



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS
ALIMENTOS**

BRUNA ANTUNES ALVES SCARANTO

**APLICAÇÃO DE REDES NEURAIIS NA FORMULAÇÃO DE
GORDURAS PARA BOLO BASEADA EM GORDURAS
INTERESTERIFICADAS DE SOJA E ALGODÃO**

**Florianópolis/SC
2010**

BRUNA ANTUNES ALVES SCARANTO

**APLICAÇÃO DE REDES NEURAIIS NA FORMULAÇÃO DE
GORDURAS PARA BOLO BASEADA EM GORDURAS
INTERESTERIFICADAS DE SOJA E ALGODÃO**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos
da Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do grau de Mestre em
Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Jane Mara Block, Dr^a.

**Florianópolis/SC
2010**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina

S285a Scaranto, Bruna Antunes Alves

Aplicação de redes neurais na formulação de gorduras interesterificadas para bolo baseada em gorduras interesterificadas de soja e algodão [dissertação] Bruna Antunes Alves Scaranto ; orientadora, Jane Mara Block. - Florianópolis, SC, 2010.

126 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos.

Inclui referências

1. Ciência dos alimentos. 2. Ácidos graxos. 3. Redes neurais (Computação). 4. Bolos - Composição. I. Block, Jane Mara. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. III. Título.

CDU 663/664

BRUNA ANTUNES ALVES SCARANTO

**APLICAÇÃO DE REDES NEURAIIS NA FORMULAÇÃO DE
GORDURAS PARA BOLO BASEADA EM GORDURAS
INTERESTERIFICADAS DE SOJA E ALGODÃO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Ciência dos Alimentos”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos.

Florianópolis, 22 de setembro de 2010.

Dra. Renata Dias de Mello Castanho Amboni
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação
em Ciência dos Alimentos - CAL/CCA/UFSC

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Roseane Fett
CAL/CCA/UFSC

Prof. Dr. Pedro Luiz Manique Barreto
CAL/CCA/UFSC

Prof. Dr. Daniel Barrera Arellano
FEA/UNICAMP

Prof^a. Dr^a. Jane Mara Block
CAL/CCA/UFSC - Orientadora

*Dedico aos meus pais Catarina e
Waldemar, meus irmãos Marina e
Leonardo e em especial à
minha avó Madalena*

AGRADECIMENTOS

À Professora Dra. Jane Mara Block pela oportunidade concedida e pela orientação.

Ao Programa de Pós-Graduação pela oportunidade concedida e pelo apoio.

Ao secretário Sérgio pelo apoio burocrático e amizade.

Ao Professor Dr. Daniel Barrera-Arellano pelo apoio fundamental para realização deste projeto.

Ao Professor Dr. Pedro Manique Barreto pela tutoria, orientação nas análises de textura, conselhos, risadas e amizade.

À professora Dra. Elane Schwinden Prudêncio por ter cedido seu laboratório para que eu pudesse assar os bolos.

À empresa Triângulo pelo fornecimento de matérias-primas e demais recursos utilizados.

À empresa Bunge pelo fornecimento de amostras.

Aos amigos e amigas do Laboratório de Óleos e Gorduras – FEA/UNICAMP, Renato, Chiu, Rodrigo e em especial à Kelly e Rita pelo aprendizado, pelo companheirismo e amizade.

À Carolina Oro Prancutti, por ser muito mais que uma colega de apartamento, por ter sido uma irmã de coração.

À Bruna Mattioni por desde o primeiro dia de mestrado estar comigo nos momentos bons e ruins, pela amizade, companheirismo, parceria, dedicação e paciência.

Às amigas e amigos do CAL Bianca, Jucieli, Valéria, Tatiana, Ana Cristina, Ana Claudia, Jeffe, Sabrina, Ana Tanello, Morgana pela aprendizagem, pelo apoio e amizade. À Gisele pelo carinho e pela paciência. Aos amigos de Chapecó-SC e Campinas-SP que mesmo longe estiveram presente por telefonema, visitas, internet...

À minha família que mesmo distante sempre esteve presente dando suporte em cada etapa.

A todos que contribuíram para realização deste trabalho e não estão mencionados aqui, muito obrigada!

Decidir ter êxito é ir conquistar o mundo externo. Decidir triunfar é ir à conquista de si mesmo. E decidir a vitória é ir ao encontro com o Universo.

