à maior complexidade de seu arranjo molecular e suas características físicas depois de submetido a uma deformação. Nestes casos, além da componente viscosa, o componente elástico do material deve ser considerado. É a magnitude relativa dessas componentes que permite que se faça inferências sobre diversas propriedades mecânicas do material (NICOLETI; TELIS, 2009).

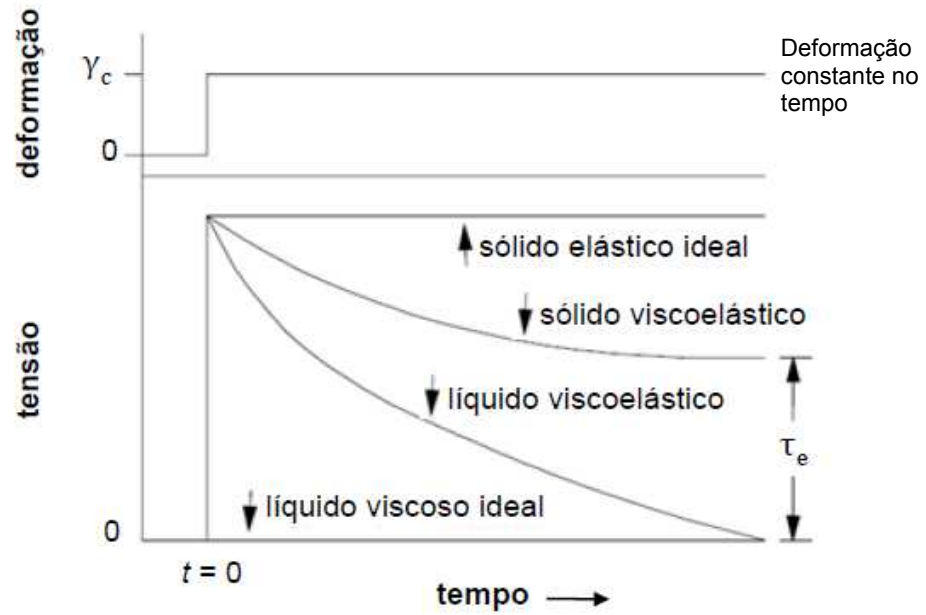
Os testes mais utilizados na determinação do comportamento viscoelástico de alimentos são os ensaios no modo oscilatório e os testes transientes (principalmente testes de fluência e recuperação e de relaxamento de tensão) (STEFFE, 1996). Todos os testes são realizados aplicando-se deformações ou tensões pequenas, assegurando que as medidas sejam feitas dentro da faixa de viscoelasticidade linear.

2.3.1 Teste de relaxamento de tensão (stress relaxation)

O teste de relaxamento de tensão consiste na aplicação de uma deformação brusca e instantânea (de valor conhecido e dentro da região viscoelástica linear) ao sistema, mantendo-a constante ao longo do tempo e, simultaneamente, monitorando-se a tensão necessária para manter esta deformação durante a análise. Esse teste pode ser conduzido sob cisalhamento, tensão uniaxial ou compressão uniaxial (STEFFE, 1996).

Nesse teste, após se aplicar uma deformação preestabelecida na amostra, a tensão requerida para manter constante deformação é medida em função do tempo (Figura 7).

Se o material comporta-se como sólido elástico ideal, a tensão será constante e proporcional à deformação; se o material for um fluido viscoso ideal, a tensão cairá rapidamente a zero, pois a taxa de deformação é nula e o material fluirá e se adaptará à deformação aplicada; se o material estiver entre estes comportamentos, poderia se comportar como um fluido viscoelástico, cuja tensão cairá a zero lentamente, após um



Fonte: adaptada de Steffe (1996).

Figura 7 – Curvas de relaxamento de tensão para um sólido elástico, um líquido viscoso, um líquido viscoelástico e um sólido viscoelástico.

certo tempo, ou como um sólido viscoelástico, cuja tensão de equilíbrio (τ_e) não nula será alcançada após um certo tempo (MONTEIRO, 2004; STEFFE, 1996).

As curvas de relaxamento de tensão podem ser modeladas (utilizando-se a Eq. 1, proposta por Peleg) (STEFFE, 1996):

$$\frac{\tau_0 * \tau}{\tau_0 - \tau} = k_1 + k_2 * t \quad (\text{Eq. 1})$$

em que τ_0 (Pa) é o valor máximo de tensão medido no início do ensaio; τ (Pa) é a tensão após t segundos; k_1 e k_2 são constantes da equação; e t é o tempo (s). O recíproco de k_1 descreve a taxa de decaimento inicial da tensão e o recíproco de k_2 representa o valor hipotético da assíntota da tensão normalizada (STEFFE, 1996).

Além da proposta de Peleg, as curvas de relaxamento de tensão podem ser modeladas por meio da proposta de Maxwell de dois termos (STEFFE, 1996) (Eq. 2).

$$\tau(t) = \tau_1 \exp\left(-t/\lambda_1\right) + \tau_2 \exp\left(-t/\lambda_2\right) \quad (\text{Eq. 2})$$

em que λ_1 e λ_2 , são os tempos de relaxamento; e τ_1 e τ_2 são as tensões de decaimento.

As propriedades viscoelásticas de emulsões à base de carne são um dos fatores mais importantes que afetam a aceitabilidade dos produtos de tipo emulsão, como salsicha.

Testes de compressão uniaxial são geralmente utilizados para determinar essas propriedades. Yilmaz et al. (2012) testaram, por meio de testes de fluência e recuperação, os efeitos de diferentes níveis de óleo de milho (57% até 61%) e temperatura (5, 10 e 15 °C) sobre o comportamento viscoelástico de emulsões O/A de carne emulsionada produzidas em aparelho Waring Blender. O comportamento do sistema foi caracterizado usando os parâmetros do modelo de Burgers; além disso, eles correlacionaram os resultados do teste de fluência com os parâmetros de TPA, concluindo que há correlações significativas entre os parâmetros. Os autores concluíram que os diferentes teores de óleo e níveis de temperatura alteram a estrutura e as propriedades de deformação internas do sistema da emulsão cárnea.

Bruno e Moresi (2004) avaliaram o comportamento viscoelástico de emulsões cárneas com diferentes teores de umidade (50% até 58%), proteína (13% até 15%), gordura (21% até 28%), cinza (3,1% até 3,5%) durante ou após o cozimento. Por meio de testes de varredura de tensão determinaram que independentemente da composição, as diferentes formulações são caracterizadas como sólidos viscoelástico quando as amostras foram submetidas a tensões de amplitude entre 1,3% a 8,1%.

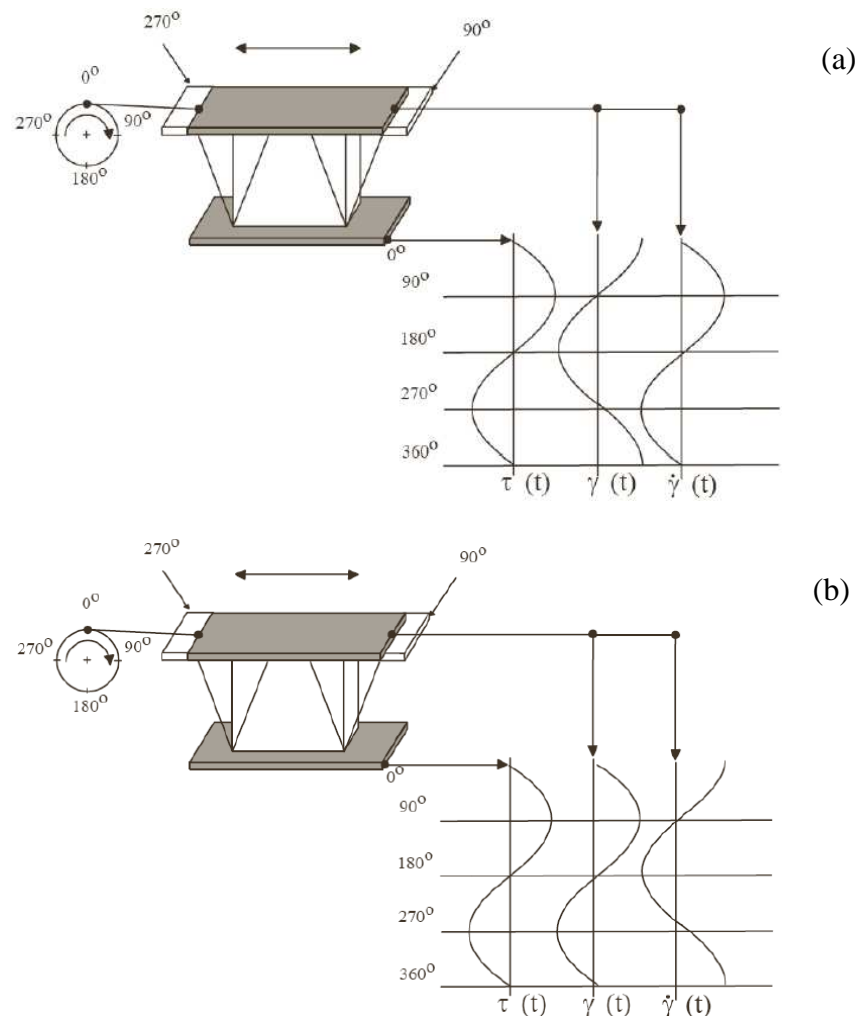
2.3.2 Teste dinâmico oscilatório

Avalia o comportamento viscoelástico dos alimentos, sendo os resultados sensíveis à composição química e à estrutura física do material avaliado (STEFFE, 1996).

Este tipo de teste é realizado com a finalidade de determinar o módulo de armazenamento (G' , medida da propriedade elástica), módulo de perda (G'' , medida da propriedade viscosa) e ângulo de fase ($\tan \delta$, relação entre o módulo de perda e o módulo de armazenamento). Quando realizada a varredura de frequência e os valores de G' forem maiores do que os valores de G'' , indicam géis verdadeiros com respeito às propriedades associadas com o produto (AHMED; RAMASWAMY, 2007; JIMÉNEZ-COLMENERO et al., 2012).

Os testes consistem na aplicação de uma perturbação mecânica senoidal, de amplitude e frequência controláveis ao sistema, e na análise da onda de resposta. A realização do ensaio consiste em submeter a amostra a uma tensão de cisalhamento ou a deformação oscilatória, a uma dada amplitude senoidal, a uma frequência f (Hz) ou frequência angular ω (rad.s^{-1}), que pode ser fixa ou variável, e em observar o comportamento da resposta da amostra (MONTEIRO, 2004).

Na Figura 8 é representado, respectivamente, o princípio de aplicação da perturbação oscilatória nos sistemas de um sólido elástico e de um líquido viscoso.



Fonte: Silva (2006).

Figura 8 – (a) Representação esquemática de um experimento oscilatório em um sólido elástico Hookeano; (b) Representação esquemática de um experimento oscilatório em um líquido Newtoniano, em que $\tau(t)$ = tensão de cisalhamento; $\gamma(t)$ = deformação; e $\dot{\gamma}(t)$ = taxa de deformação.

quando no modo de tensão controlada. Sendo G o módulo de cisalhamento (Pa).

Se o comportamento for puramente viscoso (Figura 8), a tensão e a deformação estão defasadas em 90°, enquanto a tensão e a taxa de deformação apresentam-se em fase:

$$\tau(t) = \eta * \dot{\gamma}(t) \quad (\text{Eq. 5})$$

quando no modo de taxa ou deformação controlada, ou

$$\dot{\gamma}(t) = \frac{1}{\eta} * \tau(t) \quad (\text{Eq. 6})$$

quando no modo de tensão controlada. Sendo η a viscosidade (Pa.s).

E para o caso de um comportamento viscoelástico, a tensão e a deformação apresentam uma diferença de fase δ entre 0° e 90°. Neste caso aplica-se:

$$\gamma(t) = \gamma_0 * \text{sen}(\omega t) \quad (\text{Eq. 7})$$

ou o equivalente

$$\dot{\gamma}(t) = \gamma_0 * \omega * \text{cos}(\omega t) = \dot{\gamma} * \text{cos}(\omega t) \quad (\text{Eq. 8})$$

quando no modo de deformação controlada; ou

$$\tau(t) = \tau_0 * \text{sen}(\omega t) \quad (\text{Eq. 9})$$

quando no modo de tensão controlada, sendo γ_0 a amplitude de deformação; τ_0 a amplitude de tensão (Pa); ω a frequência angular (rad.s⁻¹) ou $\omega = 2\pi f$ com a frequência f em Hz; e t o tempo (s) (MONTEIRO, 2004).

Dessas curvas podem ser obtidos alguns parâmetros, como:

- Módulo elástico, também conhecido como módulo de armazenamento ou de estocagem, que representa o comportamento elástico da amostra:

$$G' = \frac{\tau}{\gamma} * \text{cos}\delta \quad (\text{Eq. 10})$$

- Módulo viscoso, também conhecido como módulo de perda ou de dissipação, que caracteriza o comportamento viscoso da amostra:

$$G'' = \frac{\tau_1}{\gamma_1} * \text{sen}\delta \quad (\text{Eq. 11})$$

- Ângulo de perda, também conhecido como fator de amortecimento, que indica a razão entre a energia perdida e a energia armazenada ou a proporção entre a componente viscosa e a componente elástica da amostra:

$$\tan \delta = G''/G' \quad (\text{Eq. 12})$$

Estas grandezas permitem discutir se no material analisado predomina a propriedade elástica (típica de sólidos) ou viscosa (típica de fluidos) (PASEEPHOL et al., 2008), e poderão assestar bem correlacionadas a mudanças nas variáveis de textura como a dureza.

Dentre os testes oscilatórios, três tipos são mais comumente conduzidos para se caracterizar reologicamente materiais alimentares viscoelásticos. São eles:

- **Varredura de tempo (tensão):** neste teste a tensão, a temperatura e a frequência são mantidas constantes (Figura 9), enquanto G' e G'' são determinadas em função do tempo; este tipo de ensaio pode indicar mudanças estruturais dependentes do tempo, sendo útil para o estudo da estrutura de géis (STEFFE, 1996; RAO, 1999).

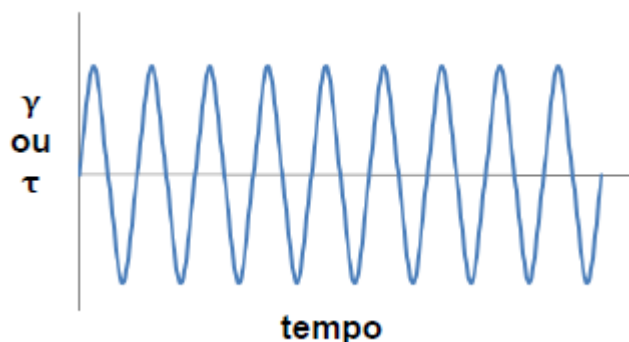


Figura 9 – Teste oscilatório no modo de varredura de tensão.

Varredura de frequência: é o teste oscilatório mais comum, pois mostra como os comportamentos elástico e viscoso do material mudam com a taxa de aplicação da deformação ou tensão. É um teste útil para comparar alimentos ou efeitos de diferentes ingredientes e métodos de processamento sobre a viscoelasticidade do produto. Neste teste, a frequência varia enquanto a tensão e a temperatura são mantidas constantes (Figura 10); logo G' e G'' são determinados em função da frequência (STEFFE, 1996). Com base nos resultados deste teste pode-se determinar se os géis são verdadeiros ou fracos; géis verdadeiros são aqueles cujas redes apresentam rearranjo molecular muito reduzido na escala de tempo analisada, tal que G' é maior que G'' ao longo da faixa de

frequência varrida e esses módulos são quase independentes da frequência; por outro lado, géis fracos apresentam pequena diferença entre os módulos dinâmicos, que exibem uma alta dependência da frequência, sugerindo a existência de processos de relaxamento em curta escala de tempo (RAO, 1999).

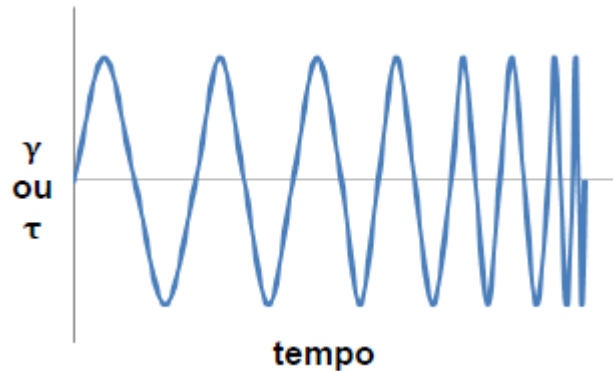


Figura 10 – Teste oscilatório no modo de varredura de frequência.

Varredura de temperatura: este teste assemelha-se à varredura de tempo; porém, a temperatura não é mantida constante. Os módulos dinâmicos são obtidos em função da temperatura. É um teste bastante útil no estudo de situações que envolvem mudanças no comportamento reológico induzidas por temperatura, como os estudos de formação de gel durante o resfriamento de dispersões aquecidas, a gelatinização de dispersão de amido durante aquecimento e a formação de géis de proteínas (STEFFE, 1996;RAO, 1999).

Segundo Rao (1999), fixando-se pequenas deformações ou tensão dentro da faixa de viscoelasticidade linear, três tipos de testes reológicos dinâmicos podem ser conduzidos, para obter as propriedades viscoelásticas dos alimentos, que são: varredura da frequência, em que G' e G'' são determinados em função da frequência a uma temperatura fixa; estudo da temperatura, no qual G' e G'' são determinados em função da temperatura a uma dada frequência; e *variação de G' e G''* em função do tempo a uma temperatura e frequência constantes.

Este tipo de teste (varredura de frequência e temperatura) foi utilizado por Nicoletti e Telis (2009) para avaliar as propriedades viscoelásticas de uma suspensão de colágeno em concentrações de 4% e 10%, na presença de maltodextrina e lactose; as medidas reológicas evidenciaram que as suspensões de colágeno puro apresentam, durante toda a faixa de temperatura usada, um comportamento viscoelástico fortemente

influenciado pela concentração de colágeno; além disto, os dados destes autores evidenciaram que em qualquer condição de adição de maltodextrina ou lactose os valores de G' foram sempre superiores do que G'' .

Varredura de temperatura (5 °C até 80 °C) foi utilizada por Ahmed e Ramaswaamy (2007) em alimentos infantis à base de carne. Os dados por eles apresentados mostram que G' e G'' diminuí com o aumento da temperatura, já que esta influencia as propriedades viscoelásticas. Os autores explicaram este fato pela desnaturação de proteínas cárneas, que começa a ocorrer a 65 °C. Eles concluíram que as medidas reológicas podem ser usadas para determinar a desnaturação térmica de patês cárneos para crianças, já que a temperatura afeta as medidas reológicas deste tipo de produtos.

Marchetti et al. (2013) utilizaram varredura de frequência e de temperatura para observar o comportamento de emulsões cárneas com adição de diferentes emulsificantes (proteínas do leite, concentrado proteico de soro, albumina entre outras). Durante o aquecimento (25 °C até 70 °C) para massa crua verificaram que, com o aumento da temperatura, os módulos de elasticidade aumentam, além de ajudar na determinação da natureza da matriz proteica. Usando varredura de frequência (0,0628 e 62,8 rad/s), estes autores verificaram que as amostras de salsicha apresentaram comportamento de sólido viscoelástico.

2.3.2 Análise do Perfil de Textura (TPA)

A avaliação instrumental do perfil de textura foi criada para diminuir a incidência dos problemas e das interferências inerentes à análise sensorial com julgadores; as maiores dificuldades deste teste são a variabilidade e a dificuldade na análise e interpretação subjetivos dados (ANZALDÚA, 1994).

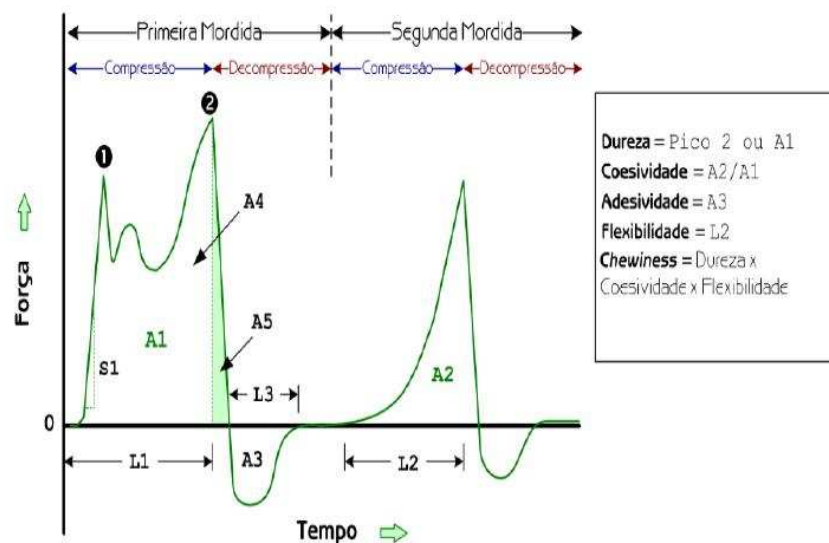
Segundo Anzaldúa (1994), a textura é uma propriedade sensorial dos alimentos detectada pelos sentidos do tato, visão, audição, que é manifestada quando o alimento sofre uma deformação. O homem é o melhor julgador para as características de textura, mas é possível avaliá-la instrumentalmente, quimicamente e mediante microscopia.

A textura, assim como a maciez, é um termo relacionado à percepção sensorial e, portanto, está ligada à impressão subjetiva. A análise de TPA é uma técnica

instrumental, muito utilizada para medir a resistência de diferentes materiais; isto é possível mediante a utilização do texturômetro, que pode analisar diferentes tipos de alimentos (RAMOS; GOMIDE, 2007).

O termo TPA é comumente referido ao teste de compressão de dois ciclos que permite avaliar vários parâmetros de textura que se correlacionam com os atributos sensoriais. Consiste em dois ciclos completos de compressão e decompressão de uma pequena amostra do alimento, de forma a simular a ação dos dentes durante o processo de mastigação. A força necessária, durante os dois ciclos, para comprimir a amostra é medida e representada graficamente numa curva de deformação tempo versus força. Uma vez que o método de TPA é usado na tentativa de refletir a percepção humana da textura, o primeiro e o segundo ciclo de compressão são geralmente referidos como primeira e segunda mordida (RAMOS; GOMIDE, 2007).

Está análise gera gráficos, como o apresentado na Figura 11, a partir dos quais as dimensões ou os parâmetros de textura, como, dureza, coesividade, adesividade, flexibilidade e mastigabilidade (dureza x coesividade x flexibilidade) serão diretamente obtidos.



Fonte: Ramos e Gomide (2007).

Figura 11 – Curva típica de deformação obtida da análise por TPA em alimentos sólidos ou semissólidos.

A dureza é definida como a força necessária para se alcançar determinada deformação; é encontrada a partir da área total (A1), ou pico de força máxima (2), durante a simulação da primeira mordida. A coesividade é definida como a força das

ligações internas que determina a extensão em que o alimento é deformado antes da ruptura; é obtida pela razão entre as áreas positivas da segunda (A2) e da primeira (A1) mordida; representa como o alimento responde à segunda compressão, após suportar a primeira. A elasticidade ou flexibilidade, trata-se da taxa em que o material deformado retorna à sua condição inicial pela remoção da força deformadora, sendo definida como a distância (L2) necessária para a detecção do pico de deformação após o fim da primeira mordida e o início da segunda. Por fim, a mastigabilidade é a energia requerida para se desintegrar o alimento sólido a um estado pronto para ser engolido, sendo obtido pelo produto da dureza, coesividade e elasticidade (RAMOS; GOMIDE, 2007).

Segundo Sun e Holley (2011), a concentração de proteína disponível para geleificação é fundamental na determinação de propriedades reológicas da matriz formada durante o processamento de embutidos cárneos e determina a textura e a estabilidade de produtos cárneos.

Comparando a textura de uma formulação-controle com aquelas de formulações com 50% de redução de gordura por fibra de konjac, Jiménez-Colmenero et al. (2010) verificaram pequenas alterações na dureza e mastigabilidade. Segundo eles, ao se usar água como substituto de gordura, pode-se elaborar produtos com até 50% de redução de gordura sem maiores alterações na sua textura. Entretanto, a substituição de gordura por fibra de konjac (fibra dietética solúvel em água, extraída da raiz de konjac) torna o produto mais duro e borrachento, o que eles atribuíram à falta de disponibilidade de água para a formação da matriz proteica.

Em outro trabalho, Jiménez-Colmenero et al. (2012) determinaram que a utilização de gordura dorsal de suíno em produtos cárneos gera produtos com menor elasticidade e coesividade, mas gera maior consistência, do que em produtos cárneos adicionados de fibra de konjac; este fato foi atribuído ao seu maior conteúdo de colágeno e água. As diferenças nos parâmetros de textura diferiram segundo o tipo de produto cárneo e a forma de adição da fibra.

Marchetti et al. (2013) concluíram que a substituição de gordura de suíno por óleo de peixe na elaboração de salsicha, produz uma redução de 40,2% da dureza, sendo o parâmetro mais afetado; esta tendência é semelhante para a mastigabilidade. Segundo os autores, este fato pode ser controlado com a adição de diferentes macromoléculas, como o concentrado proteico de soro, proteínas do leite, goma xantana, entre outras.

Yilmaz et al. (2012) indicaram que, em emulsões cárneas, tipo Bologna, a adição de óleo levou à diminuição nos parâmetros de adesividade e elasticidade; além disso, revelaram que os parâmetros de textura das amostras de emulsão cozida podem ser estimados antes do seu processo de cozimento, usando ensaios reológicos de fluência e recuperação, ajudando a economizar tempo e custo na fabricação de produtos com características estruturais e de textura aceitáveis.

Cofrades et al. (2000) concluíram que, em comparação com as amostras-controle, a adição de algas marinhas de diferentes espécies aumentou significativamente a dureza e a mastigabilidade; e reduziu a elasticidade e a coesividade em produtos cárneos emulsionados com baixo teor de sal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Processamento e de Análise de Carnes e Derivados e no Laboratório de Desenvolvimento e Simulação de Processos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

3.1 Matéria-prima

Na formulação das mortadelas foi utilizado o corte patinho bovino e o toucinho suíno fresco adquiridos no mercado local e fibras comerciais, VITACEL[®]WF 600 e Orafti[®]GR (BENEIO). A VITACEL[®]WF 600 é uma combinação de fibras insolúveis (74% de celulose, 26% de hemicelulose, e < 0,5% de lignina) extraídas do trigo, que possui 97% de fibras alimentares. A Orafti[®]GR é um produto composto de, aproximadamente, 92% de inulina, com grau de polimerização superior a 10, extraído da raiz chicória (OGNEAN et al., 2006).

3.2 Delineamento experimental

O experimento foi estruturado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com 13 tratamentos e três repetições, totalizando de 39 unidades experimentais.

Além da formulação-controle (FC – sem redução do teor de toucinho e sem adição de fibras), foram elaboradas 12 formulações, divididas em dois grupos (Figura 12).

3.3 Formulações e processamento

A Tabela 1 apresenta as diferenças das diversas formulações experimentais quanto ao teor de carne, toucinho, fibras e água.

Todas as concentrações finais dos demais ingredientes, como condimentos, sais de cura, etc., foram mantidas.

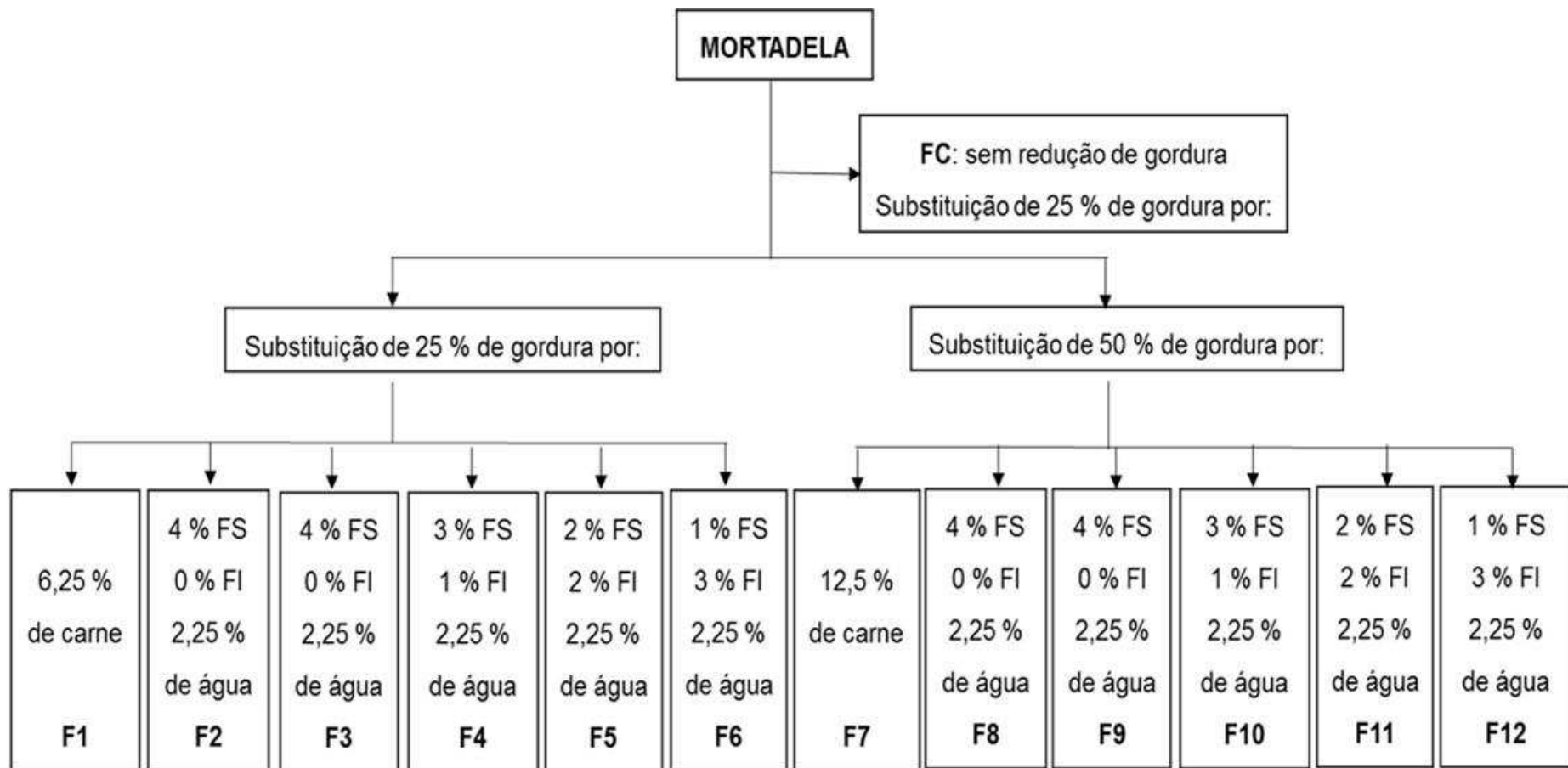


Figura 12–Delineamento experimental para elaboração de diferentes formulações de mortadela.

Tabela 1 – Percentual dos ingredientes utilizados no preparo da massa crua para elaboração das diferentes formulações experimentais

Ingredientes (%)	Formulações												
	Fc	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Patinho bovino	50,4	56,65	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4	62,9	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
Toucinho	25	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Fibra solúvel	0	0	4	3	2	1	0	0	4	3	2	1	0
Fibra insolúvel	0	0	0	1	2	3	4	0	0	1	2	3	4
Água (gelo)	15,08	15,08	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	15,08	23,58	23,58	23,58	23,58	23,58
Total (%)	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99

Fc = formulação-controle; F1 = formulação com substituição de 25% de gordura (toucinho) por carne; F2 a F6 = formulações com substituição de 25% de gordura (toucinho) por 4% de fibras alimentares mais 2,25% de água, em relação ao 100%; F7 = formulação com substituição de 50% gordura (toucinho) por carne; e F8 a F12 = formulações com substituição de 50% de gordura (toucinho) por 4% de fibras alimentares mais 8,5% água.

Embora pela legislação atual (BRASIL, 2012) a denominação de “rico em fibras” seja inapropriada, a adição de 4% de fibra foi escolhida com base na dissertação de Guimarães (2011), para se garantir a produção de mortadelas ricas em fibra, segundo o limite mínimo estabelecido à época pela legislação brasileira (BRASIL, 1998). Pela atual legislação brasileira (BRASIL, 2012), para ser considerada fonte em fibra os produtos devem ter 2,5 gramas de fibra por porção de 40 gramas (BRASIL, 2003).

Antes de se elaborar as formulações, o patinho foi limpo, para remoção de gordura e tecido conectivo aparente, moído em disco de 14 mm e congelado. A carne moída foi colocada no cutter (Mainca, MD-40 BL), junto com o gelo e cuterizada por 2 minutos, em velocidade mínima de facas (1500 rpm) e de bacia (10 rpm). Neste ponto, foram acrescentados, em intervalos de cerca de 30 segundos, os demais ingredientes não cárneos, na seguinte ordem: 0,19% de fosfato (FOXMAX, New Max, São Paulo, SP, Brasil), 1,73% de NaCl, 0,23% de sal de cura (CURAMAX, New Max, São Paulo, SP, Brasil), 0,19% de fixador de cor (FIXAMAX, New Max, São Paulo, SP, Brasil), 3,02% de proteína texturizada se soja (JASMINE, Curitiba, PR, Brasil), 0,38% de condimento para mortadela (condimento para mortadela 532, New Max, São Paulo, SP, Brasil), 3,77% de fécula de mandioca (AMAFIL, Distrito de São Lourenço, Cianorte, PR, Brasil), e as misturas de fibras (em forma seca), quando utilizadas. Após 30 segundos do último ingrediente não cárneo, elevou-se a velocidade de faca (3000 rpm) e de bacia (20 rpm) para o máximo e se acrescentou o toucinho picado em cubos de 2 cm. Continuou-se com a cutterização até que a massa atingisse cerca de 16 °C. Finda a cuterização, a massa foi embutida em tripa artificial bidirecionada de 67 mm de diâmetro (Startripz 67, vermelha, marca Spel), utilizando uma embutideira hidráulica (Mainca, EM-25) acoplada de um funil de 28 mm. A seguir, as mortadelas foram cozidas em banho-maria com a seguinte programação de temperatura: 55 °C/30 minutos, 65 °C/30 minutos, 75 °C/30 minutos e 85 °C/30 minutos, até atingir temperatura interna de 74 °C, quando foram retiradas do cozimento e resfriadas por imersão em tacho com água e gelo. Esse processo está esquematizado na Figura 13.

3.2 Análises físico-químicas

O teor de umidade da massa crua da mortadela foi determinado por secagem em estufa até peso constante, conforme o método 950.46 da AOAC (1998).

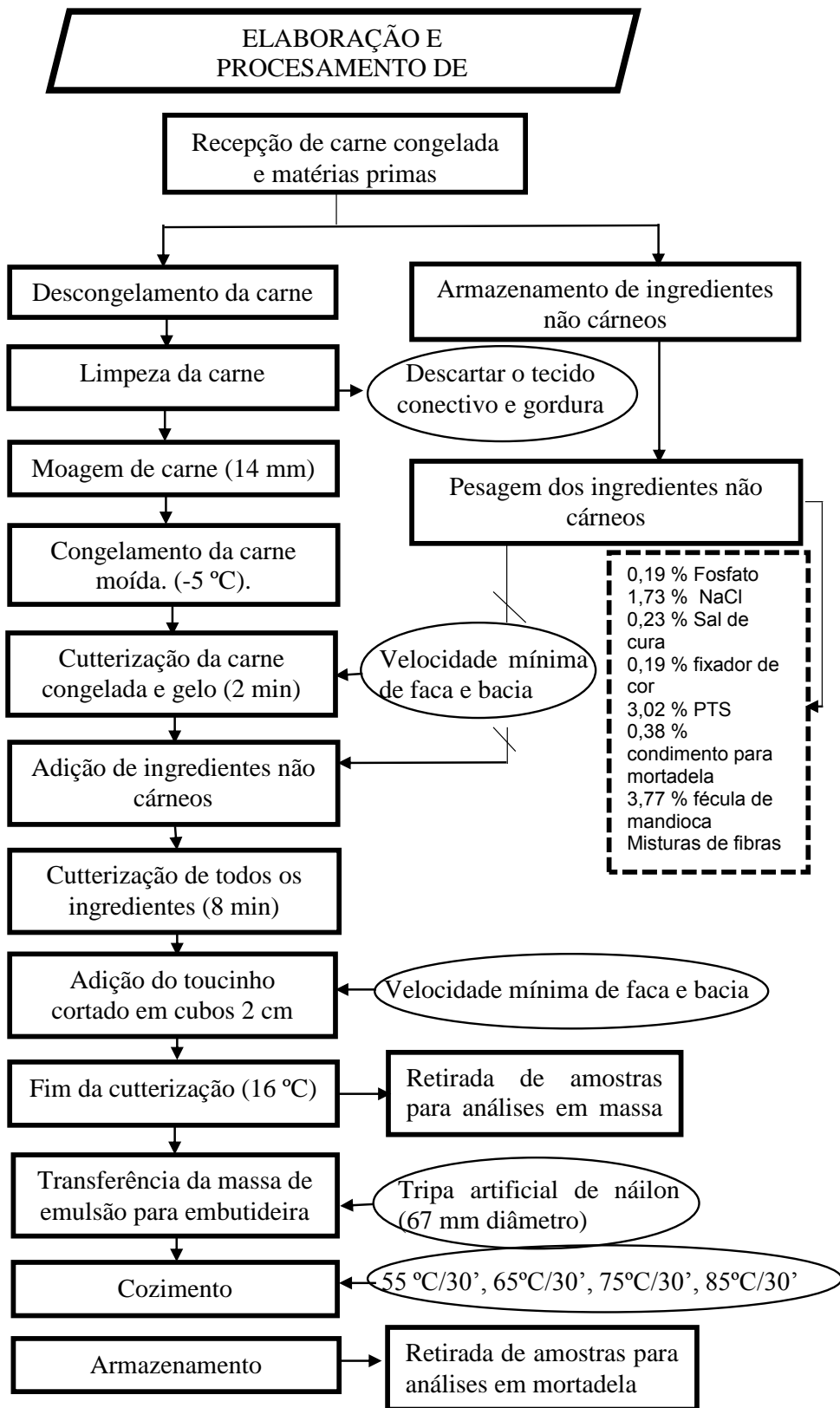


Figura 13 – Diagrama de fluxo para processamento de mortadela.

Foram pesadas 3 gramas de massa crua em placas de Petri previamente lavadas, secas, a 105 °C por 2 horas, dessecadas e pesadas. O conjunto de placa de Petri mais amostra foi, levado para estufa a 105 °C por 24 horas, após que resfriada em dessecador em temperatura ambiente

Depois de atingir peso constante, o teor de umidade foi determinado da seguinte forma (Eq. 13):

$$\%U (m/m) = \left(\frac{P_S}{P}\right) * 100 \quad (\text{Eq. 13})$$

em que

$\%U$ = percentual de umidade;

P_S = massa de amostra seca (g); e

P = massa amostra (g).

O teor de lipídeos totais na massa crua foi determinado conforme o método 960.39 da AOAC (1998).

Em um béquer de 500 mL foi pesado entre 3 e 3,5 g de massa crua para posterior hidrólise ácida, por 15 min, em capela de exaustão, com HCl 8N. A mistura resultante foi filtrada a quente em papel filtro qualitativo (Whatman nº 1).

O papel de filtro com o resíduo foi colocado num cartucho de celulose, em estufa a 105 °C por 12 horas. O cartucho com resíduo seco protegido com algodão foi colocado posteriormente no extrator de Soxhlet.

Simultaneamente, o filtrado foi colocado em funil de separação de 500 mL, e foram adicionados 100 mL de éter de petróleo. Uma lavagem com 50 mL de éter de petróleo foi feita no erlenmeyer que continha o filtrado adicionando-o ao funil. Após separação das fases polar e apolar, foi transferida fase polar para um balão de fundo chato de 500 mL, previamente lavado, seco e pesado.

Posteriormente, foi montada a extração por Soxhlet, com recirculação por 4 horas, recuperando o éter e transferindo o balão para estufa a 105 °C por 12 horas. Depois de resfriados em dessecador à temperatura ambiente, os balões contendo os lipídeos foram cuidadosamente pesados, até massa constante.

O teor de lipídeos foi determinado pela seguinte equação:

$$\%LIP (m/m) = \left(\frac{P_{L+B} - P_B}{P} \right) * 100 \quad (\text{Eq. 14})$$

em que

$\%LIP$ = percentual de lipídeos;

P_{L+B} = peso do balão mais lipídeos encontrados (g);

P_B = peso do balão vazio(g); e

P = peso da amostra(g).

O teor de proteína na massa crua da mortadela foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl, conforme descrito no método 928,08 da AOAC, (1998).

Em papel-manteiga foram pesados 0,5 g de amostra de massa crua de mortadela, que foram transferidos para um tubo de micro Kjeldahl e adicionados 10 mL de solução digestora. O aquecimento foi realizado em bloco digestor a 50 °C/30 min até 250 °C. O processo de digestão ocorreu até a mistura ficar transparente e apresentar coloração azul-esverdeada. Depois do esfriamento dos tubos, foram levados ao destilador e neutralizados com NaOH 40%. Foi recolhido o destilado (250 mL) em erlenmeyer de 500 mL, com 25 mL de ácido bórico a 4% e indicador de Tashiro. Finalmente, o destilado recolhido foi titulado com HCl 0,05N padronizado, até viragem da cor.

O percentual de proteína (% PTN) foi determinado pela seguinte equação:

$$\%N = \frac{V * N * F_c * 1,4}{P} \quad (\text{Eq. 15})$$

$$\%Ptn = \%N * 6,25$$

em que

$\%Ptn$ = percentual de proteína;

N = normalidade da solução de HCl;

V = volume gasto na titulação com HCl (ml);

F_c = fator de correção da solução de HCl; e

P_A = peso da amostra (g).

3.5 Capacidade de retenção de água (CRA)

A capacidade de retenção de água da mortadela foi estimada em triplicata para cada repetição, mediante teste de pressão segundo metodologia de Grau e Hamm (1957) modificada por Pietrasik (1999). Foram cortadas fatias de mortadela de 2 mm de espessura e 67 mm de diâmetro com fatiador de frios GURAL AXT-301. As fatias foram previamente pesadas e colocadas sobre uma superfície lisa entre duas folhas de papel de filtro Whatman nº 1 previamente pesadas. Em seguida, aplicou-se sobre elas um peso de 2 kg por 5 minutos.

O percentual de água perdida (% AP) foi calculado da seguinte forma (Eq. 16):

$$\%AP = \frac{P_{PF+A} - P_P}{P} * 100 \quad (\text{Eq. 16})$$

em que

$\%AP$ = porcentagem de água perdida ;

P_{PF+A} = massa de água + papel filtro após pressão (g) ;

P_P = massa do papel filtro (g); r

P = massa de amostra de mortadela (g).

Amostras com maior %AP apresentam menor CRA.

3.6 Estabilidade da emulsão

Para cada repetição, a estabilidade da emulsão da massa crua das mortadelas foi determinada em triplicata, mediante a metodologia de Hughes et al. (1997).

Foram pesados aproximadamente 30 g da massa crua recém-elaborada, em tubos de centrífuga de polietileno de fundo cônico de 50 mL de capacidade.

Em seguida as amostras foram centrifugadas à temperatura ambiente em centrífuga BR4i JOUAN, acoplada com rotor Swing-out S40, por 1 min a 4.000 rpm (3.000 x g).

Depois da centrifugação os tubos foram aquecidos em banho-maria por 30 min à 80 °C e novamente centrifugados por 3 min a 4.000 rpm (3.000 x g).

O sobrenadante foi transferido para uma proveta de 10 mL, se adicionou 5 mL de éter de petróleo ao tubo da centrifuga para retirada de eventual gordura superficial, e foi transferido para a proveta. O extrato etéreo foi transferido para uma placa previamente pesada e foi levada à estufa por 12 horas a 75 °C, depois esfriado em dessecador e cuidadosamente pesada.

A estabilidade da emulsão foi determinada em termos da percentagem de gordura exsudada (%GEX) (Eq. 17):

$$\%GEX = \frac{G}{P * L} * 100 \quad (\text{Eq. 17})$$

em que

$\%GEX$ = percentual de gordura exudada ;

G = gordura obtida do diferencial entre a massa das placas (g) ;

P = massa da amostra (g);e

$\%L$ = percentual de lipideos da massa crua.

Amostras com maior %GEX apresentaram menor estabilidade de emulsão.

3.7 Perfil de textura instrumental (TPA)

A análise do perfil de textura instrumental (TPA) foi realizada com o uso de texturômetro TA-XT (Texture Technologies Corp./Stable Micro Systems) provido de uma célula de carga de 50 kg, conforme metodologia descrita por Ramos e Gomide (2007).

Com uma faca, foram cortadas 12 fatias (replicatas) de 15 mm de altura da região central das mortadelas. Em seguida, da região central de cada fatia (67 mm de diâmetro), retirou-se, com auxílio de uma sonda metálica, cilindros com 25 mm de diâmetro. Assim, cada amostra possuía 15 mm de altura e 25 mm de diâmetro.

Na obtenção dos resultados de textura foi utilizada sonda de compressão cilíndrica de 35 mm de diâmetro (Aluminium Cylinder Probe SMS, P/25). As amostras de mortadelas foram comprimidas em 50% da altura original, em dois ciclos de compressão, a uma velocidade de 1 mm·s⁻¹.

As curvas características do perfil de textura foram geradas no programa Texture Expert Stable Micro Systems, em que se obtiveram os dados necessários para cálculo dos parâmetros de dureza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade (RAMOS; GOMIDE, 2007).

3.8 Análise reológica

Utilizou-se um reômetro MARS (HAAKE MARS, Thermo Electron Corp., Alemanha) equipado com um sensor de placas paralelas (35 mm de diâmetro e gap de 1 mm), e acoplado a um banho termostático (Phoenix 2C30P, Thermo Electron Corp., Alemanha).

Foi realizada uma leitura por amostra de cada formulação, para os seguintes testes: relaxamento de tensão e dinâmico-oscilatórios, descritos a seguir.

3.8.1 Teste de relaxamento de tensão

A mortadela foi cortada utilizando-se uma sonda metálica em cilindros de 35 mm de diâmetro e 20 mm de espessura, amostrados na região mais interna das mortadelas. Essas amostras foram comprimidas à taxa constante de $0,48 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, até que a altura final correspondesse a 90% da espessura original dos cilindros. A tensão requerida para manter esta deformação foi registrada a cada 0,25 min durante 25 min. As curvas de relaxamento de tensão foram normalizadas e linearizadas segundo os modelos de Peleg (1987) (Eq. 18) e de Maxwell de dois termos (STEFFE, 1996) (Eq. 19).

$$(\tau_0 \cdot \tau) / (\tau_0 - \tau) = k_1 + k_2 \cdot t \quad (\text{Eq. 18})$$

$$\tau(t) = \tau_1 \exp\left(-t/\lambda_1\right) + \tau_2 \exp\left(-t/\lambda_2\right) \quad (\text{Eq. 19})$$

em que

τ_0 (kPa) = valor máximo de tensão medido no início do ensaio;

τ (kPa) = tensão após t segundos;

k_1 e k_2 = constantes da equação;

t = tempo (s). O recíproco de k_1 descreve a taxa de decaimento inicial da tensão e o recíproco de k_2 representa o valor hipotético da assíntota da tensão normalizada (STEFFE, 1996); e

λ_1 e λ_2 (s) =são os tempos de relaxamento, τ_1 e τ_2 (kPa)são as tensões de decaimento, e τ_n é a tensão instantânea nos testes de relaxamento de tensão.

3.8.2 Teste dinâmico oscilatório

Neste ensaio foram realizadas três varreduras: uma de tensão, uma de frequência e uma de temperatura, para monitoramento dos módulos de armazenamento e perda (G' e G'') e da tangente do ângulo de fase ($\tan \delta$), que é a razão entre G'' e G' .

Preliminarmente, a fim de se determinar a faixa de tensões aplicáveis aos materiais sem que esses sofressem ruptura, foram realizadas varreduras de tensão, variando de 0,01 a 1.000 Pa, a uma frequência de 1 Hz ($6,28 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$) e à temperatura constante de 25 °C (IKEDA, 2003; ANDRADE; NASSER, 2005; SONG et al., 2009). Esta análise foi feita tanto para a mortadela (fatias cortadas por meio de fatiador marca GURAL, modelo AXT-301, com 2 mm de espessura) quanto para a massa crua. Com base nos resultados, foi estabelecido o valor de tensão de 10 Pa para execução das análises dinâmico-oscilatórias subsequentes (varredura de frequência e de temperatura).

A varredura de frequência foi conduzida entre 0,01 e 10 Hz, à temperatura de 25 °C (SCHRAMM, 2004).

A varredura de temperatura foi conduzida estabelecendo uma variação de temperatura entre 10 °C e 80 °C no banho termostático, à taxa de aquecimento de $2 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ e frequência constante igual a 1 Hz (MACHADO, 2012). A temperatura final alcançada na amostra foi de 75 °C.

3.9 Análises estatísticas

Os dados da composição centesimal, da CRA, da estabilidade de emulsão, do perfil de textura e dos testes dinâmicos oscilatórios (varredura de frequência em 10 Hz), foram interpretados a 5% de probabilidade, por análise de variância. Para comparar todas as médias das formulações foi utilizado o teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade. Para verificar o efeito da redução de gordura e, ou, não adição de fibra alimentares foi utilizado o teste de Dunnett, a 5% de probabilidade comparando com a formulação-controle (FC). Também foi utilizado este teste considerando como controle a formulação F1 e a formulação F7 quando o objetivo foi comparar o efeito da adição

de diferentes proporções de fibras alimentares para cada nível de substituição de toucinho. Dentro de cada nível de substituição de toucinho por misturas de fibras realizou-se a análise de regressão em função dos níveis de fibras solúveis (ou insolúveis). O modelo de regressão foi escolhido baseado na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de t, a 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação (R^2) e no fenômeno.

Para análise da estimativa dos parâmetros dos modelos de Peleg e Maxwell de dois termos, os dados foram analisados por regressão não linear, utilizando o programa estatístico SAS NLIN (regressão não linear) e o método iterativo de Marquardt. Foram determinados os parâmetros dos modelos, a %RMS, por meio da equação 20, e o coeficiente de determinação R^2 (soma de quadrados da regressão/soma de quadrados totais), a partir da análise da média das três repetições. A %RMS foi determinada por meio da Eq. 20.

$$RMS = 100 \sqrt{\frac{\sum((Y - \hat{Y})/Y)^2}{N}} \quad (\text{Eq.20})$$

em que

Y = valores experimentais;

\hat{Y} = valores determinados pelo modelo; e

N = número de pontos experimentais.

Os valores de R^2 foram calculados para cada modelo.

Para comparar a existência da diferença do contraste entre os dois grupos de substituição de toucinho por misturas de fibras foi feito uma análise de contrastes a 5% de probabilidade.

Os dados foram analisados utilizando-se o programa estatístico SAS, versão 9.2 (Statistical Analysis System – SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição centesimal

Nas Figuras 14, 15 e 16 são apresentados os resultados das análises de composição centesimal de todas as formulações de massa crua de mortadela, em função da mistura de fibras insolúveis (FI) e solúveis (FS).

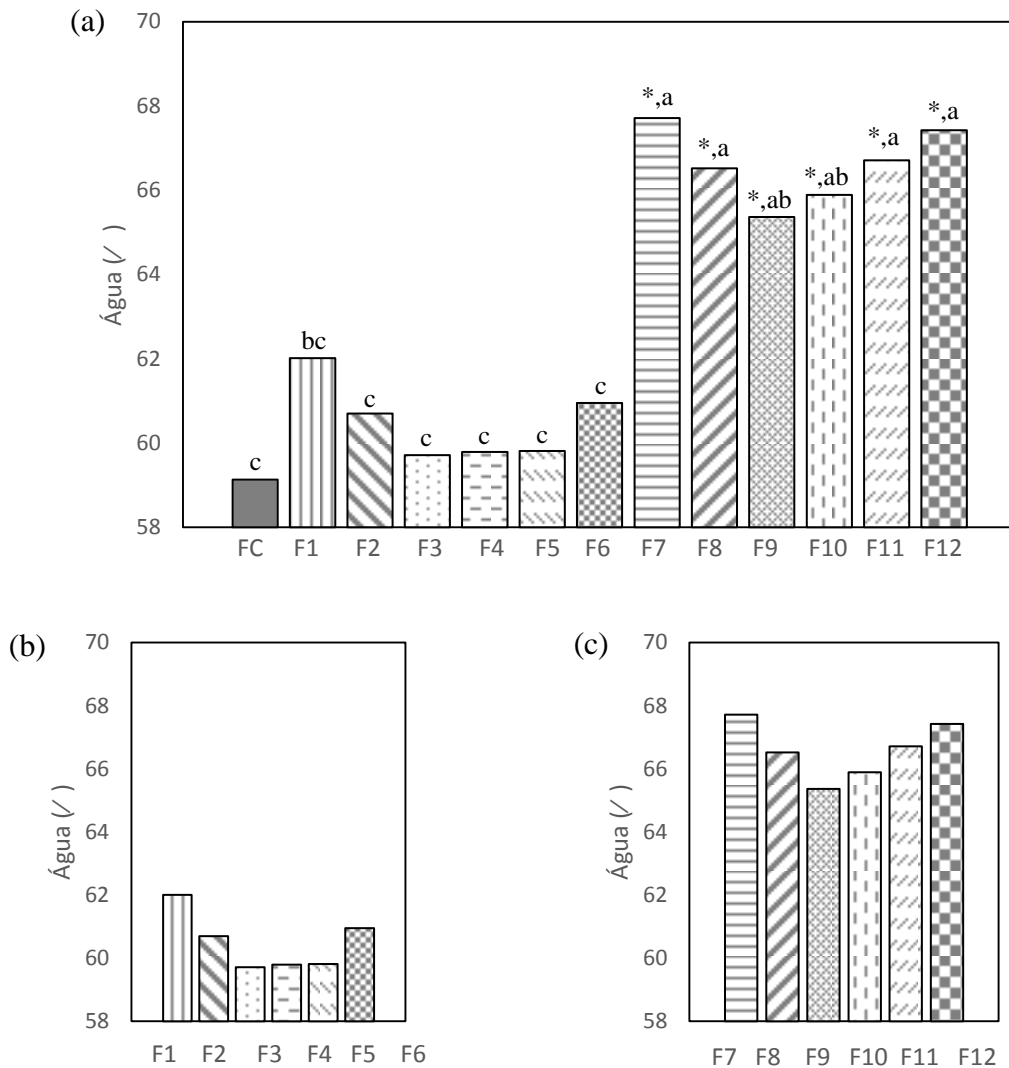


Figura 14 – Variação no teor de água na massa crua para as diferentes formulações de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC = formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

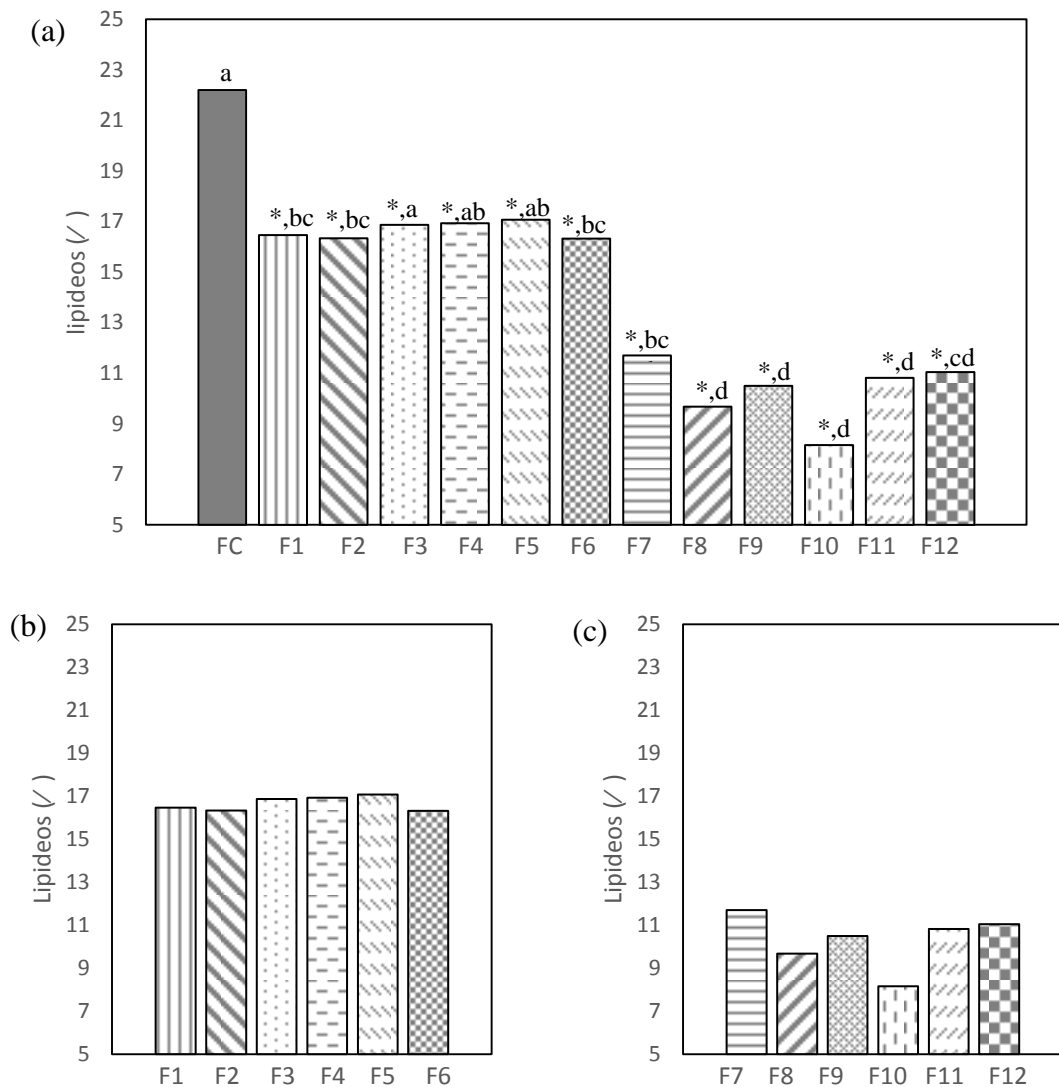


Figura 15 – Variação no teor de lipídeos na massa crua para as diferentes formulações de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC = formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