(Suryavan Solar)

RESUMO

Os ácidos graxos *trans* (AGT) na dieta são oriundos principalmente das gorduras parcialmente hidrogenadas. Estudos comprovam que o consumo de AGT ocasiona obesidade, o aumento da lipoproteína de baixa densidade (LDL) em grau similar ao causado pelos ácidos graxos saturados e a diminuição da lipoproteína de alta densidade (HDL). Como alternativa para a fabricação de produtos “zero e low *trans*” utiliza-se a interesterificação química de gorduras. A formulação de gorduras pelos métodos convencionais envolvem procedimentos de tentativa e erro, podendo acarretar perdas econômicas, dependendo de tempo, disponibilidade de matérias-primas e experiência do pesquisador. As redes neurais vem ganhando grande aplicação na indústria alimentícia, pois são sistemas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado numa estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. Este trabalho teve como objetivo formular gorduras interesterificadas *zero trans* para aplicação em bolos utilizando uma rede neural. Para a obtenção das formulações foram utilizados o conteúdo de gordura sólida (SFC) e o ponto de fusão da gordura padrão comercial como dados de entrada no programa. Das soluções apresentadas pela rede neural quatro formulações foram selecionadas. Estas foram analisadas quanto à composição em ácidos graxos conteúdo de gordura sólida, ponto de fusão, isotermas de cristalização e índice de iodo. As gorduras *zero trans* formuladas foram aplicadas em bolo tipo inglês e comparados com os bolos elaborados com a gordura padrão comercial através das análises de altura, volume e densidade específicos, umidade, textura e cor. As gorduras interesterificadas formuladas obtiveram valores determinados experimentalmente muito próximos ao perfil solicitado à rede, entretanto devido as suas características apresentaram maiores diferenças nos valores de teor de gordura sólida nas temperaturas de 10 a 20°C e 45°C quando comparadas à gordura padrão. As soluções propostas pela rede neural apresentaram comportamento térmico similar ao da gordura padrão e uma cristalização mais rápida que a da gordura padrão. As formulações elaboradas com gordura interesterificadas apresentaram concentração de ácidos graxos saturados semelhantes à gordura padrão, menor concentração de monoinsaturados, maior de poliinsaturados e menor de ácidos graxos *trans*, tornando possível sua

especificação como “produto *zero trans*”. Para uma melhor performance dos shortenings formulados alguns ajustes ou adaptações no processo de fabricação são sugeridos (como a adição de estabilizante nos shortenings e menor tempo de forneamento dos bolos). Assim poderá obter produtos com qualidade superior aos produtos formulados com a gordura padrão. A rede neural apresentou grande desempenho na previsão da solução com menor erro, do conteúdo de gordura sólida e ponto de fusão das formulações propostas com o objetivo de alcançar o perfil solicitado, utilizando como referência a gordura comercial padrão, apresentando com menor erro (18%) a solução 01. Como alternativa aos procedimentos convencionais considera-se a rede neural uma ferramenta de grande valor na indústria, assim como na formulação e produção de alimentos com baixo teor de isômeros trans.

Palavras-chave: Gorduras interesterificadas *zero trans*. Formulação. Redes neurais. Bolos.

ABSTRACT

Fatty acids (TFA) in the diet are mainly derived from partially hydrogenated fats. Studies show that consumption of TFA causes obesity, increased low-density lipoprotein (LDL) in similar degree to that caused by saturated fatty acids and decreased high density lipoprotein (HDL). As an alternative for the manufacture of zero and low *trans* "to use chemical interesterification of fats. The formulation of fat by conventional methods involve procedures of trial and error, which may cause economic losses, depending on weather, availability of raw materials and experience of the investigator. Neural networks has been gaining wide application in food industry because they are computer systems that present a mathematical model inspired by a neural structure of intelligent organisms and acquire knowledge through experience. This study aimed to formulate interesterified *zero trans* fats for use in cakes using a neural network. To obtain the formulations were used solid fat content (SFC) and melting point of fat commercial standard as input data in the program. Of the solutions presented by the neural network four formulations were selected. These were analyzed for fatty acid composition of solid fat content, melting point and crystallization isotherms of iodine. *Zero trans* fats raised were applied to type English cake and compared with cakes made with fat trade pattern by analyzing for height, volume and specific density, moisture, texture and color. The interesterified fats formulated obtained experimentally determined values very close to the profile requested from the network, however due to its characteristics showed greater differences in the amounts of solid fat content at temperatures 10-20 ° C and 45 ° C when compared to the standard fat. The solutions proposed by the neural network showed thermal behavior similar to the fat pattern and a crystallization faster than the fat pattern. The formulations prepared with interesterified fat showed concentration of saturated fatty acids similar to the standard fat, lower concentration of monounsaturated, polyunsaturated larger and less of trans fatty acids, making possible its specification as "*zero trans* product." For better performance of shortenings made some adjustments or adjustments in the manufacturing process are suggested (such as the addition of stabilizer in shortenings and shorter baking of cakes). So you can get products with superior quality products formulated with the fat pattern. The neural network showed great performance in predicting the solution with less error, the solid fat content and melting point of the proposed formulations in order to achieve the profile required, using as reference standard commercial fat, with less error (18%) solution 01. As an alternative to conventional procedures is considered the neural network a very valuable tool in the industry, as well as in the formulation and production of foods low in trans isomers.