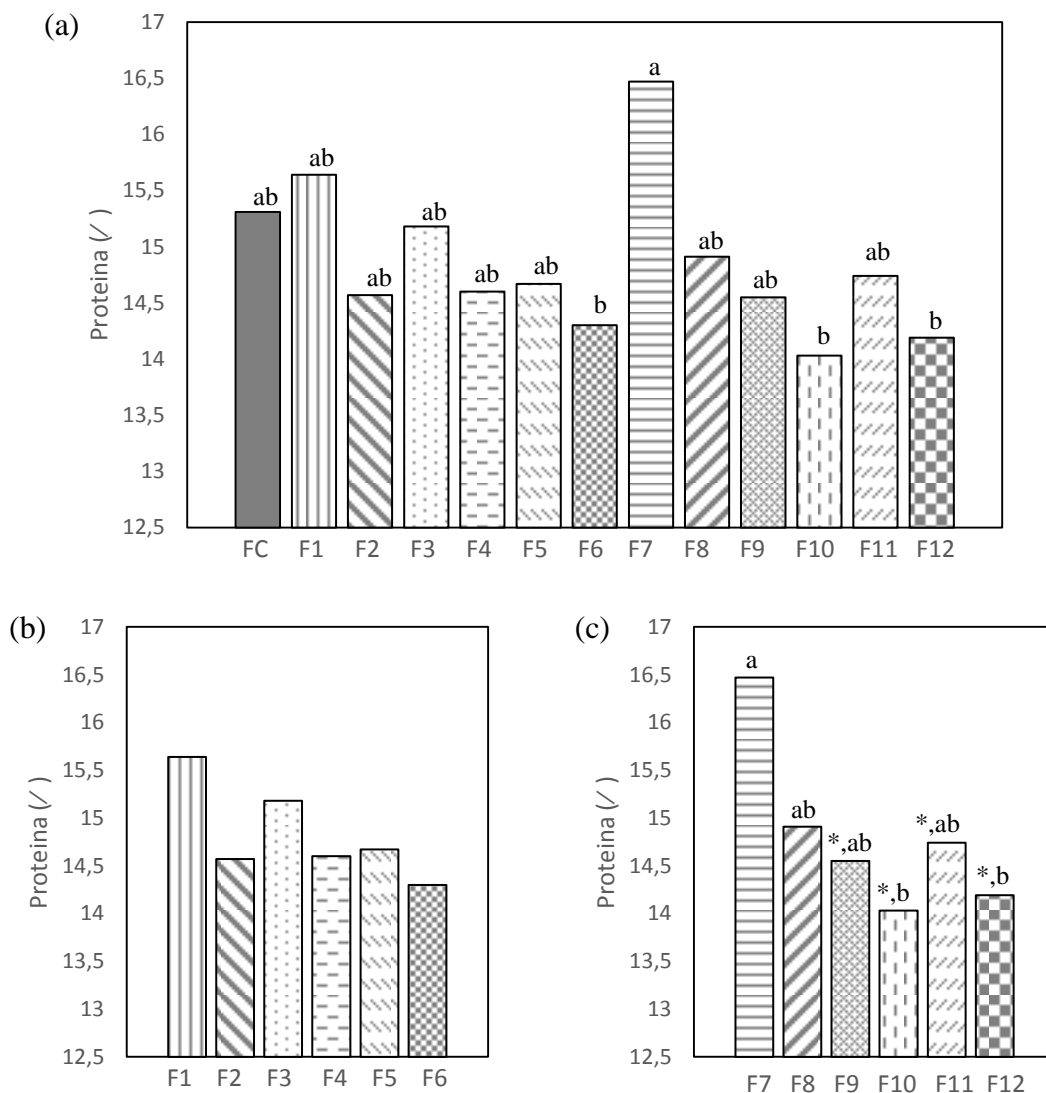


Figura 16 – Variação no teor de proteína na massa crua para as diferentes formulações de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC =formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O teor de água total da massa crua de mortadelas formuladas com 25% de substituição de toucinho por carne (F1 = 62%) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 = 60,7% a F6 = 61%) não diferiu ($P > 0,05$) daquele da FC (59,13%). Porém, ao se reduzir em 50% a quantidade de toucinho nas formulações de massa crua de mortadelas, o teor de umidade dos tratamentos (F7 = 67,7% a F12 = 67,42%) foi maior ($P < 0,05$) daquele da FC. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Guimarães (2011).

O aumento no teor de umidade ao se reduzir a adição de toucinho e substituí-la por carne ou por misturas de fibras e água era esperado, já que o patinho (cru e limpo) tem, em média, 72,9% de umidade e o toucinho apenas 28% de umidade (TACO, 2006). Assim, na substituição de 25% de toucinho por carne, o teor de água na massa crua deveria aumentar em 3,1% e aumentou em 2,88%. A 50% de substituição de toucinho por carne o teor de água deveria aumentar em 5,61% menor do que o observado (8,6%).

Tanto a 25% como a 50% de redução de toucinho não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) ao se substituir o toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares e água (Figura 14b e c).

Estes resultados se assemelham aos obtidos por Guimarães (2011) para o nível de 25% de redução de gordura. Entretanto, esta autora verificou que a 50% de substituição de toucinho por fibras insolúveis o teor de água foi inferior ($P < 0,05$) àquele observado quando 50% do toucinho foi substituído por carne; apenas no menor nível de fibra insolúvel esta autora não evidenciou diferença entre a substituição de toucinho por carne ou por mistura de fibras solúveis e insolúveis e água.

Huang, Tsai e Chen (2011) observaram que o teor de água das formulações de embutidos chineses adicionadas de fibras (de trigo, de aveia ou de inulina) foi menor do que aquele do controle.

A legislação vigente (BRASIL, 2000) prevê que em mortadelas os teores de água e lipídeos devem ser, no máximo, de 65% e 30%, respectivamente, e o teor de proteína não deve ser inferior a 12%. Embora as formulações sejam adequadas quanto aos teores de lipídeos e proteína, o teor de umidade nas formulações com 50% de substituição de gordura apresentaram teores superiores ao limite máximo permitido na legislação brasileira, tendo em vista que para este nível de redução de toucinho talvez seja necessário aumentar o teor de fibra e diminuir o teor de água adicionada em 1%.

O teor de lipídeos (Figura 15) das massas cruas de mortadelas formuladas pela substituição de 25% e 50% de toucinho por carne (F1 = 16,5% e F7 = 11,7%, respectivamente) ou por misturas de fibra solúveis e insolúveis e água (F2 = 16,33% a F6 = 16,32%, e F8 = 9,75% a F12 = 11%) é inferior ($P < 0,05$) àquele da FC (22,2%).

A redução no teor de lipídeos ao se reduzir a adição de toucinho e substituí-la por carne ou por misturas de fibras e água também era esperado, já que o patinho (cru e limpo) tem, em média, 4,5% de lipídeos contra 60,3% de lipídeos no toucinho (TACO, 2006). Assim, na substituição de 25% de toucinho por carne, o teor de lipídeo na massa crua deveria diminuir em 3,47%, valor inferior ao observado (5,74%). A 50% de substituição de toucinho por carne o teor de lipídeos deveria diminuir em 7,04%, valor inferior ao observado (10,5%).

Em cada nível de substituição de toucinho (25% ou 50%), os teores de lipídeos das formulações com substituição por misturas de fibras alimentares (F2 a F6 e F8 a F12), não diferiram ($P > 0,05$) daquela com substituição por carne (F1 e F7). Esse fato se deve à adição de quantidades iguais de toucinho nas formulações pertencentes a um mesmo grupo de substituição de gordura. Resultados semelhantes foram apresentados por Guimarães (2011) e por Huang et al. (2011).

Ao se reduzir o teor de toucinho em 25% e 50%, o teor de proteínas das formulações não diferiu ($P > 0,05$) daquele da formulação-controle (15,31%). Quando se substituiu 25% de toucinho não houve diferença nos teores de proteína entre as massas cruas de mortadelas formuladas com quantidades adicionais de carne (F1) e aquelas formuladas com misturas de fibras solúveis e insolúveis e água. Já, a 50% de redução de toucinho a massa crua de mortadelas formuladas com quantidades adicionais de carne (F7) apresentou ($P < 0,05$) teor de proteína maior do que aqueles de formulações baseadas na substituição de toucinho por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água.

Ausência de diferença no teor de proteínas ao se reduzir a adição de toucinho e substituí-la por carne ou por misturas de fibras e água era esperado, já que o patinho (cru e limpo) e a PTS usada têm, respectivamente, em média, 21,7% e 52% (PTS JASMINE) de proteína, contra 11,5% do toucinho (TACO, 2006). Assim, na substituição de 25% de toucinho por carne, o teor de proteína na massa crua deveria aumentar em 0,77% e aumentou em 0,33%. A 50% de substituição de toucinho por

carne o teor de proteína deveria aumentar em 1,43% menor do que o observado (1,16%).

Guimarães (2011) verificou que a substituição de toucinho por misturas de fibras alimentares não influencia no teor de mortadelas, o que atribuiu ao fato de se ter, nessas formulações, adicionado iguais quantidades de carne e proteína texturizada de soja, principais fontes de proteínas das mortadelas. Esta autora evidenciou que, em qualquer nível (25% ou 50%) de substituição de toucinho por carne houve ($P < 0,05$) aumento no teor de proteínas das mortadelas.

Huang et al. (2011) testaram três tipos de fibras em salsichas e observaram que o teor de proteína diminuiu quando se aumentou o teor de fibra insolúvel oriunda do trigo. Este resultado é semelhante aos resultados da Figura 16, em que a F6 (0% FS e 4% FI) teve o menor teor de proteína das formulações com substituição de 25% de toucinho (primeiro grupo). Mas, em geral, as comparações com FC não foram significativas ($P > 0,05$), ou seja, o teor de proteína é independente da redução de gordura e adição de fibras alimentares.

4.2 Capacidade de retenção de água e estabilidade da emulsão

Os resultados da capacidade de retenção de água (CRA) realizados nas mortadelas estão representados na Figura 17. Observou-se uma tendência de diminuição ($P > 0,05$) de perda de água (aumento da CRA) à medida que aumenta o teor de fibra insolúvel nas amostras. Este fato também foi observado no estudo de Barreto (2007) que substituiu gordura por fibras comerciais de trigo (5%), aveia (4%) e inulina (10%). A fibra insolúvel extraída do trigo apresentou menor perda de água, inferindo que consegue reter mais água.

Embora o teor de água perdida não varie com o aumento nos níveis de fibra insolúvel (diminuição nos níveis de fibra solúvel de baixo peso molecular) em mortadelas formuladas com 25% de redução de toucinho, verificou-se que com 50% de redução de toucinho a perda de água diminuiu ($P < 0,05$) com o aumento no teor de fibras insolúvel (diminuição no teor de fibra solúvel).

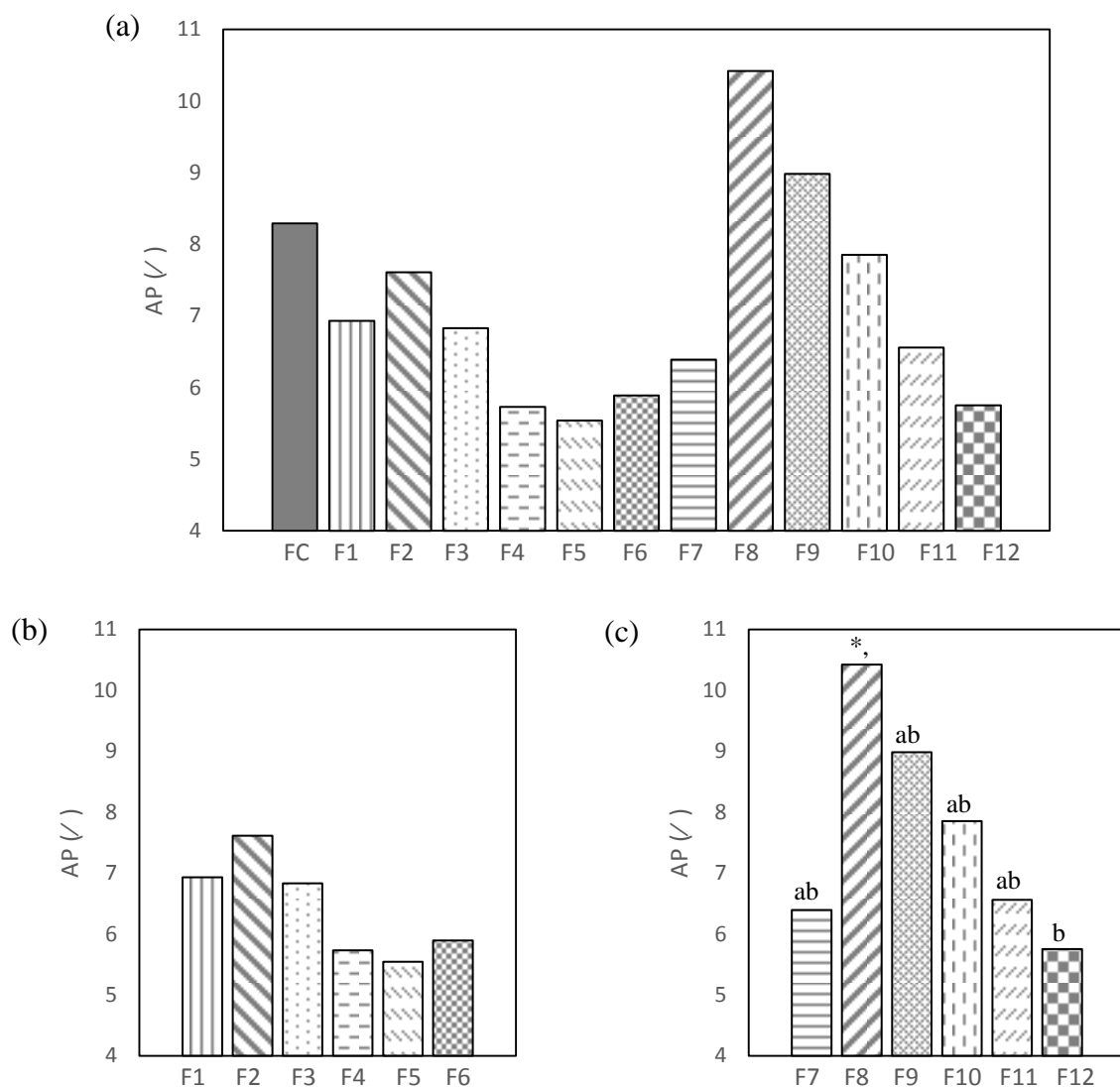


Figura 17 – Variação da percentagem de água perdida de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC =formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Entretanto, em nenhuma das reduções de toucinho o teor de água perdida diferiu ($P > 0,05$) daquele observado para a FC. A 25% de redução de toucinho, a perda de água observada na substituição de toucinho por carne (F1) foi similar às aquelas observadas pela substituição de toucinho por misturas de fibra e água.

Com 50% de redução de toucinho, o teor de água perdida na amostra com substituição de toucinho por carne (F7) foi maior ($P < 0,05$) do que aquele da amostra formulada com 4% de FS e 0% de FI (F8). As demais formulações baseadas na adição de fibras (F9 a F12) não diferiram ($P > 0,05$) da F7. Este fato é corroborado por Tornberg (2013), que indica que a formação de gel em carnes envolve a desnaturação das proteínas miofibrilares, seguida da agregação irreversível e resultando em uma rede tridimensional na qual a água é imobilizada, mas cuja força (interações proteína – proteína) é inversamente proporcional à capacidade de retenção de água (interações proteína – água)

Os resultados da estabilidade da emulsão para as amostras de massa crua são apresentados na Figura 18. Houve diferença ($P < 0,05$) nos valores de gordura exsudada, exceto para F1, fato que indica que a redução de toucinho com subsequente substituição por misturas de fibras alimentares não influenciou na estabilidade da emulsão.

As fibras alimentares aumentam a capacidade de ligar água, favorecendo a formação de géis gerando texturas mais suaves. A estabilidade da emulsão deve-se principalmente à proporção proteína/gordura que apresentam as diferentes formulações. Como o teor de proteína (Figura 16) não diferiu ($P > 0,05$), esperava-se comportamentos semelhantes com respeito à estabilidade da emulsão (CUMMINGS, 1976; SIKORSKI, 2007; COUSSEMENT; FRANK, 2001).

A estabilidade das emulsões cárneas depende de fatores como o teor de gordura e a disponibilidade proteica. Em geral, a estabilidade tende a diminuir quando não há proteínas suficientes para emulsionar a gordura ou para formar um gel capaz de impedir a sua livre movimentação na massa da emulsão.

Apenas ao se substituir 25% de toucinho por carne (F1) ou por 4% de FS e 0% de FI, o teor de gordura exsudada não diferiu ($P > 0,05$) daquele da FC (Figura 15). Para todas as demais formulações (F4 a F12) o teor de gordura exsudado foi significativamente menor ($P < 0,05$) do que aquele observado para FC.

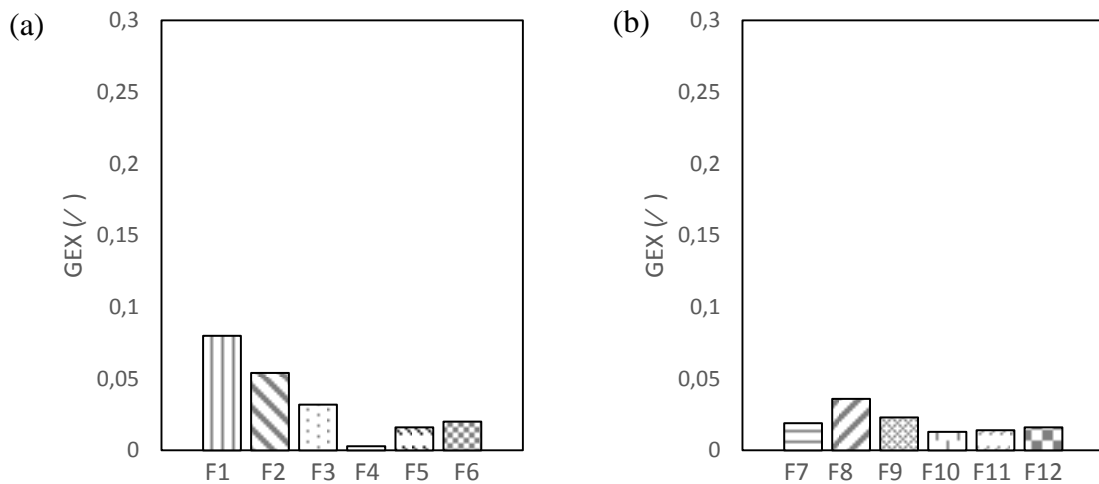
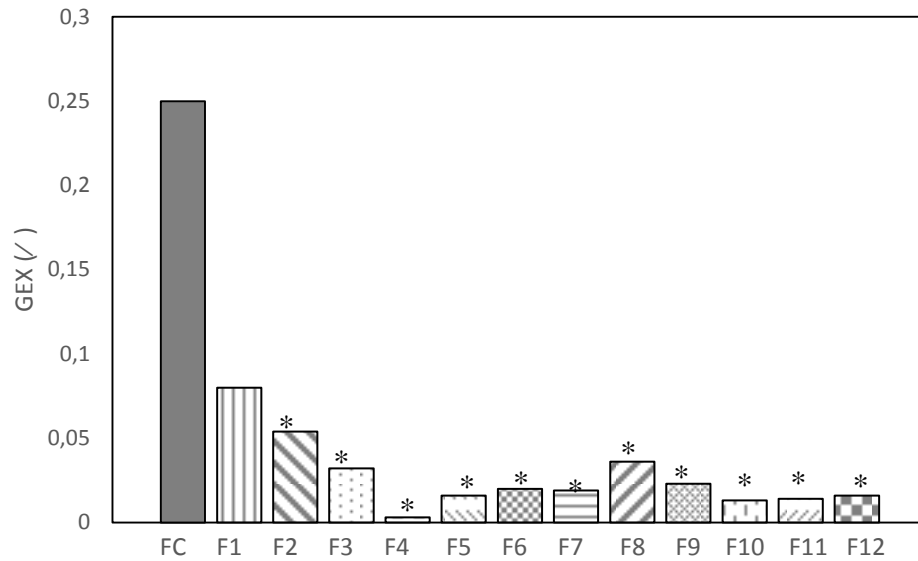


Figura 18 – Variação da percentagem de gordura exsudada da massa crua de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC = formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Isto parece indicar que a adição das diferentes fibras alimentares diminuiu a percentagem de fluido exsudado, aumentando a estabilidade da emulsão cárnea, fato que se deve à provável capacidade da fibra insolúvel de desfavorecer a coalescência da gordura não emulsionada; isto possivelmente ocorreu devido à fibra insolúvel absorver água e criar uma espécie de malha na fase contínua da emulsão (BARRETO, 2007).

O fluido exsudado das formulações com 25% e 50% de substituição de toucinho por misturas de fibras alimentares não diferiu ($P > 0,05$) daquelas que têm substituição de toucinho por carne (F1 e F7, respectivamente).

De acordo com Bortoluzzi (2009), a propriedade de hidratação das fibras depende da estrutura da parede celular da forma de obtenção e do tamanho da partícula. Os autores destacam que quanto maior for a quantidade de água absorvida melhor será o desempenho das fibras dentro dos produtos. A quantidade de água absorvida também leva a mudanças na CRA, fato corroborado por diferentes estudos, em que os autores afirmam que as FS e FI apresentam alta CRA (GARCIA et al., 2002; JIMENEZ et al., 2005).

Note-se que à medida que a adição de FI aumentou, a %GEX diminuiu, aumentando a estabilidade da emulsão; isto parece indicar que as fibras insolúveis possuem maior capacidade de estabilizar a emulsão cárnea, provavelmente por deixar menor quantidade de água livre e, conseqüentemente, maior quantidade de proteínas miofibrilares, que formam a matriz proteica e que servem como impedimento estérico à movimentação e coalescência dos glóbulos de gordura não emulsionados.

4.3 Análise do perfil de textura (TPA)

Comparada à formulação-controle (FC), não se evidencia efeito da substituição de toucinho (25% ou 50%) por carne ou por misturas de fibras alimentares e água ($P > 0,05$) sobre nenhum dos parâmetros de dureza, coesividade, flexibilidade ou adesividade (Figuras 19 a 23).

Os parâmetros do TPA, dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,05$) quando comparadas às formulações com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis com a formulação-controle.

Não foram observadas ($P > 0,05$) diferenças entre as formulações em que toucinho (25% ou 50%) foi substituído por carne (F1 ou F7) ou por misturas de fibras alimentares e água (F2 a F6, ou F8 a F12).

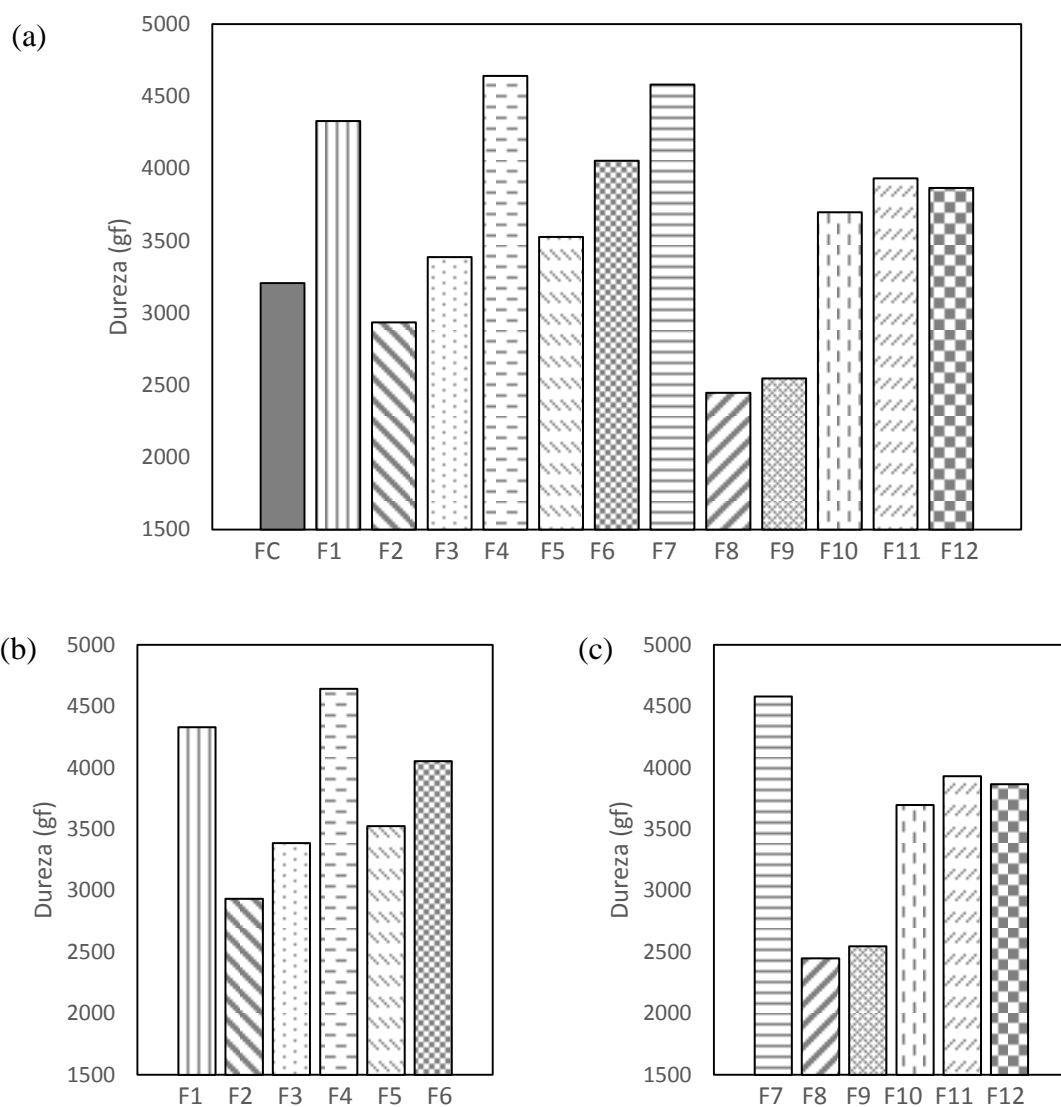


Figura 19 – Variação dos parâmetros da dureza (gf) do TPA, de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC = formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

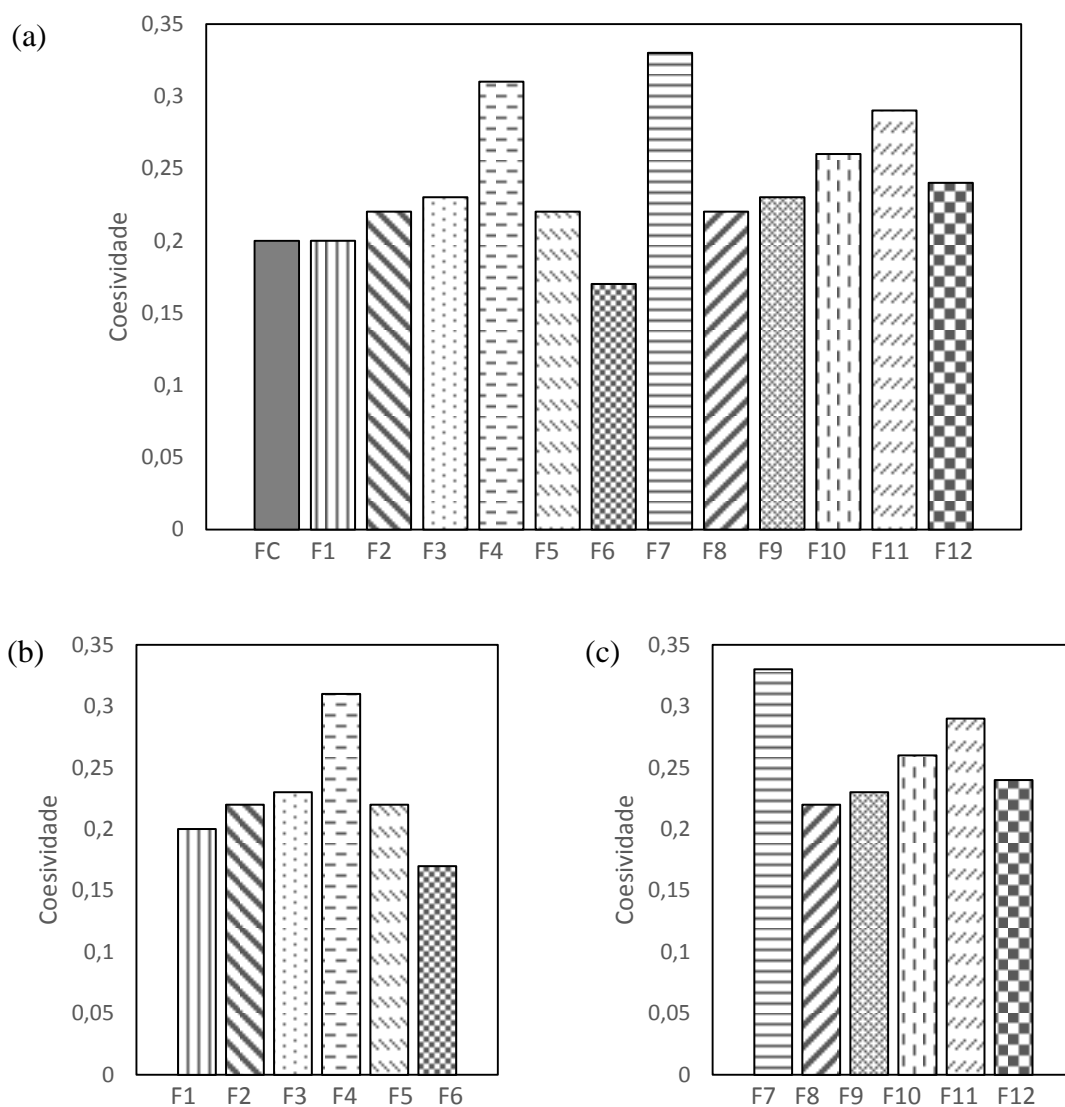


Figura 20 – Variação dos parâmetros da coesividade do TPA de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC = formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