Keywords: *Zero trans* fats interesterified. Formulation. Neural networks. Cakes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema das reações que ocorrem durante a hidrogenação das gorduras. S: Substrato graxo. M: Metal catalisador. H: Hidrogênio.	28
Figura 2. Distribuição dos ácidos graxos nos triglicérides.....	30
Figura 3. Esquema da reação de interesterificação química.....	31
Figura 4. Estrutura da massa de bolo.	38
Figura 5. Curva de Conteúdo de Gordura Sólida - SFC de um shortening comercial para bolo.	40
Figura 6. Representação esquemática do comprimento de duas (DCL) e/ou três cadeias (TCL) de ácidos graxos (modificado)	42
Figura 7. Modelo de ilustração dos neurônios que representam a arquitetura fixada.	51
Figura 8. Tela de entrada do programa onde são inseridos os dados de entrada para a realização de busca por soluções.	60
Figura 9. Tela Laboratório virtual.	60
Figura 10. Listagem das soluções sugeridas pelo Mix.	61
Figura 11. Uma das soluções obtidas pela rede neural.....	62
Figura 12. Curva de Gordura Sólida (%SFC) das matérias-primas.	67
Figura 13. Listagem das soluções sugeridas pelo Mix.	69
Figura 14. Uma das soluções obtidas pela rede neural.....	69
Figura 15. Curva de cristalização isotérmica (25°C) da gordura padrão e shortenings formulados.	73
Figura 16. Incorporação dos ingredientes secos à emulsão gordura e açúcar (a) e massa do bolo pré – forno (b).....	76
Figura 17. Bandeja com 300g de massa (a) e bolo assado e embalado (b).....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Efeito dos parâmetros do processamento na seletividade e na velocidade de hidrogenação.	29
Tabela 2. Valor do expoente de Avrami n para diferentes tipos de nucleação e crescimento.....	44
Tabela 3. Perfil de sólidos (SFC - %) a dadas temperaturas e ponto de fusão (PF) das matérias-primas Gordura A (GA), Gordura B (GB) e Óleo usadas no treino das redes neurais.....	57
Tabela 4. Valores solicitados em diferentes temperaturas à rede neural.	61
Tabela 5. Ingredientes e respectivas quantidades, que foram usados na formulação dos bolos.	63
Tabela 6. Composição em AG (%) e Índice de Iodo das matérias-primas.....	65
Tabela 7. Conteúdo de Gordura Sólida (%SFC) das matérias-primas e gordura padrão.....	68
Tabela 8. Valores solicitados em diferentes temperaturas à rede neural.	70
Tabela 9. Perfil de sólidos das formulações previstas pela rede e determinadas experimentalmente (D.E.).....	70
Tabela 10. Soluções previstas pela rede neural com menor porcentagem de erro.	71
Tabela 11. Composição em ácidos graxos e índice de iodo da gordura padrão e das formulações.	72
Tabela 12. Tempos de indução em minutos (τ SFC) e SFC máximo da gordura padrão e formulações a 25°C.....	74
Tabela 13. Valores de altura dos bolos para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.....	77