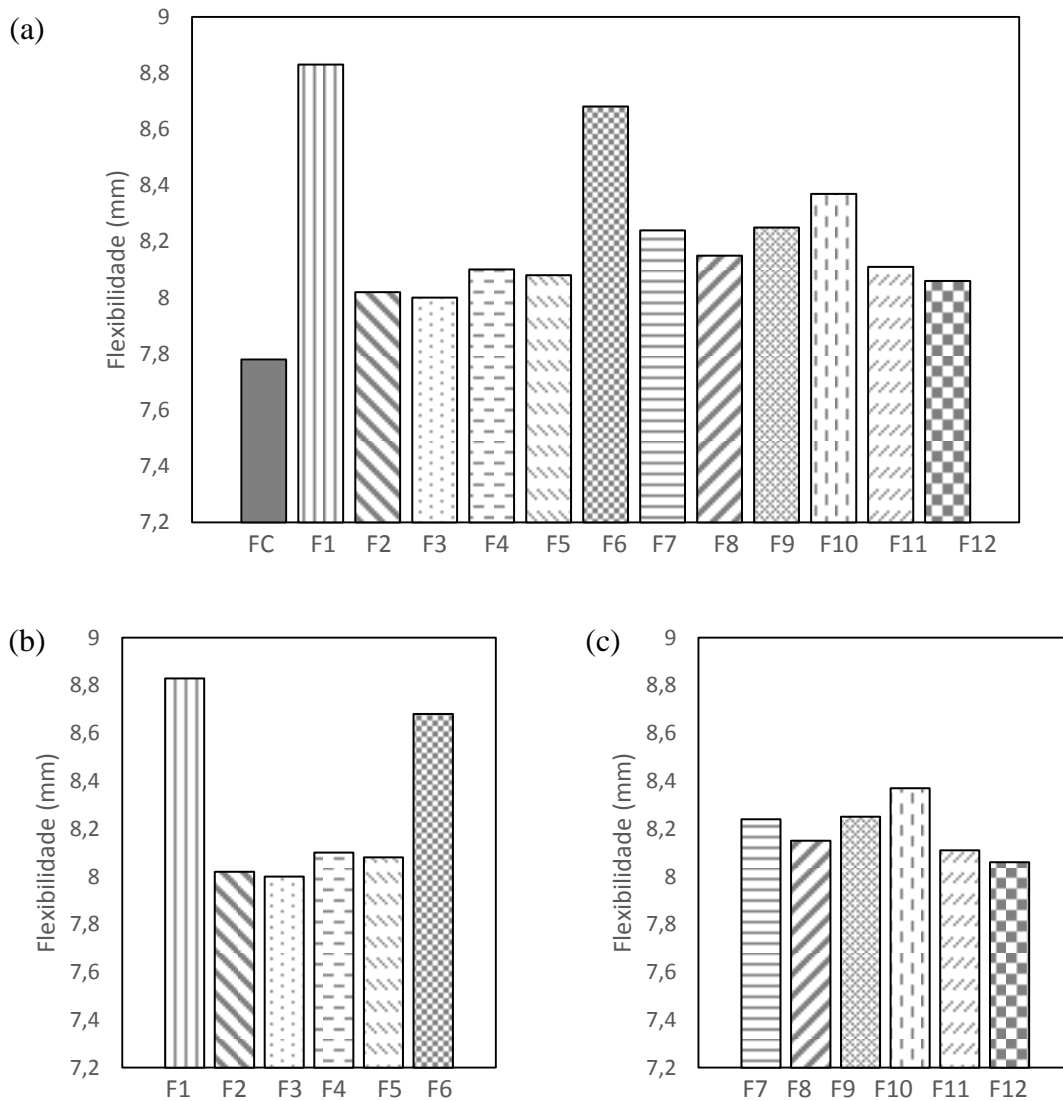


Figura 21 – Variação dos parâmetros da flexibilidade (mm) do TPA de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC = formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

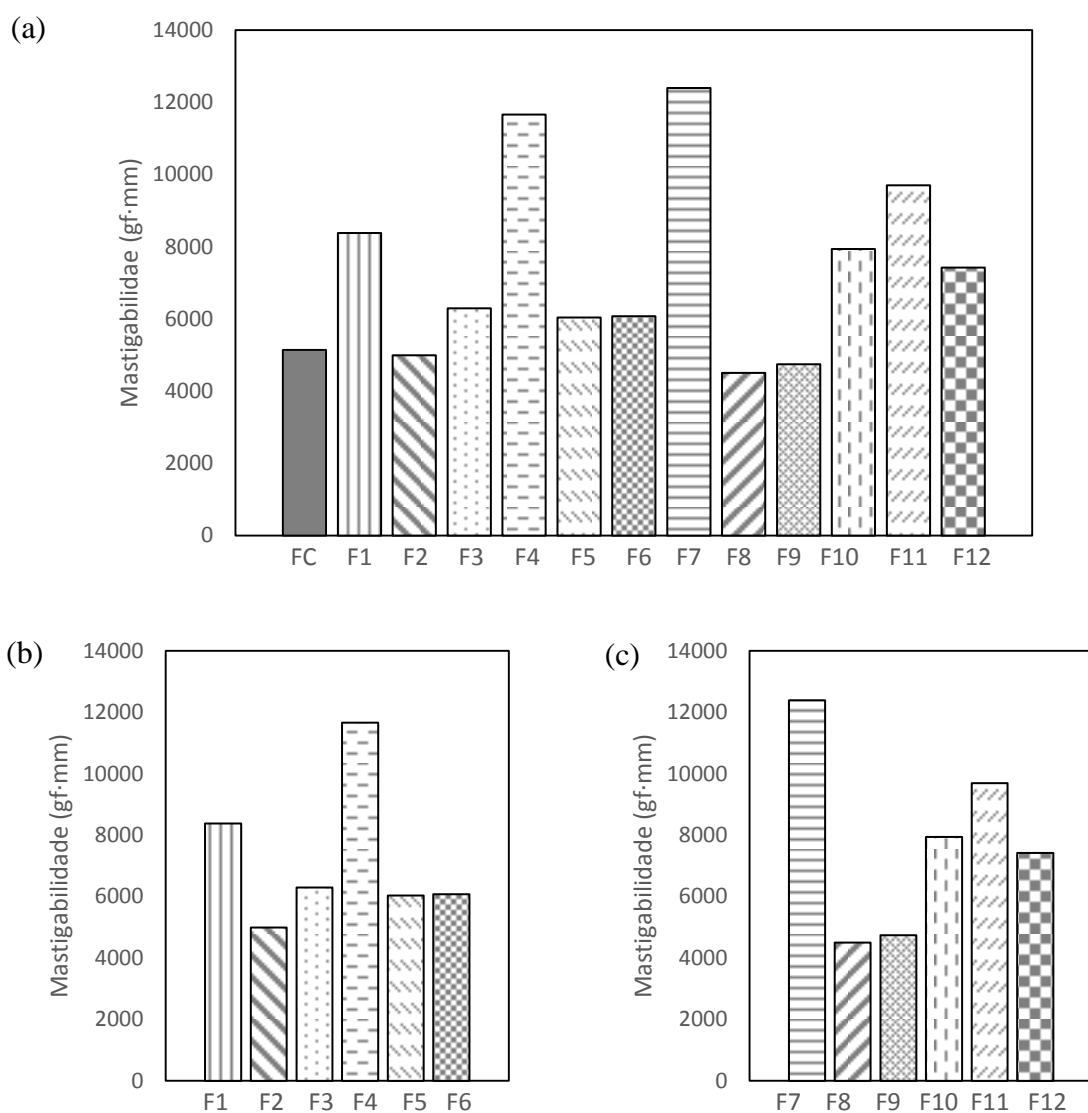


Figura 22 – Variação dos parâmetros da mastigabilidade (gf·mm) do TPA de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC = formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

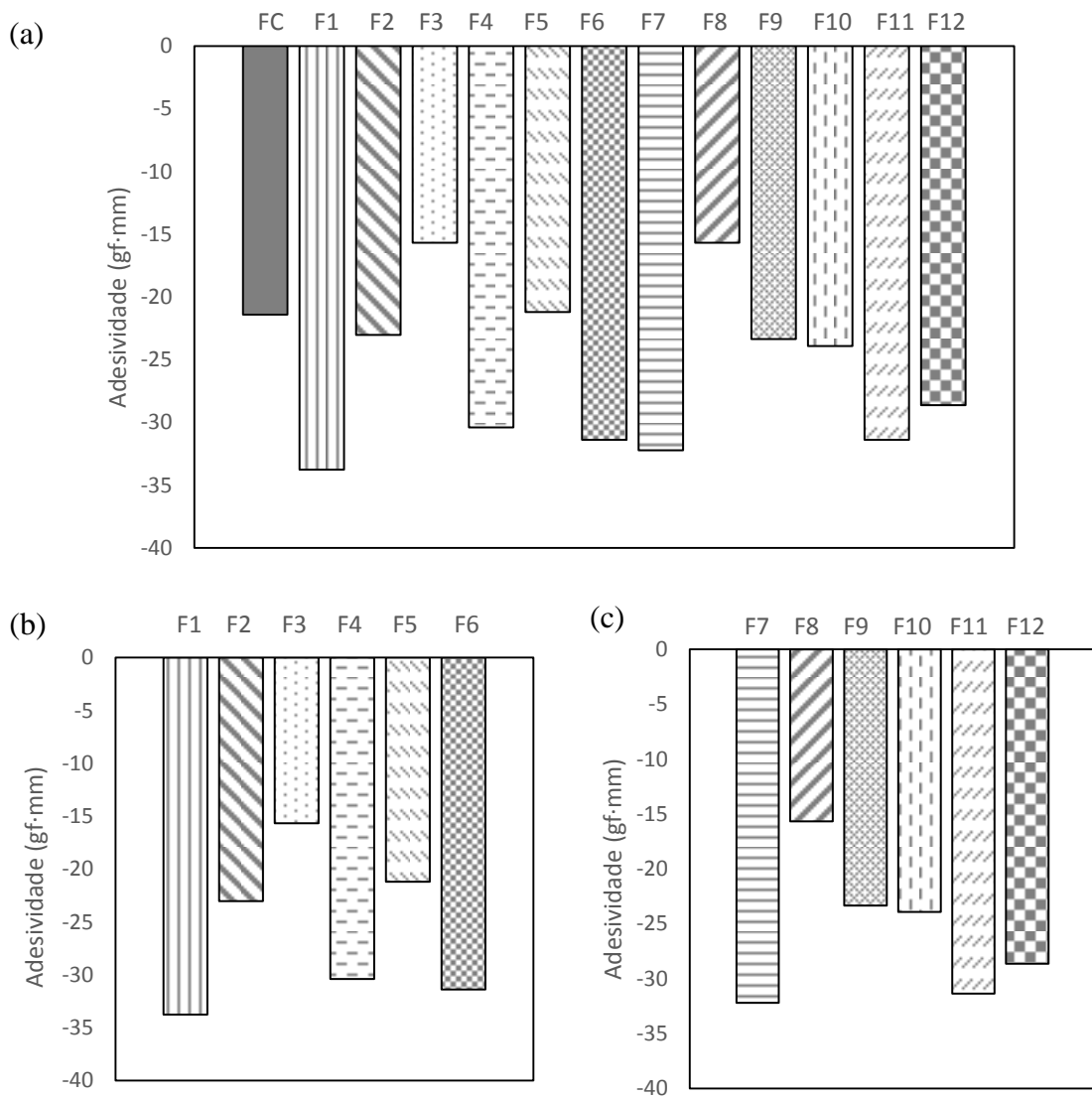


Figura 23 – Variação dos parâmetros da adesividade (gf·mm) do TPA de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC = formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Apesar de a ANOVA não ter evidenciado efeito de níveis de fibras solúveis ou insolúveis sobre nenhum dos parâmetros de TPA, a análise de regressão evidenciou ($P < 0,05$) que ao se substituir 50% de toucinho por fibras alimentares e água, apenas a dureza das mortadelas aumentou com o aumento na proporção de fibras insolúveis (diminuição na proporção de fibras solúveis); isto indica que a fibra insolúvel absorveu maior quantidade de água e a proteína na fase contínua formou uma matriz proteica mais forte.

Por meio do teste de Fisher determinou-se a existência da diferença significativa na mastigabilidade, pelo menos entre duas das médias das formulações de mortadelas ($P < 0,05$); esta diferença não foi identificada no teste pelos testes de Tukey e Dunnett, mais rigorosos.

O aumento da dureza relaciona-se diretamente com o teor de proteína, devido às interações proteicas que formam a matriz gélica. Como já mostrado, o teor de proteína não variou com as formulações ($P > 0,05$), assim, esperava-se que os valores de dureza fossem estatisticamente iguais.

O aumento no teor de proteínas na fase contínua das emulsões aumentou a força do gel e, conseqüentemente, a dureza e a mastigabilidade; isto ocorreu em virtude da maior área ocupada pela matriz proteica, que aumentou o número de ligações cruzadas intermoleculares entre as proteínas (BREWER et al., 2005).

Segundo Sun e Holley (2011), o aumento no teor de proteína das formulações de produtos cárneos provoca aumento na dureza dos mesmos. Também Huang et al. (2011) observaram aumento significativo dos parâmetros de TPA em embutido cárneo adicionado de 3,5% e 7% de fibras alimentares. Segundo os autores, a dureza, a adesividade e a mastigabilidade das formulações adicionadas de fibra de trigo diferiram (maiores) da formulação-controle (FC); porém, ao adicionar a inulina, os autores não evidenciaram, em relação à FC, diferença na maioria dos parâmetros de TPA; apenas a flexibilidade apresentou diferença (menor) que a FC ao se adicionar o maior nível (7%) de inulina.

Segundo Tornberg (2005), géis com redes proteicas mais agregadas geram emulsões de géis mais granulados e quebradiços aumentando a dureza dos produtos cárneos elaborados.

Segundo Jimenez-Colmenero et al. (2010), a substituição de gordura por água, mantém a quantidade de proteína quase constante e os sistemas tornam-se macios; porém, ao se adicionar fibras de konjac à formulação, parte da água é vinculada à fibra e por conseguinte na fase contínua da emulsão haverá maior quantidade de proteína para formar a matriz proteica.

Guimarães (2011) verificou que a substituição de 25% ou 50% de toucinho por fibras levou à obtenção de mortadelas mais duras que a mortadela-controle, e observou a mesma tendência de aumento na dureza ao se aumentar os níveis de FI. O aumento da dureza com o aumento na adição de FI se deve-se ao fato de a FI conseguir formar uma rede tridimensional insolúvel e cristalina capaz de modificar as propriedades reológicas da fase contínua de uma emulsão (COFRADES et al., 2000), fato que não acontece com as fibras solúveis (HAULY; MOSCATTO, 2002).

Aumento nos parâmetros de dureza ao se substituir gordura por diferentes níveis de FI em pó (2,5%, 5,0% 7,5%) também foi observado por Selgas, Cáceres e Garcia (2005).

Já a FS, por ser um polímero pequeno, é altamente solúvel e incapaz de formar gel em baixas concentrações, dispersando-se na fase contínua da emulsão (HAULY; MOSCATTO, 2002). Segundo Ninness (1999), a fibra solúvel (FS) de inulina possui uma textura finamente cremosa, promovendo, na boca, uma sensação semelhante à da gordura. Neste sentido, explica-se que a dureza das formulações com maior teor de FS (F2 e F8) sejam aquelas que possuem ($P > 0,05$) menores valores de dureza e coesividade.

Cofrades et al. (2000) estudaram o efeito de teores de gordura quando adicionadas fibras de soja (85% de FI). As amostras com alto teor de gordura apresentaram maior dureza e mastigabilidade que as formulações com baixo teor de gordura. Para os autores estes resultados são atribuídos à matriz formada. Segundo os autores, ao se reduzir o teor de gordura há aumento no teor de água da massa, o que leva à diminuição na força iônica, afetando a funcionalidade das proteínas cárneas.

Os parâmetros de textura coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade das mortadelas não apresentaram diferenças ($P > 0,05$) quando reduzido em 25% e 50% (Figuras 20 – 23) do toucinho. Este resultado é explicado pelo fato que a quantidade de proteína disponível para formar a matriz gélica nas mortadelas é semelhante em todas as formulações.

Com respeito à flexibilidade mostra-se que sendo não significativos a FC é aquela que apresenta menores valores em comparação com as outras formulações. Resultados apresentados por Guimarães (2011) mostram que a flexibilidade de mortadelas com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares é menor do que o apresentado por FC e explica, com base em dois fatores: aumento na disponibilidade de proteínas miofibrilares para geleificação, e capacidade de hidratação das FI, gerando uma rede tridimensional insolúvel (COFRADES et al., 2000)

Os resultados apresentados por Huang, Tsai e Chen (2011) são semelhantes com respeito a este estudo porque os parâmetros de dureza aumentam mesmo sem apresentar diferenças significativas. Os autores estudaram o efeito da adição de fibras de trigo, aveia e inulina sobre as propriedades físico-químicas e sensoriais em embutidos chineses, tendo observado que a adição de 3,5% e 7,0% de fibras insolúveis de trigo aumentou os valores de dureza em relação à formulação-controle (sem adição de fibras); maiores valores de dureza foram observados quando da adição de maiores concentrações de fibra de trigo. Entretanto, segundo estes autores, quando comparadas à formulação-controle, a adição de 3,5% e 7,0% de inulina não influenciou os parâmetros da textura de linguças.

4.4 Análises reológicas

4.4.1 Massa crua – Análises dinâmico-oscilatórias

Por meio de varreduras de tensão foi determinada a tensão de cisalhamento a ser usada posteriormente nas varreduras de frequência e de temperatura de todas as massas cruas e mortadelas. O valor de tensão de cisalhamento selecionado foi de 10 Pa, que se encontra dentro da faixa de viscoelasticidade linear das 13 formulações, tanto da massa crua como da mortadela cozida.

4.4.1.1 Varredura de frequência

Na Figura 24, são apresentados os resultados da análise de varredura de frequência da massa crua.

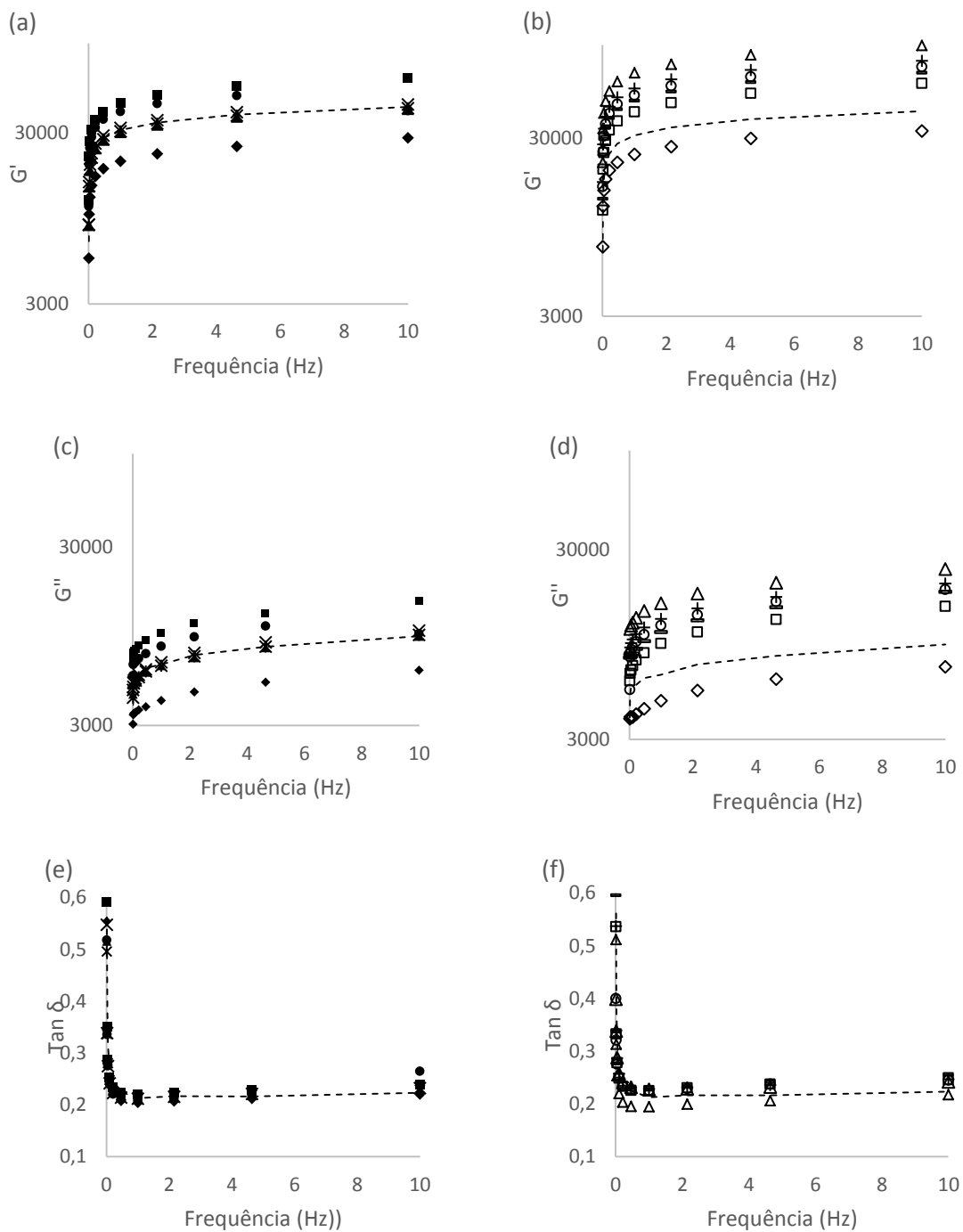


Figura 24 – Varredura de frequência da massa crua, a uma tensão de cisalhamento predefinida de 10 Pa. (a), (c) e (e) = substituição de 25% de toucinho; (b), (d) e (f) = substituição de 50% de toucinho. Fc (---) = formulação-controle; F1(♦) = 25% de substituição de toucinho por carne; F2(▲) = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3(*) = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4(•) = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5(■) = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6(x) = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7(◇) = 50% de substituição de toucinho por carne; F8(Δ) = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9(+)= 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10(o) = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11(□) = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F12(-) = 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel.

As amostras apresentaram valores de $G' > G''$, indicando que a massa crua é um material semissólido com caráter predominantemente elástico, quando submetidas a cisalhamentos dinâmicos de frequência entre 0,01 e 10 Hz. O fato dos parâmetros mudarem com a frequência indica que a microestrutura do material é afetada pela solicitação mecânica; os dois módulos aumentam com o aumento da frequência (Figura 24).

Estes resultados são semelhantes aos apresentados por Schuh (2013), que ao adicionar (sem reduzir gordura) 2% de carboximetilcelulose ou de celulose microcristalina em emulsões cárneas caracterizou o comportamento do material como predominantemente elástico.

Os valores de G' (módulo elástico) variaram de 3×10^3 Pa a 1×10^5 Pa e foram cerca de uma ordem de grandeza maior do que o módulo viscoso (G''), que variou de 3×10^3 Pa a 3×10^4 Pa. Isso é corroborado pelos valores de $\tan \delta < 1$ em todos os casos, nos dois grupos de substituição de toucinho por misturas de fibras e água (25% ou 50%). Além disso, para todas as formulações estudadas observou-se uma tendência decrescente de $\tan \delta$, que variou de aproximadamente 0,55 a 0,20, valor atingido à frequência de 2 Hz. Para frequências superiores, esse valor se manteve estável em torno de 0,20. Isso mostra que, mesmo se os módulos G' e G'' continuaram a ter seus valores absolutos aumentados até 10 Hz, a magnitude com que G' aumenta com relação a G'' é constante após 2 Hz. Disso, pode-se inferir que rearranjos macroestruturais capazes de afetar as propriedades mecânicas da massa praticamente não ocorrem a frequências superiores a 2 Hz.

O conjunto desses resultados mostrou que todas as massas cruas de mortadelas, tanto de 25% como de 50% de redução de toucinho, apresentaram-se reologicamente semelhantes, com caráter predominantemente elástico.

Quando comparada com a FC, a substituição de 25% de toucinho por carne (F1) leva ao decréscimo ($P > 0,05$) de 65% no valor do módulo de armazenamento (G'). Já quando se substitui os mesmos 25% de toucinho por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água, o módulo de armazenamento (G') da massa da emulsão basicamente não difere daquele da formulação-controle. Apenas quando o toucinho é substituído por 1% de FS e 3% de FI (F5) o módulo de armazenamento (G') da massa crua da emulsão é cerca de 45% maior que aquele da FC.

Já quando da substituição de 50% de toucinho por carne (F7), o módulo de armazenamento da massa da emulsão (G') foi cerca do 77% ($P > 0,05$) daquele da FC. Porém, ao se substituir 50% de toucinho por misturas de fibras e água os valores de G' aumentaram ($P > 0,05$). Assim, G' da formulação F8 é cerca de 134% maior que FC; F9 é cerca de 91% maior; F10 é cerca de 77% maior; F11 é cerca de 43% maior e F12 é cerca de 65% maior do que aquele da FC.

Quando comparada com a FC, a substituição de 25% de toucinho por carne (F1) levou ao decréscimo ($P > 0,05$), já que o valor do módulo de perda G'' de F1 é apenas cerca do 64% de FC. As formulações F2, F3 e F4 basicamente não diferem de FC. A formulação F5 é cerca de 57% mais do que FC, e F6 é cerca de 7% mais do que FC.

Já quando se substitui 50% do toucinho por carne, o valor do módulo de perda (G'') de F7 é cerca ($P > 0,05$) de 76% daquele da FC. As formulações com substituição de toucinho por misturas de fibras são maiores do que FC; assim, F8 é 150% maior; F9 é 110% maior; F10 é 90% maior; F11 é cerca de 58% maior; e F12 é cerca de 90% maior ($P > 0,05$) que aquele da FC.

Quando comparados os resultados de G' das duas percentagens de substituição de toucinho determina-se: F7 é 17,4% maior ($P > 0,05$) do que F1; F8 é 141,4% maior ($P > 0,05$) do que F2; F9 é 94,6% maior ($P > 0,05$) do que F3; F10 é 35,9% maior ($P > 0,05$) do que F4; F5 é 2,1% maior ($P > 0,05$) do que F11; e F12 é 59,9% maior ($P < 0,05$) do que F6 (tem maior proporção de fibra insolúvel).

Quando comparados os resultados de G'' das duas percentagens de substituição de toucinho determina-se: F7 é 18,6% maior ($P > 0,05$) do que F1; F8 é 149,3% maior ($P > 0,05$) do que F2; F9 é 106,5% maior ($P > 0,05$) do que F3; F10 é 42,3% maior ($P > 0,05$) do que F4; F11 é 1,0% maior ($P > 0,05$) do que F5; e F12 é 76,2% maior ($P < 0,05$) do que F6.

Segundo Matos e Chambilla (2010) e Silva (2010), a adição de fibras insolúveis aumenta a capacidade de absorção de água, aumentando o teor de umidade; assim, melhorando as características de geleificação.

Mansour e Khalil (1997) reportaram que a adição de FS (inulina), gerou textura suave e cremosa em hambúrguer. Estes resultados são semelhantes aos reportados quando há substituição de toucinho por 4% de FS e 0% de FI (F2) e substituição de toucinho por 0% de fibras solúveis e 4% de fibras insolúveis, que conseguiram parâmetros reológicos semelhantes aos da FC.

A variação dos valores de G' e G'' a uma frequência de 10 Hz das massas cruas de mortadelas formuladas com redução de 25% e 50% de toucinho em função dos níveis de adição de fibra solúvel/insolúvel é apresentada nas Figuras 25 e 26. Nela se verifica que a 25% de substituição de toucinho por fibras os módulos de perda (G'') e de armazenamento (G') das massas cruas de mortadela não variaram com o aumento nos níveis de fibras insolúveis (ou diminuição nos níveis de fibras solúveis). O mesmo ocorreu na massa crua quando se reduziu em 50% a adição de toucinho nas mortadelas. Em cada nível de redução de toucinho, a substituição por carne (F1 ou F7) não diferiu daquele da substituição de toucinho por misturas de fibras (F2 a F6 ou F8 a F12). Além disto, verificou-se que os valores de G' e G'' de qualquer formulação não diferiu daqueles da FC.

4.4.1.2 Varredura de temperatura

Na Figura 27 são apresentados os resultados da análise de varredura temperatura da massa crua.

As amostras apresentam valores de G' que variaram de 1×10^4 Pa a 1×10^5 Pa, enquanto os valores de G'' variaram de 2×10^3 Pa a 3×10^4 Pa; para todas as formulações e em todas as temperaturas, os valores de G' foram cerca de uma ordem de grandeza superiores aos de G'' , indicando que a massa crua é um material semissólido com caráter predominantemente elástico. Isso é corroborado pelos valores de $\tan \delta < 1$ tanto para 25% como 50% de substituição de toucinho. Além disso, para todas as formulações estudadas observou-se uma tendência decrescente da $\tan \delta$ que variou de aproximadamente 0,45 a 0,20, valor atingido em 70 °C. Isso indica que o módulo de armazenamento e de perda não variaram na mesma razão, ou seja, a magnitude com que G' diminui é menor que daquela verificada para G'' com o aumento de temperatura. A formulação F9 apresentou comportamento diferenciado nas curvas da $\tan \delta$, este fato deve-se a erros experimentais entre as três repetições deste tratamento.

Quando submetidas ao aumento de temperatura (10 °C até 75 °C) a tendência das curvas é decrescente até aproximadamente os 35 °C para todas as formulações estudadas (Figura 27). A tendência decrescente ocorre porque a que a formação de gel acontece em duas etapas de aquecimento diferentes; a primeira ocorre entre 30 °C e 50 °C, que envolve a agregação das cabeças de miosina; quando a temperatura passa dos 50 °C a agregação aumenta dificultando a distinção entre as caudas de miosina. Entre 50 °C e

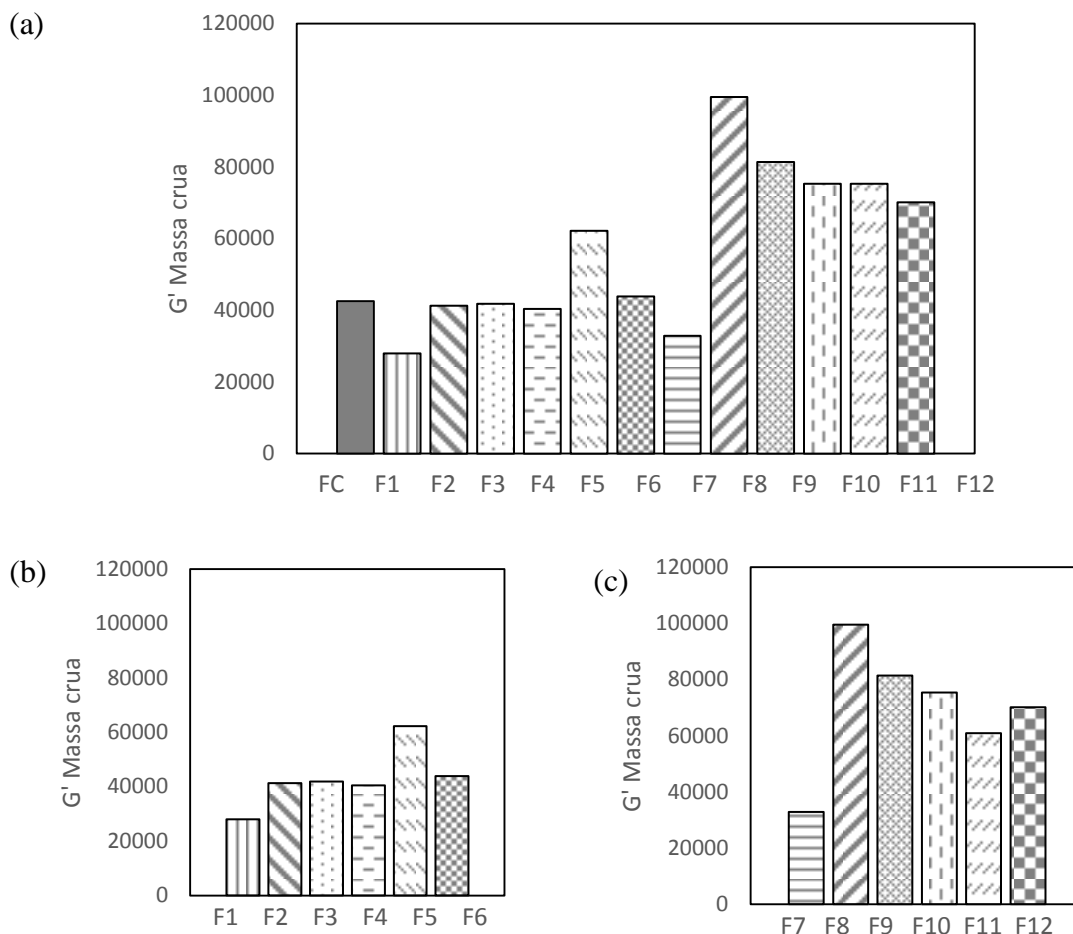


Figura 25 – Variação do módulo de armazenamento da massa crua de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC =formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

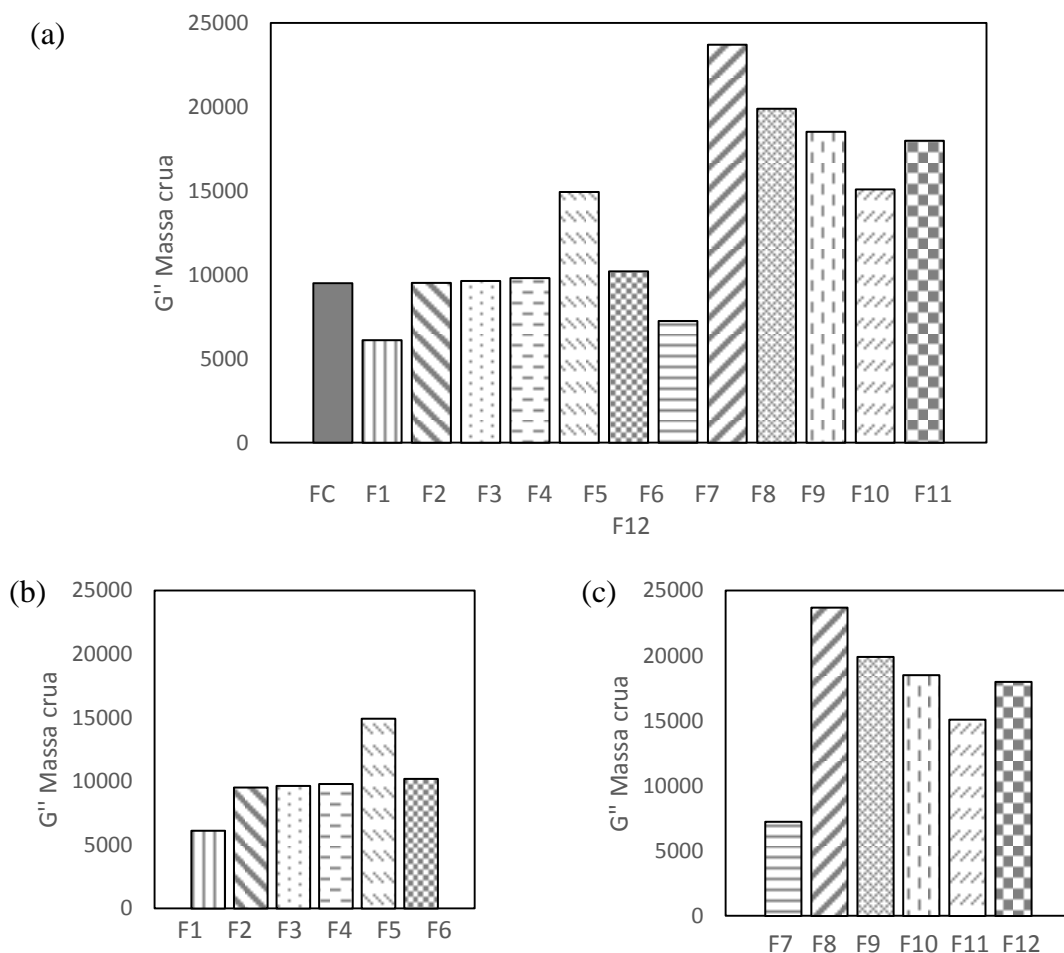


Figura 26 – Variação do módulo de perda da massa crua de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC =formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

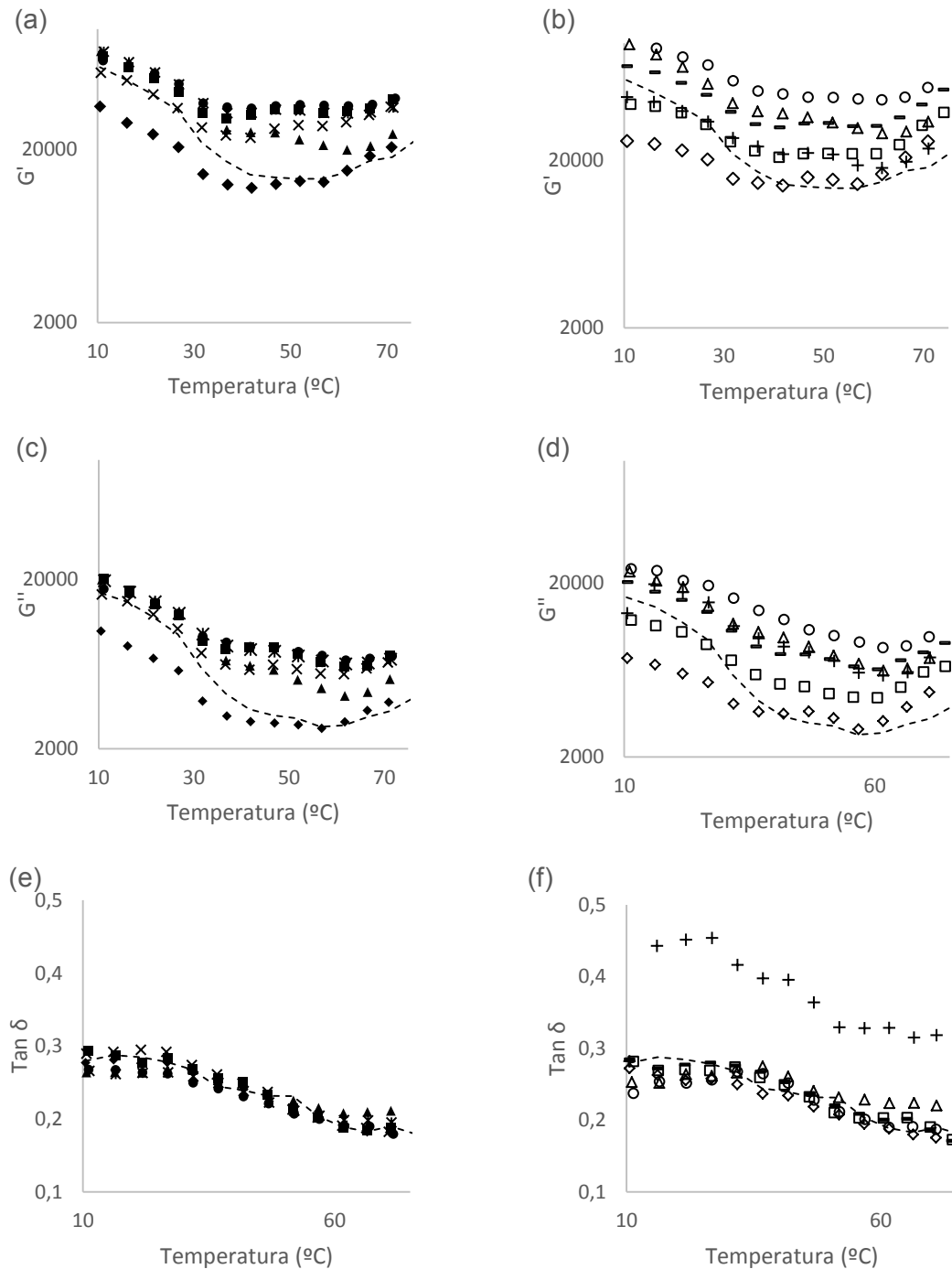


Figura 27 – Varredura de temperatura da massa crua, a uma tensão predefinida de 10Pa. (a), (c) e (e) = substituição de 25% de toucinho; (b), (d) e (f): substituição de 50% de toucinho. Fc (---): formulação-controlre; F1(♦): 25% de substituição de toucinho por carne; F2(▲) = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3(*) = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4(•) = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5(■) = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6(x) = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7(◊) = 50% de substituição de toucinho por carne; F8(Δ) = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9(+) = 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10(○) = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11(□) = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F12(-) = 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel.

60 °C forma-se um grande agregado globular. A segunda etapa envolve alterações estruturais na estrutura da α -hélice da meromiosina, levando à formação de uma rede proteica pela interação entre grupos hidrofóbicos (TORNBERG, 2005).

As curvas mostram que, num primeiro estágio (até 35 °C), as massas cruas das emulsões baseadas na substituição de 25% de toucinho apresentaram valores de G' e G'' semelhantes entre si e com FC, excetuando a F1 que apresentou valores menores do que as outras formulações. Já no segundo estágio (35 °C até 74 °C), os valores de F1 ficaram mais perto dos valores de FC, aumentando o módulo de armazenamento, e as curvas das formulações F2 a F6 aumentaram os valores de G' e G'' . Já depois de alcançar os 70 °C a formulação com substituição de toucinho por 4% de fibras solúveis e 0% de fibras insolúveis ficou mais próxima de FC e F1 tendeu a ser maior do que FC.

Estes tipos de estágio no comportamento na cocção de emulsões cárneas também foram evidenciados por Xiong e Brekke (1990), quando trabalhado com peito e coxa de frango a interação entre as proteínas seguiu uma tendência de associação entre moléculas de proteínas que começa a 36 °C a 40 °C, e é precedida pelo seu desenovelamento a 30 °C a 32 °C; a formação de gel começa entre 45 °C a 50 °C e inicia após ocorrer associações entre as proteínas.

Xiong e Brekke (1990) também evidenciaram estes estágios durante a cocção de emulsões cárneas elaboradas com peito e coxa de frango. Segundo os autores, a interação entre as proteínas segue uma tendência de associação entre as moléculas que começa a 36 °C/40 °C e é precedida pelo seu desenovelamento a 30 °C a 32 °C; a formação de gel começa entre 45 °C e 50 °C e se inicia após ocorrer associações entre as proteínas.

As curvas mostram que as massas de emulsão baseadas na substituição de 50% de toucinho apresentam valores de G' para F7, F11 e F9 mais similares àqueles da massa da FC e valores de G'' para F7 e F11 mais similares a FC.

Já as massas em que a gordura foi substituída por carne foram aquelas que apresentaram menores valores dos módulos elástico (G') e viscoso (G''); as massas das demais formulações apresentaram módulos elástico (G') e viscoso (G'') maiores que aqueles da formulação-controle (FC).

As variações de G' e G'' sugerem que ao se aquecer as massas de emulsão ocorre, em especial na FC e nas formulações em que se substituiu toucinho por carne (F1 e F7), primeiro uma fusão do toucinho da massa que, assim passa a se tornar mais fluida, menos viscosa e menos elástica (diminuição de G' e G''). A partir de 60 °C

começa a ocorrer a desnaturação e a geleificação das proteínas miofibrilares, com consequente elevação dos módulos de armazenamento (G') e de perda (G'').

A queda e posterior elevação menos acentuada em G' e G'' nas formulações em que o toucinho foi substituído por misturas de fibras solúveis e insolúveis (F2 a F6 e F8 a F12) parece se dever ao menor teor de gordura e, especialmente, ao maior teor de fibras. Isto gerou, em função da absorção de água pelas fibras, uma massa mais concentrada em proteínas na fase contínua da emulsão, o que isto explicaria a menor queda de G' e G'' até 40 °C – 50°C e os valores finais de ambos mais elevados até o final do aquecimento da massa.

As diferenças para o grupo de formulações com 50% de substituição de gordura são mais pronunciadas do que as diferenças observadas para o grupo com 25% de substituição de toucinho.

As formulações F1 e F7 apresentaram valores de G' e G'' menores do que FC e as outras formulações. A formulação F10 apresentou maiores valores de G' e G'' do que as outras formulações.

Excetuando a formulação com substituição de toucinho por carne (F1), as formulações baseadas na substituição de toucinho por fibras alimentares apresentaram um caráter de gel semelhante quando começou a varredura de temperatura. Este fenômeno não ocorreu quando se substituiu 50% do toucinho, cujas características de gel iniciais diferiram entre si. Todas as amostras apresentaram módulos elásticos maiores do que os módulos viscosos e a pendente das curvas depende da temperatura.

O conjunto desses resultados indica que todas as massas cruas de mortadela, tanto de 25% como de 50% de substituição de toucinho, apresentaram-se reologicamente semelhantes. Houve predomínio do caráter elástico sobre o viscoso, à exceção da formulação com substituição de 50% de toucinho por 3% FS e 1% FI (F9), que apresentou valores de $\tan \delta$ maiores do que as outras formulações.

4.4.2 Mortadela – Análises dinâmico-oscilatórias

4.4.2.1 Varredura de frequência

Na Figura 28 são apresentados os resultados da análise de varredura de frequência das diversas formulações de mortadela.

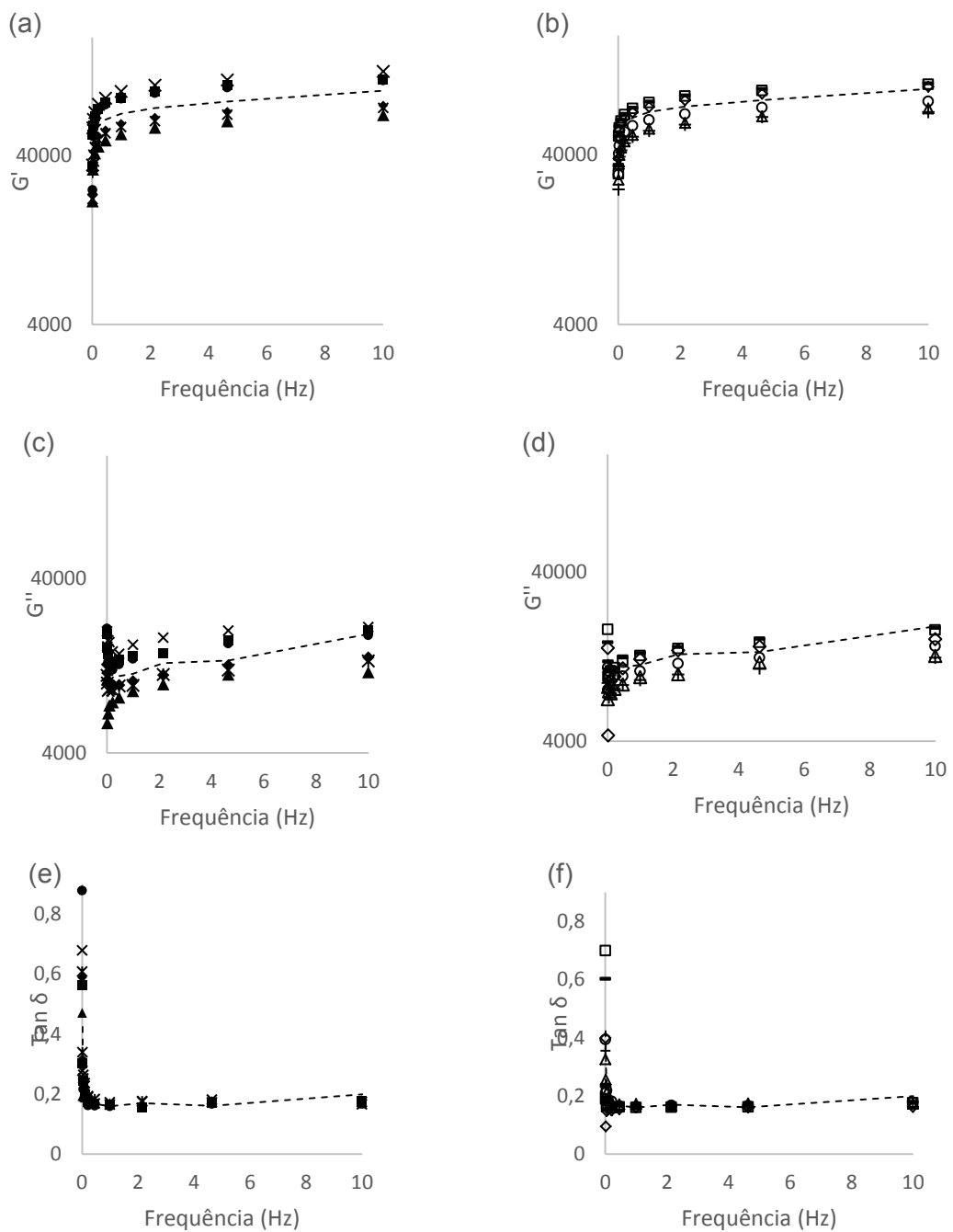


Figura 28 – Varredura de frequência da mortadela, numa tensão predefinida de 10Pa. (a), (c) e (e) = substituição de 25% de gordura; (b), (d) e (f) = substituição de 50% de gordura; Fc(---) = formulação-control; F1(♦) = 25% de substituição de toucinho por carne; F2(▲) = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3(*) = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4(•) = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5(■) = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6(x) = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7(◇) = 50% de substituição de toucinho por carne; F8(Δ) = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9(+) = 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10(o) = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11(□) = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; e F12(-) = 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel.

Embora a varredura de frequência para as amostras de mortadela apresente um comportamento semelhante ao observado na massa crua, em todas as formulações a mortadela apresenta comportamento mais elástico do que a massa crua. Isto se deve ao desenvolvimento das características de gel gerado com a desnaturação das proteínas durante o cozimento das massas cruas.

Aumento nos valores de G' e G'' com o cozimento de massas de emulsão também foi observado por Schuh et al. (2013). Ainda segundo estes autores, emulsões cárneas adicionadas de 2% de carboximetilcelulose e, ou, de celulose microcristalina apresentam que $G' > G''$.

As amostras apresentaram valores de $G' > G''$, indicando que a mortadela é um material semissólido com caráter predominante elástico, quando submetidas a cisalhamentos dinâmicos de frequência entre 0,01 e 10 Hz.

Os valores de G' (módulo elástico) variaram de 2×10^4 Pa a 2×10^5 Pa e foram cerca de uma ordem de grandeza maiores do que o módulo viscoso (G''), que variou de 2×10^3 Pa a 2×10^4 Pa; ambos apresentaram tendência crescente em todas as formulações estudadas. Isso é corroborado pelos valores de $\tan \delta < 1$ em todos os casos, nos dois grupos de substituição de toucinho por misturas de fibras e água (25% ou 50%). Além disso, para todas as formulações estudadas, observou-se uma tendência decrescente de $\tan \delta$, que variou de aproximadamente 0,80 a 0,20, valor atingido na frequência de 1 Hz. Para frequências superiores, esse valor se manteve estável a aproximadamente 0,10. Isso mostra que, mesmo se os módulos G' e G'' continuaram a ter seus valores absolutos aumentados até 10 Hz, a magnitude com que G' aumenta com relação a G'' é constante após 1 Hz. Disto, pode-se inferir que rearranjos macroestruturais capazes de afetar as propriedades mecânicas da mortadela praticamente não ocorrem em frequências superiores a 1 Hz.

Os parâmetros G' e G'' das formulações (F1 a F12) não diferem ($P > 0,05$) dos parâmetros de FC.

Os resultados mostram que as mortadelas baseadas na substituição de 25% de gordura por 2% FS e 2% FI (F4), 1% FS e 3% FI (F5) e 0% FS e 4% FI (F6) apresentam valores G' e G'' maiores ($P > 0,05$) do que os valores da FC; já as massas em que o toucinho foi substituído por carne (F1), por 4% FS/0% FI (F2) ou por 3% FS/1% FI (F3) apresentaram ($P > 0,05$) valores menores dos módulos elástico (G') e viscoso (G'') do que aqueles da FC.

Já quando da substituição de 50% de toucinho observa-se que, embora ainda não diferindo ($P > 0,05$) da FC, as mortadelas baseadas em substituição por carne (F7), por 3% de FI e 1% de FS (F11) e por 4% de FI e 0% de FS (F12) são aquelas que apresentaram módulos de elasticidade (G') e de viscosidade (G'') maiores ($P > 0,05$) do que FC; já as formulações baseadas na substituição de toucinho por 0% de FI/4% de FS (F8), 3% de FI e 1% de FS (F9) e por 2% de FI e 2% de FS (F10), apresentam valores de G' e G'' menores ($P > 0,05$) do que FC.

Os valores de G' e G'' para as formulações baseadas na substituição de 50% de toucinho apresentam semelhanças ($P > 0,05$) mais pronunciadas de todas as formulações com FC do que aquelas observadas quando substituído 25% do toucinho.

As formulações F2 e F8 apresentaram valores menores de G'' , e F6 e F12 valores maiores quando comparadas todas com as formulações ($P > 0,05$). Entretanto, para nenhum dos módulos e nenhuma das formulações houve diferenças significativas ($P > 0,05$).

Quando comparados os resultados de G' das duas percentagens de substituição de toucinho verifica-se que F7 é 133,3% maior ($P > 0,05$) do que F1; F8 é 6,9% maior ($P > 0,05$) do que F2; F3 é 7,8% maior ($P > 0,05$) do que F9; F4 é 26,6% maior ($P < 0,05$) do que F10; F11 é 9,9% maior ($P > 0,05$) do que F5; e F6 é 17,0% maior ($P > 0,05$) do que F12.

Quando comparados os resultados de G'' das duas percentagens de substituição de toucinho determina-se F7 é 14,1% maior ($P > 0,05$) do que F1; F8 é 10,4% maior ($P > 0,05$) do que F2; F3 é 7,3% maior ($P > 0,05$) do que F9; F4 é 22,3% maior ($P > 0,05$) do que F10; F5 é 9,2% maior ($P > 0,05$) do que F11; e F6 é 10,5% maior ($P > 0,05$) do que F12.

O conjunto de todos estes resultados mostra que todas as mortadelas, tanto de 25% como de 50% de redução de toucinho, apresentam-se reologicamente semelhantes, com predomínio do caráter elástico sobre o viscoso.

A variação dos valores de G' e G'' a uma frequência de 10 Hz das amostras de mortadela formuladas com 25% e 50% de toucinho, em função dos níveis de adição de fibra solúvel/insolúvel, é apresentada na Figura 29. Nela se verifica que para as formulações de 25% e 50% de substituição de toucinho por fibras, os módulos de perda (G') e de armazenamento (G'') das mortadelas variam com o aumento nos níveis de fibras insolúveis (ou diminuição nos níveis de fibra solúvel). Em cada nível de redução

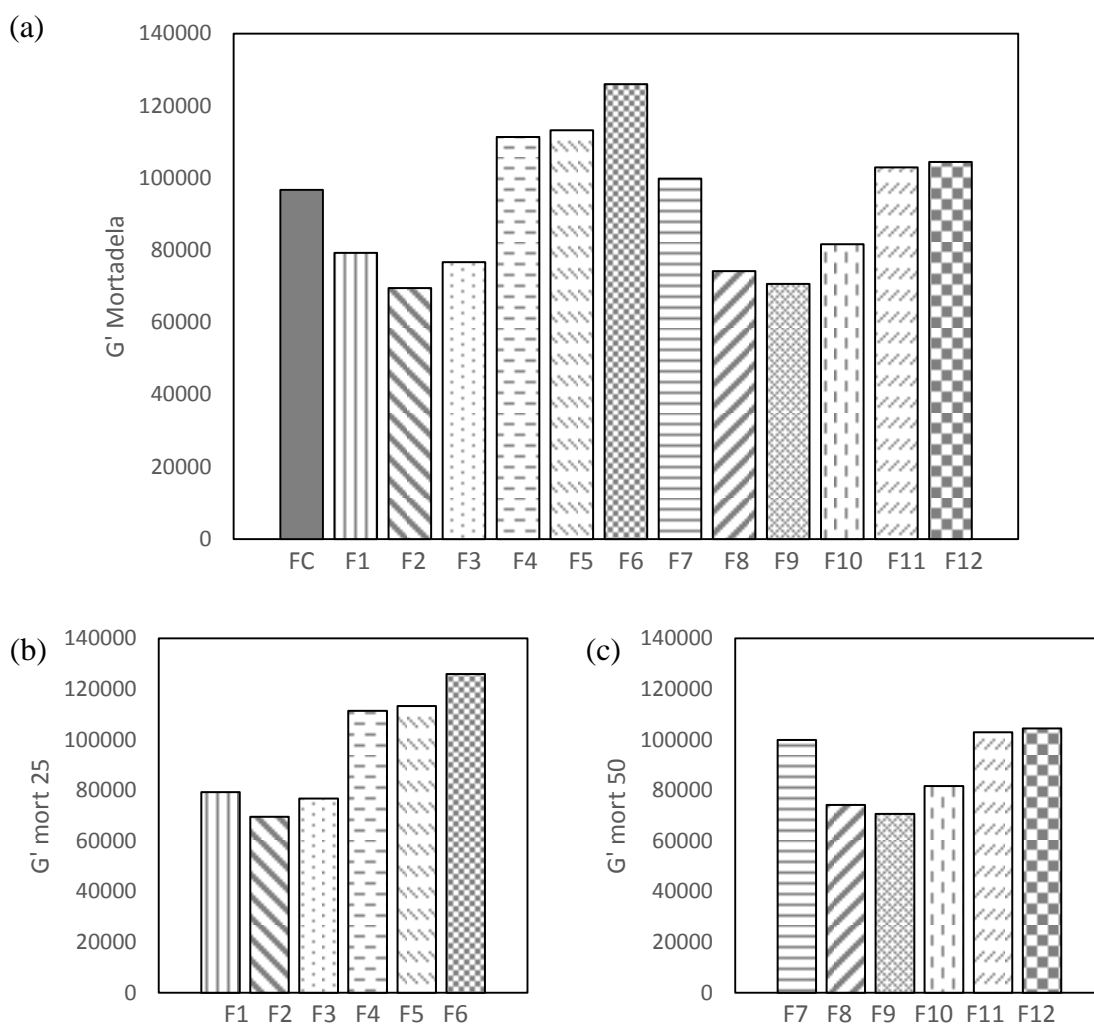


Figura 29 – Variação do módulo de armazenamento de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC = formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

de toucinho, a substituição por carne (F1 e F7) não produz valores de G' e G'' diferentes daqueles de substituição de toucinho por misturas de fibras (F2 a F6 ou F8 a F12). Além disto, verifica-se que os valores de G' e G'' de qualquer formulação não diferem daqueles da FC.