Tabela 14. Valores de volume específico dos bolos para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	78
Tabela 15. Valores da densidade dos bolos para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.....	79
Tabela 16. Valores de dureza para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	81
Tabela 17. Valores de adesividade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	82
Tabela 18. Valores de elasticidade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	82
Tabela 19. Valores de coesividade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	83
Tabela 20. Valores de gomosidade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	84
Tabela 21. Valores de mastigabilidade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	85
Tabela 22. Valores de resiliência para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	86
Tabela 23. Valores de umidade dos bolos para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	87
Tabela 24. Valores de C* (miolo) para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	89
Tabela 25. Valores de h* (miolo) para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	89
Tabela 26. Valores de L* (miolo) para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.	90
Tabela 27. Valores de a* (miolo) para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.....	90
Tabela 28. Valores de b* (miolo) para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.....	91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	21
1.1 Objetivos	22
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	22
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 Soja e óleo de soja.....	25
2.2 Óleos e gorduras.....	26
2.3 Modificação de óleos e gorduras	27
2.3.1 <i>Hidrogenação</i>	28
2.3.2 <i>Interesterificação</i>	29
2.4 Ácidos graxos trans na dieta	32
2.5 Formulação de óleos e gorduras	34
2.6 Gorduras para panificação.....	35
2.7 Bolo.....	36
2.8 Avaliação da Performance de Shortenings	40
2.8.1 <i>Cristalização e Poliformismo</i>	41
2.8.2 <i>Temperagem</i>	44
2.8.3 <i>Processo de Blending</i>	45
2.9 Textura	46
2.10 Cor	48
2.11 Redes Neurais	49
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	53
3.1 Matérias-Primas.....	53
3.1.1 <i>Gorduras base</i>	53
3.1.2 <i>Gordura padrão</i>	53
3.1.3 <i>Ingredientes</i>	53
3.2 Métodos.....	53
3.2.1 <i>Composição em Ácidos Graxos</i>	53
3.2.2 <i>Teor de Gordura Sólida - SFC (Solid Fat Content)</i>	54
3.2.3 <i>Ponto de Fusão (PF)</i>	54
3.2.4 <i>Isoterma de cristalização</i>	54
3.2.5 <i>Índice de Iodo</i>	55

3.2.6	Altura	55
3.2.7	Volume Específico e Densidade Específica da massa.....	55
3.2.8	Textura	56
3.2.9	Umidade.....	56
3.2.10	Cor	56
3.2.11	Rede Neural.....	57
3.2.12	Análise Estatística.....	58
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	59
4.1	Caracterização das Matérias-primas	59
4.2	Operação da rede neural	59
4.2.1	Escolha das soluções da rede e formulação e avaliação dos shortenings.....	62
4.3	Produção do bolo inglês.....	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
5.1	Caracterização das Matérias-primas	65
5.2	Formulações através das redes neurais.....	68
5.3	Produção de bolos tipo inglês.....	75
5.4	Altura dos bolos.....	77
5.5	Volume específico e densidade dos bolos.....	78
5.6	Textura dos bolos	80
5.7	Umidade	86
5.8	Cor.....	87
6	CONCLUSÕES.....	93
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICE.....	107
	Apêndice A – Artigo: Formulação de gorduras interesterificadas de base soja sem trans para bolo através de redes neurais	107

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Em decorrência do desenvolvimento tecnológico alcançado nas áreas de produção, extração, processamento e modificação de óleos e gorduras durante o século, houve uma sensível modificação nos hábitos alimentares dos consumidores por quase todo o mundo. As gorduras vegetais hidrogenadas passaram a possuir características técnicas e nutricionais cada vez mais específicas, evolução esta acompanhada por um acentuado aumento no seu consumo. Em contrapartida, gorduras animais como a banha e a manteiga tiveram seu consumo diminuído drasticamente (BLOCK, 1992).

O alto consumo de alimentos gordurosos está associado com o aumento da gordura corporal, obesidade e maior risco de desenvolver doenças cardiovasculares além do aumento da lipoproteína de baixa densidade (LDL) em grau similar ao causado pelos ácidos graxos saturados e a diminuição da lipoproteína de alta densidade (HDL). Na indústria alimentícia, cerca de 20% de todos os novos produtos estão com baixo teor lipídico e com suas calorias reduzidas. Com o crescente interesse pelos AGT e saúde, a interesterificação de óleos e gorduras tem se tornado mais popular no preparo de gorduras plásticas com baixo ou *zero trans* e ricas em AG essenciais (DOGAN; JAVIDIPOUR; AKAN, 2007).