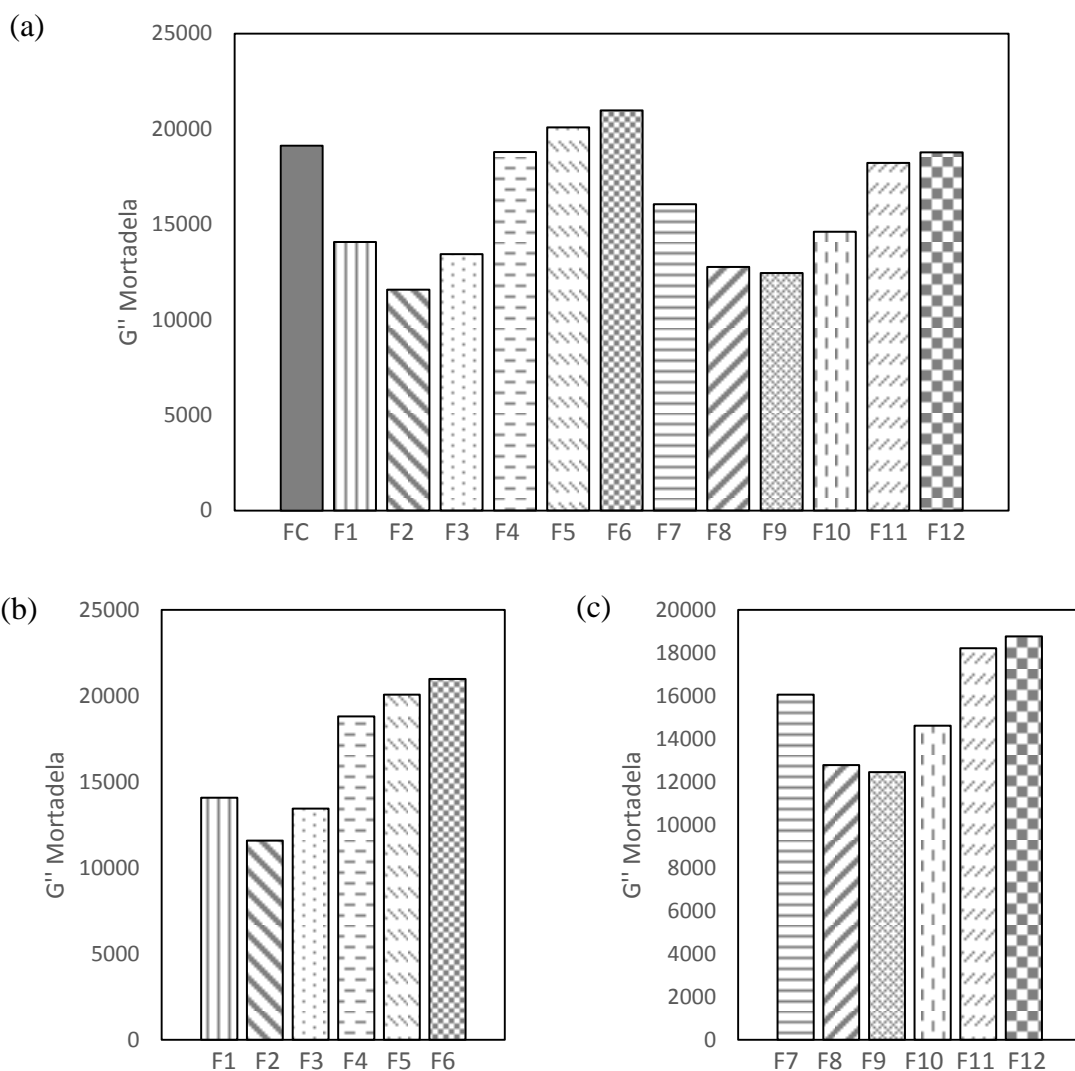


Figura 30 – Variação do módulo de perda de mortadelas. (a) Comparação de todas as formulações com FC =formulação-controle; (b) comparação das formulações com 25% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F1 = substituição por 6,25% de carne; e (c) comparação das formulações com 50% de substituição de toucinho e adição de diferentes proporções de fibras alimentares com a formulação F7 = substituição por 12,5% de carne. * Difere pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.4.2.2 Varredura de temperatura

Os resultados para a varredura de temperatura das amostras de mortadela são apresentados na Figura 31.

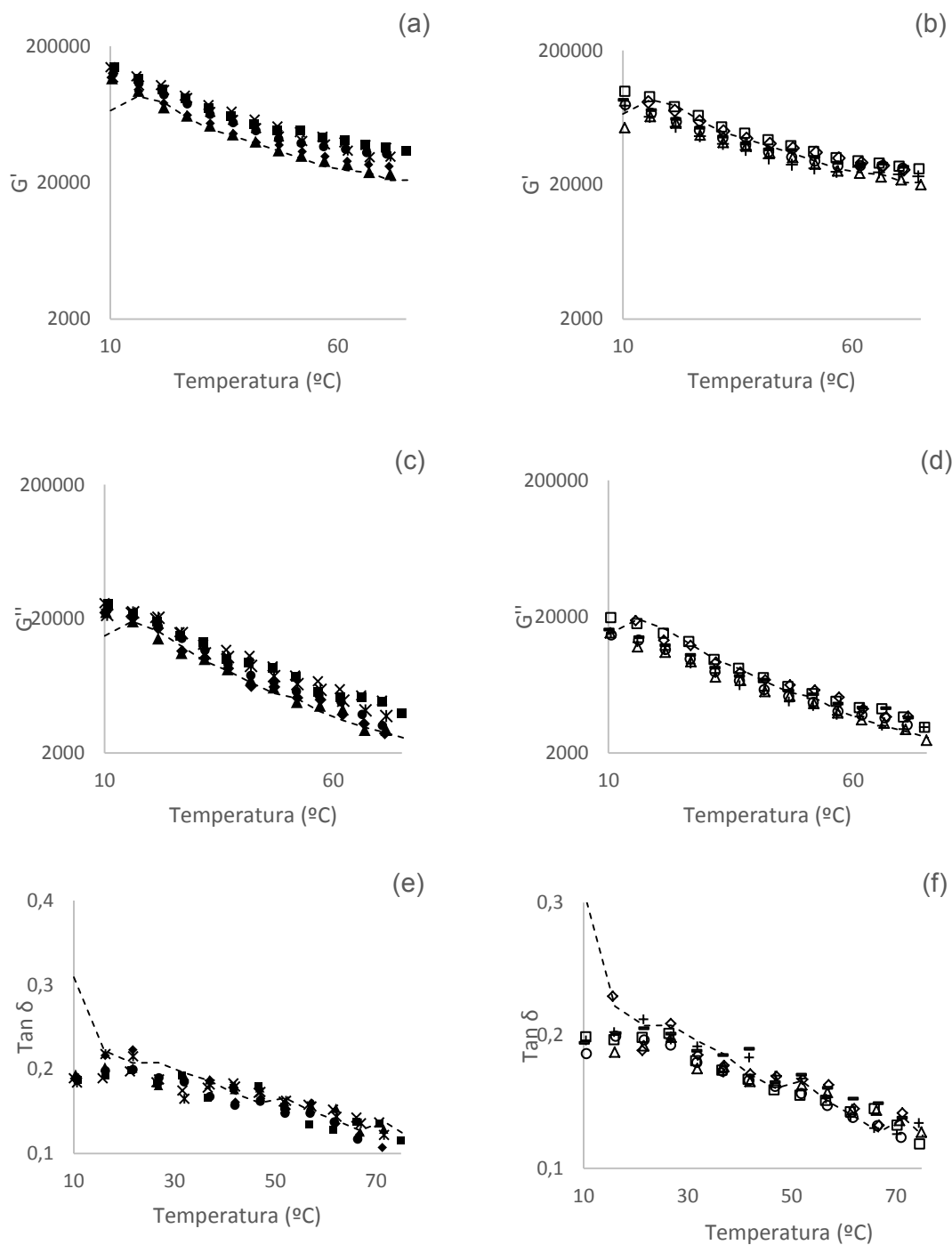


Figura 31 – Varredura de temperatura da mortadela, numa tensão predefinida de 10Pa. (a), (c) e (e) = substituição de 25% de toucinho; (b), (d) e (f) = substituição de 50% de toucinho. Fc(---) = formulação-controle; F1(♦) = 25% de substituição de toucinho por carne; F2(▲) = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3(*) = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4(•) = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5(■) = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6(x) = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7(◇) = 50% de substituição de toucinho por carne; F8(Δ) = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9(+) = 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10(○) = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11(□) = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; e F12(-) = 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel.

As amostras apresentaram valores do módulo de armazenamento variando entre 2×10^4 Pa e 3×10^5 Pa e foram cerca de uma ordem de grandeza maior do que o módulo de perda, que variou de 2×10^3 Pa a 2×10^4 Pa; sendo $G' > G''$ para todas as formulações. A mortadela é um material semissólido com caráter predominantemente elástico; e note-se que ambos módulos diminuem quando houve aumento da temperatura de 10 °C a 75 °C. Este fato é devido ao processo de derretimento da gordura quando aumentada a temperatura. Quando aumenta a temperatura a gordura presente nas amostras torna-se líquida; portanto, o módulo elástico e o módulo viscoso diminuem; mas os valores de G' continuam sendo maiores do que G'' . Na Figura 31 evidencia-se que as curvas de todas as formulações são similares, indicando que a substituição de 50% do toucinho por carne ou misturas de fibras e água não alterou os parâmetros de G' e G'' das mortadelas.

Os valores de $\tan \delta$ são < 1 para todos os casos, nos dois grupos de substituição de toucinho por misturas de fibras e água (25% ou 50%), observando-se uma tendência crescente que variou de aproximadamente de 0,4 a 0,1; este valor foi atingido em 75 °C, isso mostra que durante o aumento da temperatura os valores dos módulos de armazenamento (G') e de perda (G'') não diminuem na mesma magnitude, sendo G' cada vez maior do que G'' . Disto, pode-se inferir que rearranjos macroestruturais capazes de afetar as propriedades mecânicas da mortadela ocorrem em qualquer temperatura dentro da faixa estudada (10 °C até 75 °C).

Os valores de G' da formulação baseada na substituição do 25% de toucinho por 4% FSe 0%FI (F2) apresentam um comportamento semelhante àqueles da FC; as demais formulações apresentam valores maiores de G' . Já para as formulações com substituição de 50% as diferenças entre FC e as demais formulações são imperceptíveis.

Quando analisadas as curvas para G'' nota-se que o comportamento segue quase a mesma tendência de G' . Para 25% de substituição, F1 e F2 são as formulações com comportamento mais semelhante à FC; as demais formulações têm valores maiores de G' . Já para 50% de substituição de toucinho as diferenças não conseguem ser percebidas.

4.4.3 Mortadela – Análises de relaxamento de tensão

As curvas de relaxamento da tensão são apresentadas na Figura 32. Observa-se um aumento da tensão, de 0 kPa até 17kPa, quando se atinge a deformação máxima predeterminada no material. A partir desse momento, a tensão necessária para manter a deformação diminui exponencialmente com o tempo. O tempo de análise foi de 1.500 segundos.

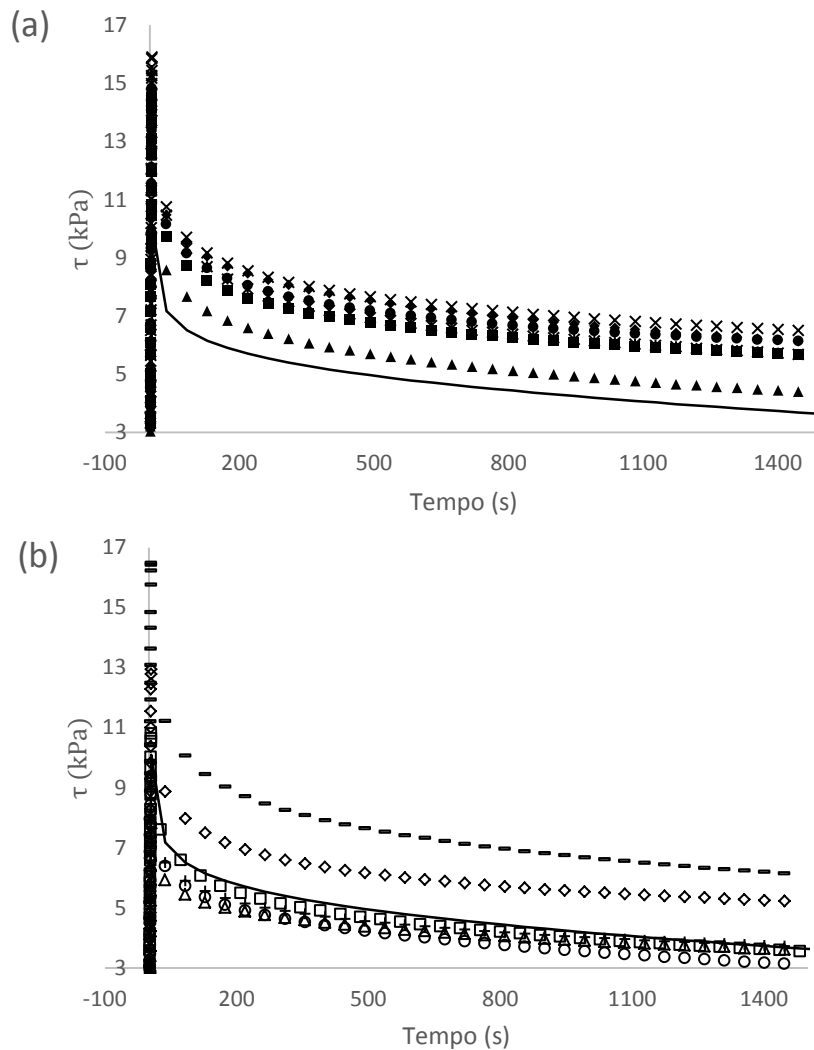


Figura 32 – Curvas de relaxamento da tensão. (a) = 25% de substituição de toucinho; (b) = 50% de substituição de toucinho; Fc (---) = formulação-controle; F1(♦) = 25% de substituição de toucinho por carne; F2(▲) = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3(*) = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4(•) = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5(■) = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6(x) = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7(◊) = 50% de substituição de toucinho por carne; F8(Δ) = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9(+) = 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10 (○) = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11(□) = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; e F12(-): 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel.

As formulações que apresentaram um comportamento mais diferenciado com respeito à FC foram as formulações com maior teor de FI (F6 e F12).

A Tabela 1 apresenta os valores do modelo generalizado de Peleg e de Maxwell de dois termos.

Tabela 1 – Parâmetros dos modelos generalizados de Peleg e de Maxwell de dois termos, para mortadelas

Formulações	Peleg					Maxwell					
	T (kPa)	k ₁	k ₂	% RMS	R ²	τ ₁ (kPa)	λ ₁ (s)	τ ₂ (kPa)	λ ₂ (s)	%RMS	R ²
FC	10	135,0	1,6	5,9	0,930	6,06	2731,9	4,22	34,8	2,2	0,999
F1	13	231,2	1,8	3,4	0,942	8,76	3720,2	6,12	36,2	2,2	0,999
F2	11	200,9	1,6	4,0	0,944	6,92	2919,3	5,97	36,4	2,8	0,998
F3	13	203,3	1,7	3,1	0,946	8,11	3695,9	7,14	44,3	2,7	0,998
F4	13	199,8	1,8	3,1	0,939	8,20	4436,4	6,56	38,4	2,6	0,999
F5	12	204,3	1,8	3,1	0,935	7,80	4059,5	6,62	37,4	2,7	0,998
F6	14	120,3	1,8	3,3	0,952	8,75	4372,5	7,09	36,1	2,5	0,999
F7	13	110,0	1,6	4,0	0,937	7,05	4310,2	5,76	42,3	2,6	0,999
F8	7	190,0	1,9	3,4	0,949	5,02	4071,9	3,02	39,4	1,9	0,999
F9	9	119,5	1,7	3,9	0,953	5,29	3758,1	3,84	43,1	2,4	0,999
F10	8	223,5	1,6	4,5	0,945	5,21	2635,0	4,20	36,9	2,5	0,999
F11	9	178,6	1,7	4,9	0,925	5,93	2885,5	4,48	23,5	5,7	0,998
F12	15	130,0	1,7	4,3	0,949	9,03	3426,6	7,48	38,9	2,6	0,999

Nota: Fc =formulação-controle; F1 = 25% de substituição de toucinho por carne; F2 = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3 = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4 = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5 = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6 = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7 = 50% de substituição de toucinho por carne; F8 = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9 = 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10 = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11 = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; e F12 = 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel.

Segundo os resultados do modelo de Peleg, evidencia-se que as amostras com comportamento mais elástico foram aquelas que apresentaram maior teor de FS, e à medida que aumenta o teor de FI este componente elástico diminuiu.

Os valores da tensão para o modelo de Peleg explicam a força necessária para atingir a deformação do 10%, com respeito à altura original das amostras; estes valores variaram entre 15 kPa·m⁻² e 7,5 kPa·m⁻². Já as constantes k₁ e k₂ os valores variaram entre 110 e 231,2, e 1,59 e 1,90, respetivamente.

Embora o modelo apresente um coeficiente de determinação (R²) perto de 1 (um) e RMS inferior a 10%, é importante lembrar que este teste foi realizado durante 25 minutos (1.500 segundos), tempo insuficiente para encontrar a tensão de equilíbrio (plateau) na curva, fato pelo qual os valores não satisfizeram o modelo de Peleg.

Os maiores valores de tensão foram obtidos para as amostras F6 e F12; isto foi devido ao maior teor de FI; esta fibra forma uma rede tridimensional insolúvel que modifica as propriedades reológicas da fase contínua de uma emulsão (COFRADES et al., 2000).

Segundo Niness (1999), a fibra solúvel (FS) de inulina possui uma textura finamente cremosa, promovendo, na boca, uma sensação semelhante à da gordura. Neste sentido, explica-se que os valores da tensão sejam menores para as formulações com maior teor de FS (F2 e F8) e também explicaria por que estas duas formulações apresentaram os menores ($P > 0,05$) valores de dureza e coesividade.

Os valores de tensão do modelo de Maxwell de dois termos representa a força que diminui com respeito ao tempo de análise. O fato de τ_1 ser maior do que τ_2 está relacionado com a destruição da estrutura interna (SOZER; COSKUN, 2007). Este parâmetro mede diretamente a elasticidade do material; quanto menor o valor de τ então mais o material comporta-se como um sólido elástico. Este comportamento é predominante nas formulações com maior teor de FS, conforme também demonstrado com o modelo de Peleg.

Os valores de λ explicam o comportamento viscoso já que representa o tempo de relaxamento, quanto menor for o tempo de relaxamento, o comportamento se aproxima ao comportamento de fluido viscoelástico. Os menores tempos de λ_1 para as formulações com 25% de substituição de toucinho são apresentados pelas formulações F2 e F8. Os parâmetros do modelo de Maxwell variaram: τ_1 entre 5,02 e 9,03; τ_2 entre 3,02 e 7,48; λ_1 entre 2635 e 4436,4; e λ_2 entre 34,81 e 44,31. Além dos parâmetros do modelo foi estimado %RMS com valores entre 1,94 e 5,70 e R^2 que apresenta valores em torno de 0,999.

Para o modelo de Peleg, os valores de RMS variaram entre 5,99% e 3,10%; e para o modelo de Maxwell variaram entre 2,81% e 1,94%. O modelo de Maxwell apresenta-se, pois, como mais adequado que o modelo de Peleg por representar melhor o relaxamento da tensão das mortadelas, considerando-se os dados experimentais obtidos no presente trabalho, que apresenta valores de R^2 entre 0,998 e 0,999; e de %RMS menores do que os apresentados pelo modelo de Peleg. Este modelo foi mais apropriado tendo em vista que o tempo do teste de relaxamento de tensão foi insuficiente para determinar a tensão de equilíbrio.

Na Figura 32-a, mostra-se que o comportamento que é mais semelhante ao comportamento de FC é da formulação F2, que possui maior teor de FS. As demais formulações (F1, F3, F4, F5 e F6) comportaram-se dentro da mesma faixa de valores, sendo maiores do que FC. As formulações com substituição de 25% de toucinho por carne, tiveram maior teor de proteína (16,47%) e serão requeridas mais tensão para manter a deformação; já as formulações que tiveram substituição por fibras insolúveis (F3, F4, F5 e F6) apresentaram aumento na rede insolúvel e, conseqüentemente, requererão maior tensão para manter a deformação.

Já na Figura 32-b que representa a substituição de 50% de toucinho o comportamento muda com respeito à Figura 32-a. F8, F9 e F11 possuem comportamento mais semelhante à FC. Já as formulações que precisam de maior tensão para manter a deformação em função do tempo são F7 e F12, por possuírem maior teor de proteína e maior teor de FI, gerando uma rede proteica e uma rede insolúvel mais dura.

4.5 Análises de contrastes entre 25% e 50% de substituição

Ao avaliar o efeito da substituição de toucinho, verifica-se na Tabela 2 que o grupo de mortadelas formuladas pela substituição de 25% de toucinho por carne ou por misturas de fibras e água (F1, F2, F3, F4, F5, F6) apresentou menor ($P < 0,05$) teor de umidade do que 50%. Em virtude disto, as mortadelas que compõem o primeiro grupo foram elaboradas com maior quantidade de gordura suína e menor teor de água do que o segundo grupo, isso explica a variação observada na umidade.

4.6 Correlações de Pearson

As Tabelas 3 e 4 apresentam as análises de correlações entre os parâmetros avaliados no experimento.

Os parâmetros que tiveram correlações significativas ($P < 0,05$) foram: dureza vs proteína; G' e G'' da massa e G' da mortadela; coesividade vs G' e G'' da mortadela; flexibilidade vs G'' da mortadela; mastigabilidade vs G' da mortadela; adesividade vs G' e G'' da mortadela; umidade vs G' e G'' da massa; lipídeos vs G' e G'' da massa; proteína vs $\tan \delta$ da massa; relação U/P vs G' , G'' e $\tan \delta$ da massa crua e relação P/L vs G' e G'' da massa crua. Embora as correlações sejam positivas, elas também precisam ser explicadas acima de 60%, fato que não acontece em nenhum caso (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 – Estimativa do contraste entre o grupo de médias (F2 + F3 + F4 + F5 + F6) – (F8 + F9 + F10 + F11 + F12) e probabilidades para as características físicas, físico-químicas da massa crua de mortadelas e parâmetros de TPA e CRA de mortadelas formuladas pela substituição de 25% e 50% de toucinho por carne ou misturas de fibras solúveis e insolúveis e água

Variável	Estimativa do Contraste	P>F
Gex	0,0254	0,3001
Umidade	0,0238	0,0012
Lipídeos	0,0488	0,0619
Proteína	0,0821	0,7706
Dureza	0,0923	0,6245
Coesividade	0,1027	0,5951
Flexibilidade	0,0999	0,7772
Mastigabilidade	0,0664	0,4971
Adesividade	0,0431	0,9739
CRA	0,0301	0,6365

FC = formulação-controle; F1 = formulação com substituição de 25% de toucinho por carne; F2 = formulação com mistura de 4% FS e 0% FI; F3 = formulação com mistura de 3% FS e 1% FI; F4 = formulação com mistura de 2% FS e 2% FI; F5 = formulação com mistura de 1% FS e 3% FI; F6 = formulação com mistura de 0% FS e 4% FI; F7 = formulação com substituição de 50% de toucinho por carne; F8 = formulação com mistura de 4% FS e 0% FI; F9 = formulação com mistura de 3% FS e 1% FI; F10 = formulação com mistura de 2% FS e 2% FI; F11 = formulação com mistura de 1% FS e 3% FI; e F12: formulação com mistura de 0% FS e 4% FI.

Tabela 3 – Correlações para os parâmetros de textura instrumental (TPA), os teores de água, lipídeos e proteína, e as relações U/P, P/L e os parâmetros reológicos estudados no teste de varredura de frequência da massa crua e das mortadelas em 10 Hz (n = 39)

	Dureza(gf)	Coesividade	Flexibilidade (mm)	Mastigabilidade (gf·mm)	Adesividade (gf·mm)
Umidade	-0,0576 0,7276	0,1719 0,2952	0,1363 0,4080	0,1493 0,3643	-0,0068 0,9670
Lipídeos	0,1213 0,4619	-0,1732 0,2917	-0,1070 0,5166	-0,0899 0,5862	-0,0445 0,7876
Proteína	0,3375 0,0356	0,1281 0,4369	-0,0853 0,6054	0,2627 0,1061	-0,0801 0,6279
U/P	-0,2664 0,1011	0,0208 0,8997	0,1592 0,3330	-0,0820 0,6194	0,0553 0,7381
P/L	-0,1009 0,5407	0,2597 0,1102	0,0145 0,9302	0,1311 0,4262	-0,0104 0,9495
G' Massa	-0,3490 0,0294	0,0564 0,7330	-0,1746 0,2876	-0,2541 0,1184	0,2578 0,1130
G'' Massa	-0,3564 0,0259	0,0560 0,7347	-0,1805 0,2714	-0,2632 0,1054	0,2512 0,1228
Tδ Massa	-0,1870 0,2542	0,0395 0,8111	-0,2262 0,1662	-0,1939 0,2369	-0,0844 0,6094
G' Mortadela	0,3813 0,0166	0,4161 0,0084	-0,2592 0,1110	0,3542 0,0269	-0,3583 0,0251
G'' Mortadela	0,2944 0,0688	0,40003 0,0116	-0,3367 0,0361	0,2634 0,1051	-0,3385 0,0350
Tδ Mortadela	-0,2267 0,1651	-0,0066 0,9678	-0,2330 0,1534	-0,2200 0,1784	0,0635 0,7009

Correlação de Pearson para as três repetições das 13 formulações (n = 39).

Tabela 4 – Correlações para os teores de água, lipídeos e proteína, e as relações U/P, P/L e os parâmetros reológicos estudados no teste de varredura de frequência da massa crua e das mortadelas em 10 Hz (n = 39)

	Umidade	Lipídeos	Proteína	U/P	P/L
G'	0,3477	-0,4913	-0,2110	0,3883	0,4158
Massa	0,0301	0,0015	0,1972	0,0146	0,0085
G''	0,3735	-0,5227	-0,2368	0,4237	0,4463
Massa	0,0191	0,0006	0,1466	0,0072	0,0044
Tanδ	0,1506	-0,2492	-0,3982	0,3895	0,2017
Massa	0,3602	0,1259	0,0120	0,0142	0,2182
G'	-0,0878	0,1700	-0,1409	0,0449	-0,1584
Mortadela	0,5950	0,3008	0,3922	0,7860	0,3355
G''	-0,1110	0,2172	-0,1926	0,0703	-0,2118
Mortadela	0,5009	0,1841	0,2399	0,6704	0,1954
Tanδ	-0,0310	0,1597	-0,0973	0,0665	-0,1435
Mortadela	0,8511	0,3313	0,5555	0,6875	0,3834

Correlação de Pearson para as três repetições das 13 formulações (n = 39).

5 CONCLUSÃO

A substituição de toucinho por carne ou por fibras alimentares e água tende a gerar alterações na composição centesimal das mortadelas; apenas o teor de proteína não é influenciado pela redução de toucinho na formulação; aos 25% de redução de toucinho, apenas o teor de lipídeos difere daquele de mortadelas-controle (tradicionais); e aos 50% de redução de toucinho, os teores de umidade e lipídeos diferem daqueles da mortadela-controle.

Mortadelas elaboradas com substituição de toucinho por misturas de fibras alimentares e água apresentaram maior estabilidade de emulsão que a mortadela tradicional (controle).

Em qualquer nível (25% ou 50%), a substituição de toucinho por fibras alimentares e água altera os parâmetros do perfil de textura instrumental (dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade) e nas características reológicas das massas cruas e cozidas das formulações de mortadela, que foram similares ($P > 0,05$) daqueles da FC, apresentando comportamento de sólidos elásticos. Essas observações são compatíveis com a correlação significativa entre o teor de proteína e o parâmetro de dureza.

Conclui-se que a substituição de toucinho por fibras alimentares e água permite a elaboração de mortadelas com maior estabilidade de emulsão, e características de textura e perda de água bem similares às daquelas de uma mortadela tradicional.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Com base nos resultados apresentados, recomendam-se futuros trabalhos na atual linha de pesquisa, abordando os seguintes aspectos:

1. Estudar os efeitos da adição de fibras funcionais (VITACEL® WF 600 e Orafiti®GR) em mortadelas, de maneira que as fibras sejam empregadas de forma isolada e em misturas.

2. Analisar, por meio de microscopia de fluorescência, as mortadelas formuladas para se obter imagens diretas da estrutura e da topologia superficial dos materiais analisados.

4. Realizar análise sensorial quantitativa descritiva das formulações de mortadelas quanto à textura (dureza, mastigabilidade, elasticidade e coesividade), ao sabor, à cor e à impressão global.

5. Realizar modelagem do efeito da adição de fibras à gordura e à carne, para determinar em qual sistema há maior afinidade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S. Dynamic rheology and thermal transitions in meat-based strained baby foods. *Journal of Food Engineering*, v.78, n. 4, p. 1274-1284, 2007.

ALVAREZ, D.; BARBUT, S. Effect of inulin, β -glucan and their mixtures on stability, color and textural parameters of cooked of meat batters. *Meat Science*, v. 94, n. 3, p. 320-327, 2013.

ÁLVAREZ, E. E.; SÁNCHEZ, G. P. Fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*, v. 21, n. 2, p. 61-72, 2006.

ANDERSON, E. T.; BERRY, B. W. Sensory, shear, and cooking properties of lower-fat beef patties made with inner pea fiber. *Journal of Food Science*, v. 65, n. 5, p. 805-810, 2000.

ANDRADE, C. T.; NASSER, R. O. Estudo reológico da gelificação induzida pelo calor de proteínas do soro de leite e dos géis resultantes sob condições variadas de pH. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 25, n. 2, p. 315-321, 2005.

ANZALDÚA MORALES. A. Evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Zaragoza: Acribia. 1994.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis of the AOAC International. 16. ed. Arlington, USA, 1998.

ARAÚJO, J. M. A. Química de alimentos. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011.

ASGHAR, A.; SAMEJINA, K.; YASUI, T.; HENRICKSON R. L. Functionality of muscle proteins in gelation mechanisms of structured meat products. *CRC Critical Rev. Food Sci. Nutrition*, v. 22, n. 1, p. 27-106, 1985.

BARRETO, A. C. S. Efeito da adição de fibras como substituto de gordura em mortadelas. 2007. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

BESSESEN, D. H. The role of carbohydrates in insulin resistance. *Journal of Nutrition*, v. 131, n. 10, p. 2782s-2786s, 2001.

BISWAS, A. K.; KUMAR, V.; BHOSLE, S.; SAHOO, J.; CHATLI, M. K. Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health. *International Journal of Livestock Production*, v. 2, n. 4, p. 45-54, 2011.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. Química do processamento de alimentos. 3. ed. São Paulo: Varela, 1992.

BORTOLUZZI, R. C. Aplicação de fibra obtida da polpa da laranja na elaboração de mortadela de frango. 2009. 112 f. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Portaria nº 27. Aprova o regulamento técnico referente à informação nutricional complementar. Brasília, DF: 13 de janeiro de 1998.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). RDC nº 54. Regulamento técnico Mercosul sobre Informação Nutricional Complementar. Brasília, DF: 12 de novembro de 2012.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). RDC nº 359. Regulamento técnico de porções de alimentos embalados para fins de rotulagem nutricional. Brasília, DF: 23 de dezembro de 2003.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA. Anexo II, Regulamento técnico de identidade e qualidade de mortadela. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Brasília, DF: nº 4, 31 de março de 2000.

BREWER, M. S.; PETERSON, W. J.; CARR, T. C.; McCUSKER, R.; NOVAKOFSKI, J. Thermal gelation properties of miofibrillar protein and gelatin combinations. *Journal Muscle Foods*, v. 16, n.2, p. 126-140, 2005.

BRUNO, M.; MORESI, M. Viscoelastic properties of bologna sausages by dynamic methods. *Journal of Food Engineering*, v. 63, n.3, p. 291-298, 2004.

CENGIZ, E.; GOKOGLU, N. Effects of fat reduction and fat replacer addition on some quality characteristics of Frankfurter-type sausages. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 42, n. 3, p. 366-372, 2007.

CHAMP, M.; LANGKILDE, A. M.; BROUNS, F.; KETTLITZ, B.; COLLET, Y. B. Advances in dietary fiber characterization. 1. Definition of dietary fiber, physiological relevance, health benefits and analytical aspects. *Nutrition Research Reviews*, v. 16, n. 1, p. 71-82, 2003.

CHEN, H.; XU, S.; WANG, Z. Interaction between flaxseed gum and meat protein. *Journal of Food Engineering*, v. 80, n. 4, p. 1051-1059, 2007.

CHIN, K. B.; KEETON, J. T.; LONGNECKER, M. T.; LAMKEY, J. M. Functional, textural and microstructural properties of low fat bologna (model system) with a konjac blend. *Journal of Food Science*, v. 63, n. 5, p. 801-807, 1998

CHINDA, D.; NAKAJI, S. The fermentation of different dietary fibers is associated with fecal clostridia levels in men. *Journal of Nutrition*, v. 134, p. 1881-1886, 2004,

CHOE, J-H.; KIM, H-Y.; LEE, J-M.; KIM, Y-J.; KIM, C-J. Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat replacers. *Meat Science*, v. 93, n. 4, p. 849-854, 2013.

CLAUS, J. R.; HUNT, M. C. Low fat, high-added water bologna formulated with texture modifying ingredients. *Journal of Food Science*, v. 56, n. 3, p.643-647, 1991.

CLAUS, J. R.; HUNT, M. C.; KASTNER, C. L. Effects of substituting added water for fat on the textural, sensory, and processing characteristics of bologna. *Journal Muscle Foods*, v. 1, n. 1, p. 1-21, 1989.

CLAUS, J. R.; HUNT, M. C.; KASTNER, C. L.; KROPF, D. H. Low-fat, high-added water bologna: effects of massaging, preblending, and time of addition of water and fat on physical and sensory characteristics. *Journal of Food Science*, v. 55, n. 3, p. 338-345, 1990.

COFRADES, S.; GUERRA, M.A.; CARBALLO, J.; FERNÁNDEZ-MARTÍN, F.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Plasma protein and soy fiber content effect on bologna sausage properties as influenced by fat level. *Journal of Food Science*, v. 65, n. 2, p. 281-287, 2000.

COFRADES, S.; LÓPEZ- LÓPEZ, I.; SOLAS, M. T.; BRAVO, L.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Influence of different proportions of added edible seaweeds on characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems. *Meat Science*, v. 79, n. 4, p. 767-776, 2008.

COPPINI, L. Z.; WAITZBERG, D. L.; CAMPOS, F. G.; HARB-GAMA, A. fibras alimentares e ácidos graxos de cadeia curta, In: WAITZBERG, D. L. (Org.). *Nutrição oral, enteral e parenteral na prática clínica*. 3. ed. São Paulo: Atheneu; 2004.

COSTA, LEOPOLDO. Mortadelas e mortadelas. 1^o fevereiro de 2012. Disponível em: <<http://stravaganzastravaganza.blogspot.com.br/2012/02/mortadela.html>>. Acesso em: 23 ago.2012.

COUSSEMENT, P.; FRANK, A. Inulin and oligofructose. *Dietary fiber*. New York: Marcel Dekker Inc., 2001. p. 721-736.

CUMMINGS, J. H. What is fiber. In: PILLER, G.; AMEN, R. J. (Ed.). *Fiber in human nutrition*. New York: Plenum Press, 1976. p. 1-19.

DÁVILA, E.; PARÉS, D.; CUVÉLIER, G.; RELKIN, P. Heat induced gelation of porcine blood plasma proteins as affected by pH. *Meat Science*, v. 76, n. 2, p. 216-225, 2007.

DEGOUY, E. The low fat cheese challenge. *Dairy Industries International*, v. 58, n. 10, p. 41-43, 1993.

DESMOND, E. M.; TROY, D. J.; BUCKLEY, D. J. The effects of tapioca starch, oat fiber and whey protein on the physical and sensory properties of low-fat beef burgers. *LWT – Food Science and Technology*, v. 31, n. 7-8, p. 653-657, 1998.

DHINGRA, D.; MICHAEL, M. M.; RAJPUT, H.; PATIL, R. T. Dietary fiber in foods: a review. *Journal Food Science and Technology*, v. 49, n. 3, p. 255-266, 2012.

DOSSIÊ: FIBRAS ALIMENTARES. *Food Ingredients Brasil*, v. 3, p. 42-65, 2008.

FEMENIA, A.; LEFEBVRE, A. C.; THEBAUDIN, J. Y.; ROBERTSON, J. A.; BOURGEOIS, C. M. Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *Journal of Food Science*, v. 62, n. 4, p. 635-639, 1997.

FERNÁNDEZ-GUINÉS, J.; FERNANDEZ-LOPEZ, J.; SAYAS-BARBERÁ, E.; SENDRA, E.; PÉREZ-ALVAREZ, J. Effect of storage conditions on quality characteristics of bologna sausages made with citrus fiber. *Journal of Food Science*, v. 68, n. 2, p. 710-714, 2003.

FERRAZ, J. F. Y. Avaliação dos efeitos da adição de óleos vegetais como substitutos de gordura animal em mortadela. 2010. 103 f. Dissertações (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2010.

FONTANA, J. D.; BARON, M.; DINIZ, A. C. P.; FRANCO, V. C. Microbial inulinase secretion using chemically modified inulins. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 45-46, n. 1, p. 257-268, 1994.

FREITAS, M. Q.; SILVA, T. J. P.; MANO, S. B.; CHAVES, J. B. P. Medidas instrumentais de textura e cor, em mortadela produzida com carne mecanicamente separada de frango. *Higiene Alimentar*, v. 18, n. 126-127, p. 66-70, 2004.

GARCÍA, M. L.; DOMINGUEZ, R.; GALVEZ, M. D.; CASAS, C.; SELGAS, M. D. Utilization of cereal and fruit fibers in low fat dry fermented sausages. *Meat Science*, v. 60, n. 3, p. 227-236, 2002.

GRAU, R.; HAMM, R. Fiber das Wasserbindungsvermögen des Säugetiermuskels. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, v. 105, n. 6, p. 446-460, 1957.

GREEN, C. J. Fiber in enteral nutrition. *South African Journal of Clinical Nutrition*, v. 13, n. 4, p. 150-159, 2000.

GUILLON, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibers, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, v. 33, n. 3-4, p. 233-245, 2000.

GUIMARAES, F. C. Formulação e caracterização de mortadelas com adição de fibras funcionais e redução de gordura. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2011.

HAULY, M. C. O.; MOSCATTO, J. A. Inulina e oligofrutoses: uma revisão sobre propriedades funcionais, efeito prebiótico e importância na indústria de alimentos. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 223, n. 11, p. 105-118, 2002.

HUANG, S. C.; TSAI, Y. F.; CHEN, C. M. Effects of wheat fiber, oat fiber, and inulin on sensory and physico-chemical properties of chinese-style sausages. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, v. 24, n. 6, p. 875-880, 2011.

HUFFMAN, D. L.; HUFFMAN, R. D. Production of low fat and reduced fat ground beef. In: *Production and processing of healthy meat, poultry and fish products. Advances in Meat Research Series*, cap. 11, p. 226-241, 1997.

HUGHES, E.; COFRADES, S.; TROY, D. J. Effects of fat level, oat fiber and carrageenan on frankfurters formulated with 5% 12% and 30% Fat. *Meat Science*, v. 45, n. 3, p. 273-281, 1997.

HUGHES, E.; MULLEN, A. M.; TROY, D. J. Effects of fat level, tapioca starch and whey protein on Frankfurters formulated with 5% and 12% fat. *Meat Science*, v. 48, n. 1-2, 169-180, 1998.

IKEDA, S. Heat-induced gelation of whey proteins observed by rheology, atomic force microscopy, and Raman scattering spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, v. 117, n. 4, p. 399-406, 2003.

JIMÉNEZ COLMENERO, F.; AYO, M. Y.; CARBALLO, J. Physicochemical properties of low sodium frankfurter with added walnut: effect of transglutaminase combined with caseinate, KCl and dietary fiber as salt replaces. *Meat Science*, v. 69, p. 781-788, 2005.

JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Relevant factors in strategies for fat reduction in meat products. *Trends in Food Science & Technology*, v. 11, n. 2, p. 56-66, 2000.

JIMENEZ-COLMENERO, F. Technologies for developing low-fat meat products. Review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 7, n. 2, p. 41-48, 1996.

JIMÉNEZ-COLMENERO, F.; BARRETO, G.; MOTA, N.; CARBALLO, J. Influence of protein and fat content and cooking temperature on texture and sensory evaluation of bologna sausage. *LWT – Food Science and Technology*, v. 28, n. 5, p. 481-487, 1995.

JIMENEZ-COLMENERO, F.; COFRADES, S.; LÓPEZ-LÓPEZ, L.; RUIZ-CAPILLAS, C.; PINTADO, T.; SOLAS, M. T. Technological and sensory characteristics of reduced/low-fat, low-salt frankfurters as affected by the addition of konjac and seaweed. *Meat Science*, v. 84, n. 3, p.356-363, 2010.

JIMENEZ-COLMENERO, F.; COFRADES, S.; HERRERO, A. M.; FERNÁNDEZ-MARTÍN, F.; RODRÍGUEZ-SALAS, L.; RUIZ-CAPILLAS, C. Konjac gel fat analogue for use in meat products: comparison with pork fats. *Food Hydrocolloids*, v. 26, n. 1, p. 63-72, 2012.

KARWOWSKA, M.; DOLATOWSKI, Z. J. Physicochemical and sensory characteristics of meat products with buckwheat and oat extrudates, starch and soybean protein addition. *Polish Journal of Natural Sciences*, v. 23, n. 1, p. 219-231, 2008.

KEETON, J. T. Low-fat meat products – technological problems with processing. *Meat Science*, v. 36, n. 1-2, p. 261-276, 1994.

MACHADO OLIVEIRA, A. P. Propriedades viscoelásticas da massa de farinha de arroz e do concentrado proteico de orizéina. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2012.

MADRUGA, M. S.; HAUSS DE SOUSA, W.; SOUZA MENDES, E. M.; ALVES, E. Carnes caprina e ovina processamento e fabricação de produtos derivados. *Tecnologia. & Ciência Agropecuaria*, v. 1, n. 2, p. 61-67, 2007.

- MANSOUR, E. H.; KHALIL, A. H. Characteristics of low-fat beefburguers as influenced by various types of wheat fibers. *Food Research International*, v. 30, n. 3-4, p. 199-205, 1997.
- MARCHETTI, L. S. C.; CALIFANO, A. A. N. Textural and termal properties of low-lipid meat emulsions formulated with fish oil and diferente binders. *LWT Food Science Technology*, v. 57, n. 2, p. 514-523, 2013.
- MARTINEZ, D. E. R.; PACHECO-DELAHAYE, E. Utilización de inulina y carragenina en la elaboración de salsichas de carne bajas en grasa. *Rev. Fac. Agron., Maracay, Venezuela*, v. 33, n. 3, p. 165-178, 2007.
- MATOS CHAMORRO, A.; CHAMBILLA MAMANI, E. Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista Investigación Ciencia Tecnología de Alimentos*. v. 1, n. 1, 2010.
- McCLEMENTS, D. J. *Food emulsions – Principles, practice and techniques*. New York: CRC Press, 1999.
- McCLEMENTS, D. J. *Food emulsions: principles, practice, and techniques*. Washington, DC: CRC Press, 2005.
- MELLO, V.; LAAKSONEN, D. Fibras na dieta: tendências atuais e benefícios à saúde na síndrome metabólica e no diabetes mellitus tipo 2. *Arq. Bras. Endocrinol. Metab.*, v. 53, n. 5, 2009.
- MONTEIRO, A. M. F. *Proteínas com funcionalidade mecânica: um estudo físico-químico sobre a viscoelasticidade da gliadina, uma proteína de reserva do glúten do trigo*. 2004. 174 f. Tese (Doutorado em Físico-Química) –Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Reologia de suspensões de colágeno na presença de maltodextrina e lactose. *Brazilian Journal of Food Technology*, VII BMCFB, 2009.
- NINESS, K. Inulin and oligofructose: What are they? *The Jornal of Nutricion*, v. 129, n. 7, p. 1402S-1406S, 1999.
- OGNEAN, M.; DARIE, N.; OGNEAN, C. Wheat fiber as additives in reduced calories wheat bread; part one: Doughand bread properties. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, v. 12, 2006.
- PACHECO, M. T. B.; SGARBIERI, V. C. Fibra e doenças gastrointestinais. In: LAJOLO, F. M. et al. (Org.). *Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud*. São Paulo: Varela, 2001.
- PASEEPHOL, T.; SMALL, D. M.; SHERKAT, F. Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal Texture Studies*, v. 39, n. 6, p. 617-634, 2008.
- PELEG, M. The basics of solid foods rheology. In: MOSKOWITZ, P. (Ed.). *Food Texture*. New York: Marcel Dakker Inc, 1987.

- PIETRASIK, Z. Effect of content of protein, fat and modified starch on binding textural characteristics, and colour of comminuted scalded sausages. *Meat Science*, v. 51, n. 1, p. 17-25, 1999.
- RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias. Viçosa, MG: UFV, 2007.
- RAO, M. A. Measurement of flow and viscoelastic properties. In: RAO, M. A. (Ed.). *Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications*. Gaithersburg: Aspen Publication, 1999.
- ROBERFROID, M. B.; van LOO, J.; GIBSON, G. R. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *The Journal of Nutrition*, v. 128, n. 1, p. 11-19, 1998.
- SANTOS, F. A.; QUEIROZ, J. H.; COLODETTE, J. I.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana de açúcar para produção de etanol. *Química Nova*, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.
- SCHRAMM, G. A practical approach to rheology and rheometry. 2. ed. Karlsruhe: Thermo Electron (Karlsruhe), 2004. 259 p.
- SCHUH, V.; ALLARD, K.; HERRMANN, K.; GIBIS, M.; KOHLUS, R.; WEISS, J. Impact of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) on functional characteristics of emulsified sausages. *Meat Science*, v. 93, p. 240-247, 2013.
- SEABRA, L. M.; ZAPATA, J. F. Fécula de mandioca e farinha de aveia como substitutos de gordura na formulação de hambúrguer de carne ovina. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 22, n. 3, p. 244-248, 2002.
- SELGAS, M. D.; CÁCERES, E.; GARCÍA, M. L. Long-chain soluble dietary fiber as functional ingredient in cooked meat sausages. *Food Science Technology International*, v. 11, n. 1, p. 41-47, 2005.
- SIKORSKI, Z. Chemical and functional properties of food components. 3. ed. New York: CRC Press. 2007.
- SILVA, F. B. Efeitos da inulina nas propriedades físico químicas, sensoriais e de textura de embutido de peito de peru defumado. 2010. 73 f. Dissertações (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- SILVA, M. A. D. Transição sol-gel em soluções orgânico-aquosas de lisozima e o efeito indutor do solvente: caracterização cinética e estrutural. 2006. Tese (Doutorado em Físico-Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- SILVA, R. F. Use of inulin as a natural texture modifier. *Cereal Foods World*, v. 41, n. 10, p. 792-794, 1996.
- SONG, F.; ZHANG, L-M.; YANG, C.; YAN, L. Genipin-crosslinked casein hydrogels for controlled drug delivery. *Int. J. Pharm*, v. 373, n. 1-2, p. 41-7, 2009.

- SOUTHGATE, D. A. T.; WHITE, M.; SPILLER, G. A.; KAY, R. M. Glossary of dietary fiber components. In: SPILLER, G. A. (Org.). CRC handbook of dietary fiber in human nutrition. Boca Raton: CRC Press, 1992. p. 29-33.
- SOUZA, E. P.; MORI, E.; LEMOS, D. M.; CORDEIRO, F.; MELO SILVA, L. M. Análise química da formulação de hambúrguer enriquecido com fibras da casca de melancia desidratadas. *Revista Verde*, Mossoró, RN, v. 7, n. 1, p. 96-101, 2012.
- SOZER, N.; COSKUN, D. A. Modelling of rheological characteristics of various spaghetti types. *Eur. Food Res. Technol.*, v. 225, p. 183-190, 2007.
- STEENBLOCK, R.; SEBRANEX, J.; OLSON, D.; LOVE, J. The effects of oat fiber on the properties of light bologna and fat-free frankfurters. *Journal of Food Science*, v. 66, n. 9, p. 1409-1415, 2001.
- STEFFE, J. F. *Rheological methods in food process engineering*. 2. ed. East Lansing, MI: Freeman Press, 1996.
- SUN, X. D.; HOLLEY, R. A. Factors influencing gel formation by miofibrillar proteins in muscle foods. *Comprehensive Rev. Food Science and Food Safety*, v. 10, n. 1, p. 33-51, 2011.
- TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CANÓVAS, G. Rheology for the food industry. *Journal Food Engineering*, v. 67, n. 1-2, p. 147-156, 2005.
- TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TACO)/NEPA-UNICAMP – Versão II. 2. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2006. 103 p.
- THEBAUDIN, J. Y.; LEFEBVRE, A. C.; HARRINGTON, M.; BOURGEOIS, C. M. Dietary fibers: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*, v. 8, n. 2, p. 41-48, 1997.
- TOKUSOGLU, Ö.; ÜNAL, M. K. Fat replacers in meat products. *Pakistan Journal of Nutrition*, v. 2, n. 3, p. 196-203, 2003.
- TORNBERG, E. Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, v. 70, n. 3, p. 493-508, 2005.
- TORNBERG, E. Engineering processes in meat products and how they biophysical properties. *Meat Science*, v. 95, n. 4, p. 871-878, 2013.
- TUNGLAND, B. C.; MEYER, D. Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): Their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 3, n. 1, p. 90-109, 2002.
- VENTANAS, S.; PUOLANNE, E.; TUORILA, H. Temporal changes of flavour and texture in cooked bologna type sausages as affected by fat and salt content. *Meat Science*, v. 85, n. 3, p. 410-419, 2010.
- WESTPHALEN, A. D.; BRIGGS, J. L.; LONERGAN, S. M. Influence of pH on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat induced gelation. *Meat science*, v. 70, n. 2, p. 293-299, 2005.

WHISTER, R. L.; DANIEL, J. R. Carbohydrates. In: FENNEMA, O. R. Food chemistry. 10. ed. Marcel Dekker, Inc., 1985. Cap. 3, p. 69-137.

WHITNEY, E. N.; HAMILTON, E. M. Understanding nutrition. 4. ed. New York: West Publishing Company, 1987.

XIONG, Y. L.; BREKKE, C. J. Thermal transitions of salt-soluble proteins from pre- and postrigor chicken muscles. Journal of Food Science, v. 55, n. 6, p. 1540-1543, 1990.

YILMAZ, M. T.; KARAMAN, S.; DOGAN, M. YETIM, H.; KAYACIER, A. Characterization of O/W model system meat emulsions using shear creep and creep recovery tests based on mechanical simulation models and their correlation with texture profile analysis (TPA) parameters. Journal of Food Engineering, v. 108, n. 2, p. 327-336, 2012.

YOUSSEF, M. K.; BARBUT, S. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. Meat Science, v. 82, n. 2, p. 228-233, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 1A – Resumo da análise de variância dos teores de água, lipídios e proteína das formulações-controle (FC) e com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F12)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		Água	Lipídeos	Proteínas
Formulações	12	34,4929	49,8457	1,3079
Resíduo	26	1,9447	3,3788	0,5222
P > F		< 0,0001	< 0,0001	0,0243

Tabela 2A – Resumo da análise de variância dos teores de água, lipídios e proteína das formulações com 25% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F6)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		Água	Lipídeos	Proteínas
Formulações	5	2,4652	0,3316	0,7199
Resíduo	12	1,0516	0,4079	0,4343
P > F		0,1052	0,5627	0,2191

Tabela 3A – Resumo da análise de variância dos teores de água, lipídios e proteína das formulações com 50% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F7 – F12)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		Água	Lipídeos	Proteínas
Formulações	5	2,3676	4,7107	2,2851
Resíduo	12	1,3985	6,8202	0,5230
P > F		0,2107	0,6401	0,0169

Tabela 4A– Teor (médias \pm desvios-padrão) de água, lipídeos e proteínas totais da massa crua de mortadelas formuladas pela substituição de 25% ou 50% de toucinho por carne (F1 e F7, respectivamente) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 a F6 e F8 a F12, respectivamente) e sua comparação com a mortadela-controle (FC)

Formulações	Água (%)	Lipídeos (%)	Proteínas (%)
FC	59,13 \pm 3,25 c	22,20 \pm 0,75 a	15,31 \pm 1,02 ab
F1	62,01 \pm 0,41 ^{ns} bc	16,46 \pm 0,46 *bc	15,64 \pm 0,72 ^{ns} ab
F2	60,70 \pm 1,46 ^{ns} c	16,33 \pm 0,41 *bc	14,57 \pm 0,32 ^{ns} ab
F3	59,71 \pm 0,32 ^{ns} c	16,87 \pm 0,35 *ab	15,18 \pm 0,43 ^{ns} ab
F4	59,79 \pm 0,10 ^{ns} c	16,93 \pm 0,43 *ab	14,60 \pm 1,13 ^{ns} ab
F5	59,81 \pm 1,46 ^{ns} c	17,07 \pm 0,19 *ab	14,67 \pm 0,44 ^{ns} ab
F6	60,95 \pm 1,33 ^{ns} c	16,32 \pm 1,31 *bc	14,30 \pm 0,59 ^{ns} b
F7	67,71 \pm 1,01 *a	11,70 \pm 1,53 *bcd	16,47 \pm 1,12 ^{ns} a
F8	66,52 \pm 1,10 *a	9,68 \pm 0,38 *d	14,91 \pm 0,58 ^{ns} ab
F9	65,36 \pm 1,57 *ab	10,50 \pm 0,39 *d	14,55 \pm 0,71 ^{ns} ab
F10	65,89 \pm 1,06 *ab	8,15 \pm 6,12 *d	14,03 \pm 0,59 ^{ns} d
F11	66,71 \pm 1,55 *a	10,82 \pm 0,27 *d	14,74 \pm 0,57 ^{ns} ab
F12	67,42 \pm 0,36 *a	11,04 \pm 0,88 *cd	14,19 \pm 0,60 ^{ns} b
P>F*	< 0,0001	< 0,0001	0,0243

FC = formulação-controle; F1 = 25% de substituição de toucinho por carne; F2 = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3 = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4 = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5 = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6 = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7 = 50% de substituição de toucinho por carne; F8 = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9 = 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10 = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11 = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; e F12 = 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; * Significativo, a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett comparado com o controle; e ns = não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett comparado com o controle. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. P > F = valor da probabilidade do teste de Fisher, significativo para P < 0,05.

Tabela 5A – Resumo da análise de variância dos teores de água perdida e gordura exsudada das formulações-controle (FC) e com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F12)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio	
		Água Perdida	Gordura Exsudada
Formulações	12	6,3138	0,0127
Resíduo	26	4,2861	0,0076
P > F		0,1972	0,1328

Tabela 6A – Resumo da análise de variância dos teores de água perdida e gordura exsudada das formulações com 25% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F6)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio	
		Água Perdida	Gordura Exsudada
Formulações	5	2,0289	0,0021
Resíduo	12	6,7356	0,0013
P > F		0,9028	0,2314

Tabela 7A – Resumo da análise de variância dos teores de água perdida e gordura exsudada das formulações com 50% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F7 – F12)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio	
		Água Perdida	Gordura Exsudada
Formulações	5	9,4965	0,00017
Resíduo	12	2,3362	0,00010
P > F		0,0216	0,2166

Tabela 8A – Teor (médias \pm desvios-padrão) de água perdida (AP) nas mortadelas e de gordura exsudada nas massas (GEX) de emulsão cárnea formuladas pela substituição de 25% ou 50% de toucinho por carne (F1 e F7, respectivamente) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 a F6 e F8 a F12, respectivamente) e sua comparação com a mortadela-controle (FC)

Formulações	%AP	%GEX
FC	8,29 \pm 1,14 a	0,25 \pm 0,30 a
F1	6,93 \pm 1,31 ^{ns} a	0,08 \pm 0,07 ^{ns} a
F2	7,61 \pm 3,26 ^{ns} a	0,054 \pm 0,03 ^{ns} a
F3	6,83 \pm 3,77 ^{ns} a	0,032 \pm 0,03 ^{**} a
F4	5,73 \pm 2,52 ^{ns} a	0,003 \pm 0,001 ^{**} a
F5	5,54 \pm 1,96 ^{ns} a	0,016 \pm 0,014 ^{**} a
F6	5,89 \pm 1,72 ^{ns} a	0,020 \pm 0,019 ^{**} a
F7	6,39 \pm 1,79 ^{ns} a	0,019 \pm 0,018 ^{**} a
F8	10,42 \pm 1,98 ^{ns} a	0,036 \pm 0,009 ^{**} a
F9	8,98 \pm 1,24 ^{ns} a	0,023 \pm 0,009 ^{**} a
F10	7,85 \pm 1,27 ^{ns} a	0,013 \pm 0,005 ^{**} a
F11	6,56 \pm 1,50 ^{ns} a	0,014 \pm 0,008 ^{**} a
F12	5,75 \pm 1,22 ^{ns} a	0,016 \pm 0,005 ^{**} a
P>F*	0,1972	0,1328

FC = formulação-controle; F1 = 25% de substituição de toucinho por carne; F2 = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3 = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4 = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5 = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6 = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7 = 50% de substituição de toucinho por carne; F8 = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9 = 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10 = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11 = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; e F12 = 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel. * Significativo, a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett; e ns = não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. P > F = valor da probabilidade do teste de Fisher, significativo para P < 0,05.

Tabela 9A – Resumo da análise de variância dos parâmetros dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade das formulações-controle (FC) e com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F12)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio				
		Dureza	Coesividade	Flexibilidade	Mastigabilidade	Adesividade
Formulações	12	1512436,14	0,0063	0,2396	20166973,4	114,455556
Resíduo	26	762757,22	0,0061	1,6494	9215848,0	133,410623
P > F		0,0701	0,4578	0,9994	0,0461	0,5957

Tabela 10A – Resumo da análise de variância dos parâmetros dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade das formulações com 25% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F6)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio				
		Dureza	Coesividade	Flexibilidade	Mastigabilidade	Adesividade
Formulações	5	1227924,5	0,00656889	0,4137300	17743406,7	148,2312
Resíduo	12	888409,64	0,00540000	1,43551667	9573821,8	186,2142
P > F		0,2981	0,3593	0,9105	0,1768	0,5730

Tabela 11A – Resumo da análise de variância dos parâmetros dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade das formulações com 50% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F7 – F12)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio				
		Dureza	Coesividade	Flexibilidade	Mastigabilidade	Adesividade
Formulações	5	2125565,85	0,00509889	0,03802667	27012401,6	115,3213
Resíduo	12	498274,84	0,00628889	1,90247222	8713853,6	77,3679
P > F		0,0184	0,5640	0,9998	0,0503	0,2639

Tabela 12A – Valores (médias \pm desvios-padrão) de dureza, coesividade, flexibilidade, mastigabilidade e adesividade de mortadelas formuladas pela substituição de 25% ou 50% de toucinho por carne (F1 e F7, respectivamente) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 a F6 e F8 a F12, respectivamente) e sua comparação com a mortadela-controle (FC)

Formulações	Dureza (gf)	Coesividade	Flexibilidade (mm)	Mastigabilidade (gf·mm)	Adesividade (gf·mm)
FC	3207,15 \pm 1263,22 a	0,20 \pm 0,10 a	7,78 \pm 1,19 a	5138,56 \pm 3174,90 a	-21,39 \pm 2,36 a
F1	4328,39 \pm 1860,44 ^{ns} a	0,20 \pm 0,06 ^{ns} a	8,83 \pm 0,04 ^{ns} a	8377,88 \pm 5734,70 ^{ns} a	-33,76 \pm 22,15 ^{ns} a
F2	2933,91 \pm 452,50 ^{ns} a	0,22 \pm 0,10 ^{ns} a	8,02 \pm 1,38 ^{ns} a	4994,03 \pm 2040,50 ^{ns} a	-23,02 \pm 9,05 ^{ns} a
F3	3386,67 \pm 674,32 ^{ns} a	0,23 \pm 0,10 ^{ns} a	8,00 \pm 1,47 ^{ns} a	6291,93 \pm 2997,05 ^{ns} a	-15,68 \pm 10,89 ^{ns} a
F4	4641,22 \pm 796,41 ^{ns} a	0,31 \pm 0,04 ^{ns} a	8,10 \pm 1,50 ^{ns} a	11659,65 \pm 3237,41 ^{ns} a	-30,39 \pm 11,97 ^{ns} a
F5	3524,89 \pm 399,37 ^{ns} a	0,22 \pm 0,08 ^{ns} a	8,08 \pm 1,48 ^{ns} a	6036,03 \pm 729,58 ^{ns} a	-21,19 \pm 13,14 ^{ns} a
F6	4052,63 \pm 644,96 ^{ns} a	0,17 \pm 0,02 ^{ns} a	8,68 \pm 0,28 ^{ns} a	6077,45 \pm 630,10 ^{ns} a	-31,39 \pm 10,49 ^{ns} a
F7	4580,91 \pm 693,95 ^{ns} a	0,33 \pm 0,03 ^{ns} a	8,24 \pm 1,46 ^{ns} a	12389,07 \pm 2789,32 ^{ns} a	-32,21 \pm 4,22 ^{ns} a
F8	2447,33 \pm 775,70 ^{ns} a	0,22 \pm 0,10 ^{ns} a	8,15 \pm 1,26 ^{ns} a	4500,94 \pm 2682,82 ^{ns} a	-15,68 \pm 5,50 ^{ns} a
F9	2546,24 \pm 467,38 ^{ns} a	0,23 \pm 0,10 ^{ns} a	8,25 \pm 1,36 ^{ns} a	4746,42 \pm 1627,60 ^{ns} a	-23,35 \pm 4,71 ^{ns} a
F10	3696,98 \pm 274,03 ^{ns} a	0,26 \pm 0,06 ^{ns} a	8,37 \pm 1,34 ^{ns} a	7937,25 \pm 732,54 ^{ns} a	-23,91 \pm 11,40 ^{ns} a
F11	3930,66 \pm 1176,10 ^{ns} a	0,29 \pm 0,07 ^{ns} a	8,11 \pm 1,33 ^{ns} a	9695,25 \pm 5288,50 ^{ns} a	-31,37 \pm 5,74 ^{ns} a
F12	3864,65 \pm 479,17 ^{ns} a	0,24 \pm 0,08 ^{ns} a	8,06 \pm 1,49 ^{ns} a	7420,33 \pm 2480,19 ^{ns} a	-28,63 \pm 15,20 ^{ns} a
P>F*	0,071	0,4578	0,9994	0,0461	0,5957

FC = formulação-controle; F1 = 25% de substituição de toucinho por carne; F2 = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3 = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4 = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5 = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6 = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7 = 50% de substituição de toucinho por carne; F8 = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9 = 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10 = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11 = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F12 = 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; * Significativo, a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett; e ns = não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. P > F = Valor da probabilidade do teste de Fisher significativo P < 0,05.

Tabela 13A – Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ da massa crua de mortadelas das formulações-contrôle (FC) e com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F12)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		G'	G''	$\tan \delta$
Formulações	12	1369615291	89717212	0,00060812
Resíduo	26	698567377	38682029	0,00029744
P > F		0,0733	0,0353	0,0618

Tabela 14A – Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ da massa crua de mortadelas das formulações com 25% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F6)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		G'	G''	$\tan \delta$
Formulações	5	362069409	23919866,6	0,00087667
Resíduo	12	281177094	16233945,8	0,00058667
P > F		0,3315	0,2690	0,2757

Tabela 15A – Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ da massa crua de mortadelas das formulações com 50% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F7 – F12)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		G'	G''	$\tan \delta$
Formulações	5	1495487249	93182192	0,00054333
Resíduo	12	1211515983	66563783	0,00012778
P > F		0,3521	0,2922	0,0186

Tabela 16A – Valores de (médias \pm desvios-padrão) G' , G'' e $\tan \delta$, a uma frequência em 10 Hz de massa crua de mortadelas formuladas pela substituição de 25% ou 50% de toucinho por carne (F1 e F7, respectivamente) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 a F6 e F8 a F12, respectivamente), e sua comparação com a massa crua da mortadela-controle (FC)

Formulações	G' (Pa)	G'' (Pa)	$\tan \delta$
FC	$4,25 \times 10^4 \pm 1,12 \times 10^4$ a	$9,49 \times 10^3 \pm 2,46 \times 10^3$ a	$0,22 \pm 0,01$ a
F1	$2,80 \times 10^4 \pm 1,53 \times 10^3$ ns a	$6,10 \times 10^3 \pm 0,38 \times 10^3$ ns a	$0,25 \pm 0,0$ ns a
F2	$4,12 \times 10^4 \pm 1,14 \times 10^4$ ns a	$9,50 \times 10^3 \pm 2,97 \times 10^3$ ns a	$0,23 \pm 0,01$ ns a
F3	$4,18 \times 10^4 \pm 1,13 \times 10^4$ ns a	$9,63 \times 10^3 \pm 2,88 \times 10^3$ ns a	$0,23 \pm 0,01$ ns a
F4	$4,04 \times 10^4 \pm 2,60 \times 10^4$ ns a	$9,79 \times 10^3 \pm 5,66 \times 10^3$ ns a	$0,26 \pm 0,05$ ns a
F5	$6,21 \times 10^4 \pm 6,17 \times 10^3$ ns a	$1,49 \times 10^4 \pm 6,69 \times 10^3$ ns a	$0,24 \pm 0,01$ ns a
F6	$4,38 \times 10^4 \pm 6,17 \times 10^3$ ns a	$1,02 \times 10^4 \pm 1,77 \times 10^3$ ns a	$0,23 \pm 0,01$ ns a
F7	$3,28 \times 10^4 \pm 1,59 \times 10^4$ ns a	$7,24 \times 10^3 \pm 3,92 \times 10^3$ ns a	$0,22 \pm 0,01$ ns a
F8	$9,95 \times 10^4 \pm 5,30 \times 10^4$ ns a	$2,37 \times 10^4 \pm 1,16 \times 10^4$ ns a	$0,24 \pm 0,01$ ns a
F9	$8,14 \times 10^4 \pm 4,24 \times 10^4$ ns a	$1,99 \times 10^4 \pm 9,82 \times 10^3$ ns a	$0,25 \pm 0,01$ ns a
F10	$7,53 \times 10^4 \pm 3,56 \times 10^4$ ns a	$1,8 \times 10^4 \pm 8,77 \times 10^3$ ns a	$0,24 \pm 0,01$ ns a
F11	$6,08 \times 10^4 \pm 3,07 \times 10^4$ ns a	$1,5 \times 10^4 \pm 7,90 \times 10^3$ ns a	$0,25 \pm 0,01$ ns a
F12	$7,01 \times 10^4 \pm 1,40 \times 10^4$ ns a	$1,80 \times 10^4 \pm 3,56 \times 10^3$ ns a	$0,26 \pm 0,01$ ns a
P>F*	0,0733	0,0353	0,0618

FC = formulação-controle; F1 = 25% de substituição de toucinho por carne; F2 = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3 = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4 = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5 = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6 = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7 = 50% de substituição de toucinho por carne; F8 = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9 = 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10 = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11 = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; e F12 = 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; * Significativo, a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett; e ns = não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. P > F = valor da probabilidade do teste de Fisher significativo P < 0,05.

Tabela 17A – Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ de mortadelas, das formulações-controle (FC) e com substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F12)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		G'	G''	$\tan \delta$
Formulações	12	1026706570,0	31418537,5	0,00025630
Resíduo	26	618658064,0	20187768,1	0,00018878
P > F		0,1356	0,1670	0,2475

Tabela 18A – Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ de mortadelas, das formulações com 25% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F1 – F6)

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		G'	G''	$\tan \delta$
Formulações	5	1671472036,0	46587115,2	0,00009266
Resíduo	12	921260028,0	29076585,1	0,00012106
P > F		0,1844	0,2330	0,5920

Tabela 19A – Resumo da análise de variância dos valores de G' , G'' e $\tan \delta$ de mortadelas, das formulações com 50% de substituição de toucinho por carne ou por misturas de fibras alimentares (F7 – F12)

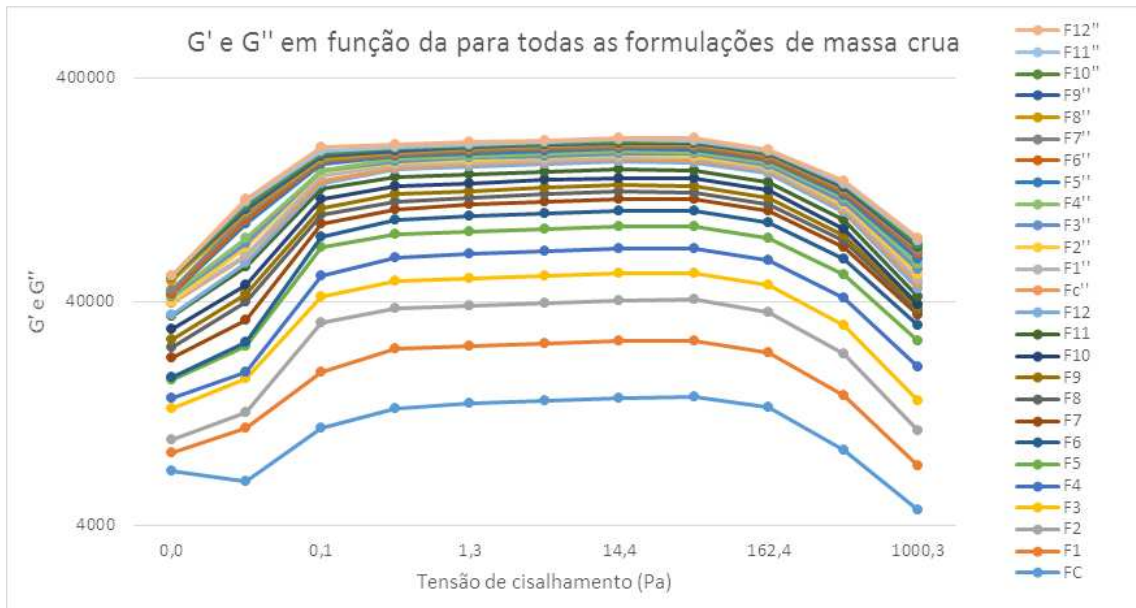
F.V.	G.L.	Quadrado Médio		
		G'	G''	$\tan \delta$
Formulações	5	694026339,0	21523598,9	0,0011871
Resíduo	12	326653511,0	12633562,5	0,00026004
P > F		0,1322	0,2082	0,8010

Tabela 20A – Parâmetros reológicos (médias \pm desvios-padrão) G' , G'' e $\tan \delta$, da varredura de frequência em 10 Hz de mortadelas formuladas pela substituição de 25% ou 50% de toucinho por carne (F1 e F7, respectivamente) ou por misturas de fibras solúveis e insolúveis e água (F2 a F6 e F8 a F12, respectivamente) e sua comparação com a mortadela-controle (FC)

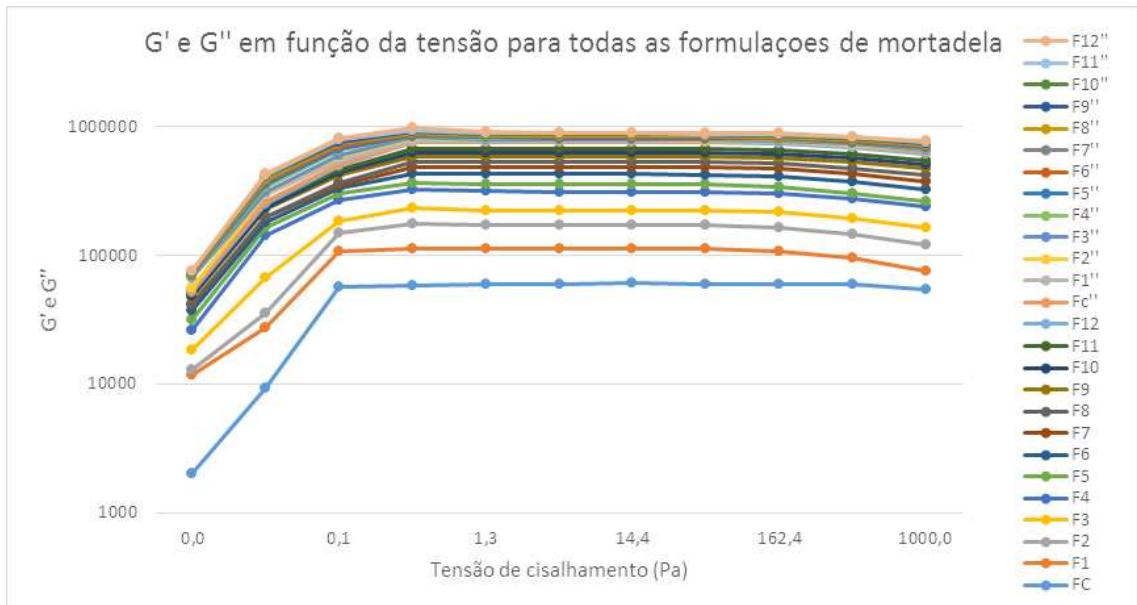
Formulações	G' (Pa)	G'' (Pa)	$\tan \delta$
FC	$9,67 \times 10^4 \pm 2,35 \times 10^4$ a	$1,91 \times 10^4 \pm 3,49 \times 10^3$ a	$0,20 \pm 0,013$ a
F1	$7,92 \times 10^4 \pm 2,70 \times 10^4$ ns a	$1,41 \times 10^4 \pm 4,42 \times 10^3$ ns a	$0,18 \pm 0,008$ ns a
F2	$6,94 \times 10^4 \pm 4,54 \times 10^4$ ns a	$1,16 \times 10^4 \pm 7,37 \times 10^3$ ns a	$0,17 \pm 0,008$ ns a
F3	$7,67 \times 10^4 \pm 4,16 \times 10^4$ ns a	$1,34 \times 10^4 \pm 7,41 \times 10^3$ ns a	$0,17 \pm 0,005$ ns a
F4	$1,11 \times 10^5 \pm 1,06 \times 10^4$ ns a	$1,88 \times 10^4 \pm 4,08 \times 10^3$ ns a	$0,16 \pm 0,019$ ns a
F5	$1,13 \times 10^5 \pm 4,24 \times 10^3$ ns a	$2,01 \times 10^4 \pm 9,98 \times 10^2$ ns a	$0,18 \pm 0,012$ ns a
F6	$1,26 \times 10^5 \pm 2,95 \times 10^4$ ns a	$2,09 \times 10^4 \pm 5,29 \times 10^3$ ns a	$0,17 \pm 0,006$ * a
F7	$9,98 \times 10^4 \pm 1,59 \times 10^4$ ns a	$1,60 \times 10^4 \pm 1,59 \times 10^3$ ns a	$0,16 \pm 0,009$ * a
F8	$7,42 \times 10^4 \pm 2,87 \times 10^4$ ns a	$1,27 \times 10^4 \pm 4,68 \times 10^3$ ns a	$0,17 \pm 0,004$ ns a
F9	$7,07 \times 10^4 \pm 2,01 \times 10^4$ ns a	$1,24 \times 10^4 \pm 3,70 \times 10^3$ ns a	$0,17 \pm 0,004$ ns a
F10	$8,17 \times 10^4 \pm 1,12 \times 10^4$ ns a	$1,46 \times 10^4 \pm 3,87 \times 10^3$ ns a	$0,18 \pm 0,024$ ns a
F11	$1,03 \times 10^5 \pm 7,64 \times 10^3$ ns a	$1,82 \times 10^4 \pm 3,73 \times 10^3$ ns a	$0,18 \pm 0,028$ ns a
F12	$1,04 \times 10^5 \pm 1,71 \times 10^4$ ns a	$1,87 \times 10^4 \pm 2,93 \times 10^3$ ns a	$0,18 \pm 0,009$ ns a
P>F*	0,1356	0,167	0,2475

FC = formulação-controle; F1 = 25% de substituição de toucinho por carne; F2 = 25% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F3 = 25% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F4 = 25% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F5 = 25% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; F6 = 25% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; F7 = 50% de substituição de toucinho por carne; F8 = 50% de substituição de toucinho por 4% fibra solúvel e 0% de fibra insolúvel; F9 = 50% de substituição de toucinho por 3% fibra solúvel e 1% de fibra insolúvel; F10 = 50% de substituição de toucinho por 2% fibra solúvel e 2% de fibra insolúvel; F11 = 50% de substituição de toucinho por 1% fibra solúvel e 3% de fibra insolúvel; e F12 = 50% de substituição de toucinho por 0% fibra solúvel e 4% de fibra insolúvel; * Significativo, a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett; e ns não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. P > F = Valor da probabilidade do teste de Fisher significativo P < 0,05.

APÊNDICE B



APÊNDICE C



APÊNDICE D

Tabela 1D – Regressões linear e quadrática, em função da fibra insolúvel das formulações com 25% e 50% de substituição de toucinho

	Linear P>F	Linear R ²	Quadrática P>F	Quadrática R ²
Umidade 25%	0,7753	0,0065	0,1990	0,2359
Umidade 50%	0,1781	0,1349	0,1279	0,2902
Lipídeos 25%	0,8887	0,0016	0,2129	0,2273
Lipídeos 50%	0,5400	0,0296	0,6781	0,0627
Proteínas 25%	0,3865	0,0582	0,4386	0,1283
Proteínas 50%	0,2871	0,0866	0,4801	0,1151
GEX %, 25%	0,0783	0,2193	0,0406	0,4137
GEX %, 50%	0,0137	0,3843	0,0053	0,5829
AP %, 25%	0,3147	0,0776	0,5226	0,1025
AP %, 50%	0,0003	0,6533	0,0016	0,6574
Dureza 25%	0,1044	0,1899	0,1094	0,3085
Dureza 50%	0,0052	0,4634	0,0171	0,4923
Coesividade 25%	0,5276	0,0314	0,1888	0,2426
Coesividade 50%	0,4809	0,0389	0,6608	0,0667
Flexibilidade 25%	0,5196	0,0326	0,7466	0,0475
Flexibilidade 50%	0,8836	0,0017	0,9599	0,0068
Mastigabilidade 25%	0,7479	0,0082	0,1160	0,3017
Mastigabilidade 50%	0,0661	0,2365	0,1204	0,2973
Adesividade 25%	0,2955	0,0837	0,5357	0,0988
Adesividade 50%	0,0517	0,2608	0,1257	0,2923
G' Mortadela 25%	0,012	0,3956	0,0459	0,4016
G' Mortadela 50%	0,0116	0,3989	0,041	0,4127
G'' Mortadela 25%	0,0157	0,3727	0,053	0,3871
G'' Mortadela 50%	0,0155	0,3737	0,0555	0,3824
G' Massa crua 25%	0,4494	0,0447	0,1714	0,0552
G' Massa crua 50%	0,2183	0,1141	0,3988	0,142
G'' Massa crua 25%	0,4145	0,0518	0,6454	0,0704
G'' Massa crua 50%	0,279	0,0894	0,4624	0,1206

APÊNDICE E

Tabela 1E – Quantidades (gramas) dos ingredientes utilizados no preparo da massa crua para elaboração das diferentes formulações experimentais, com base em 6 k


Ingredientes (k) em base a 6 quilos	Formulações												
	Fc	F1 (25%)	F2 (100/0)	F3 (75/25)	F4 (50/50)	F5 (25/75)	F6 (0/100)	F7 (50%)	F8 (100/0)	F9 (75/25)	F10 (50/50)	F11 (25/75)	F12 (0/100)
Patinho	3,024	3,399	3,024	3,024	3,024	3,024	3,024	3,774	3,024	3,024	3,024	3,024	3,024
Toucinho	1,500	1,125	1,125	1,125	1,125	1,125	1,125	0,750	0,75	0,750	0,750	0,750	0,750
Sal refinado	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103
PTS em pó (Jasmine)	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181
Fécula de mandioca (Amafil)	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226
Polifosobfato de sódio (New Max)	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
Condimento para mortadelas (New Max)	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
Eritorbato de sódio (New Max)	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
Sal de cura (Exato)	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Água (Gelo)	0,905	0,905	1,039	1,039	1,039	1,039	1,039	0,904	1,415	1,415	1,415	1,415	1,415
Fibra solúvel	0	0	0,24	0,18	0,12	0,06	0	0	0,24	0,18	0,12	0,06	0
Fibra insolúvel	0	0	0	0,06	0,12	0,18	0,24	0	0	0,06	0,12	0,18	0,24
Total (%)	5,999	5,999	5,999	5,999	5,999	5,999	5,999	5,999	5,999	5,999	5,999	5,999	5,999

ANEXOS

ANEXO A

ESPECIFICAÇÕES QUÍMICAS DA FIBRA VITACEL® WF 600

J. RETTENMAIER & SÖHNE
GMBH + CO KG



Fasern aus der Natur
Fibers designed by Nature

Original

J. RETTENMAIER & SÖHNE • Holzmühle 1 • 73494 Rosenberg (Germany)

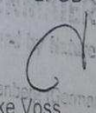
Holzmühle 1
73494 Rosenberg (Germany)
Phone: + 49 (0) 7967 / 152-0
Fax: + 49 (0) 7967 / 152 222
info@jrs.de
www.jrs.de

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product:	VITACEL® WHEAT FIBRE		
Type:	WF 600		
Item number:	WF-600-06402		
Lot number:	07500120203		
Manufacturing date:	February 2012		
Shelf life:	at least 5 years from manufacturing date		

Test item	Specification	Test-result	Test method
pH-value	6.5 +/- 1.5	5.5	10 % suspension
Moisture	max. 8 %	3.7 %	105 °C / 2 h
Ash	max. 3 %	0.9 %	850 °C / 4 h
Bulk density	200 - 240 g/l	227 g/l	in accordance with DIN 53 468
Sieve analysis			air jet sieve
> 100 µm	0 – 2 %	0.1 %	(in accordance with
> 32 µm	15 – 45 %	27.4 %	DIN 53 734)
Microbiological analysis			
Total plate count	max. 5 x 10 ³ cfu/g	< 5 x 10 ³ cfu/g	according to § 64 LFGB
Yeasts and Moulds	max. 2 x 10 ² cfu/g	< 2 x 10 ² cfu/g	according to § 64 LFGB

Holzmühle, 2012-02-09





J. RETTENMAIER & SÖHNE
GMBH + CO KG
73494 Rosenberg (Germany) • www.jrs.de
Elke Voss
QUALITY CONTROL

ANEXO B

ESPECIFICAÇÕES QUÍMICAS DA FIBRA ORAFIT[®]GR (BENEO)

GARANTIA DA QUALIDADE

CLARIANT 


Clarant International Ltd

Certificado de análise Data : 18.10.2013
Página: 1 / 2

Material :ORAFIT (Beneo) GR 0025
Código :16263114988
Lote :RRSDN1CDN1
Fabricação :22.03.2011
Validade :22.03.2014

* Estes dados refletem os resultados dos controlos realizados sobre uma amostra representativa e não eximem o cliente de realizar seu controle no recebimento deste material/lote.
* A empresa não se responsabiliza pelo uso inadequado que se faça do produto ou da informação que lhe foi enviada.

Característica/Método de inspeção	Especificação	Resultado
Matéria Seca (grav.)	95,0 - 99,0	97,3 %
pH	5,0 - 7,0	5,6
Condutividade	0 - 249	21 µs
Inulina (base seca)	90,0 - 100,0	92,8 %
Glicose+Frutose+Sacarose (base seca)	0,0 - 10,0	7,2 %
Contagem total em placa (base seca)	0 - 1000	8 ufc/g
Leveduras (base seca)	0 - 20	0 ufc/g
Fungos (base seca)	0 - 20	0 ufc/g
Limpidez (10g/100g) - Límpido		Conforme
Coloração Visual - Branco		Conforme
Granulometria por MasterSizer (D0,8)	-	52 µm
Granulometria por MasterSizer (D0,1)	-	210 µm
Sabor - Levemente adocicado		Conforme



Certificado de análise

Data : 18.10.2013

Página: 2 / 2

Material : ORAFTI (Beneo) GR 0025
Código : 16263114988
Lote : RRS DN1CDN1
Fabricação : 22.03.2011
Validade : 22.03.2014

Característica/Método de inspeção	Especificação	Resultado
Fabricante: Beneo Orafti - Chile		Conforme
MasterSizer D0,1: Dimensão máxima dos 10% das menores partículas. Valores INDICATIVOS, não devem ser considerados como garantia ou especificação.		
MasterSizer D0,8: Dimensão mínima dos 20% das maiores partículas. Valores INDICATIVOS, não devem ser considerados como garantia ou especificação		

É inodoro ou possui leve odor característico de inulina.

Certificado emitido eletronicamente e não necessita ser assinado

*** FINAL DO DOCUMENTO ***