A interesterificação química é um importante método de modificação de óleos e gorduras, com a vantagem de não promover a formação de isômeros *trans*. Contudo para atender as exigências do mercado, deverá ser associada a outros métodos de modificação existentes, como o fracionamento e a hidrogenação (GIOIELLI, 2002). Porém é um método menos flexível quando comparado com a hidrogenação, além disso, as matérias-primas utilizadas devem apresentar um grau de saturação maior.

Vários tipos de óleos vegetais podem ser utilizados na produção de shortenings, dentre eles os de algodão, soja, milho, girassol, palma e palmiste são os mais frequentes. A escolha da fonte oleosa que irá compor a mistura é dependente de diversos fatores, sendo que a disponibilidade do óleo, a viabilidade econômica e suas propriedades de fusão e cristalização são os critérios mais relevantes (ALMEIDA, 2008). Entre as matérias-primas mais adequadas está a gordura de palma que não apresenta produção suficiente no Brasil para a demanda, o que torna

o produto muito caro, dessa forma é necessário desenvolver gorduras sem *trans* usando uma matéria-prima abundante no Brasil, que é a soja.

Os métodos convencionais utilizados pelas empresas para testes de formulação de gorduras envolvem muitos procedimentos de tentativa e erro, podendo acarretar perdas econômicas, além de exigir disponibilidade de tempo e matérias-primas. Através das redes neurais artificiais podemos apresentar mais vantagens para a indústria do setor alimentício, resolvendo problemas relacionados às restrições de produção e custos, tornando o processo mais ágil e econômico (BLOCK *et al.*, 1997).

Gorduras especiais foram formuladas utilizando redes neurais a partir de gorduras hidrogenadas e óleo refinado de soja, sendo, as redes neurais, consideradas altamente eficientes (BLOCK *et al.*, 1999).

O estudo e desenvolvimento de gorduras interesterificadas *zero trans* através de redes neurais e utilizando como matéria-prima óleos vegetais disponíveis e economicamente viáveis no Brasil faz-se necessário, considerando o interesse da indústria alimentícia em substituir suas gorduras com altos valores de isômeros *trans*, assim como a busca da população por alimentos mais saudáveis.

Além disso, estudaremos como o teor de gordura sólida e o comportamento de fusão e cristalização dos diferentes shortenings interferem na performance do produto final, no caso o bolo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Através da tecnologia de redes neurais formular gorduras interesterificadas de base soja *zero trans* para uso específico em bolos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Utilizando a tecnologia de redes neurais artificiais, formular quatro gorduras para bolos;
- Realizar a caracterização dos shortenings propostos pela rede neural;
- Verificar o perfil de sólidos e ponto de fusão das gorduras formuladas com o auxílio da rede neural;

- Comparar o comportamento térmico através da determinação das curvas de fusão, cristalização das gorduras formuladas e da gordura comercial padrão;
- Produzir bolos utilizando as quatro gorduras formuladas e a gordura comercial padrão;
- Avaliar a performance das gorduras (formuladas e comercial) na formulação da massa do bolo, em termos de textura, volume específico, densidade, altura, cor do miolo e umidade.
- Comparar os bolos obtidos com as gorduras formuladas com os bolos feitos com gordura comercial padrão específica para este produto disponível no mercado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Soja e óleo de soja

O feijão soja (*Glycine max* L. Merr.) é um dos mais antigos produtos agrícolas que o homem conhece. O soja domina o mercado tanto de proteína vegetal como de óleo combustível (MORETTO; FETT, 1998). Seu uso apresenta muitas vantagens, tais como: alto teor de AG essenciais, formação de cristais grandes que são facilmente filtráveis quando o óleo é hidrogenado e fracionado; alto índice de iodo que permite a sua hidrogenação produzindo grande variedade de gorduras plásticas, e refino com baixas perdas (POUZET, 1996; SILVA; GIOIELLI, 2006).

Os grãos de soja contém 13 a 22% de óleo, 18% numa média aproximada. O Brasil é responsável por cerca de 28% da produção mundial de soja, com a safra de 2006 estimada ao redor de 57 milhões de toneladas. O país é o segundo maior produtor e exportador mundial de soja em grão, farelo e óleo de soja (ABIOVE, 2010).

O óleo de soja é o segundo óleo mais consumido no mundo, perdendo apenas para o de palma (BARBOSA *et al.*, 2008). De acordo com a SoyStat®, Em 2009, a soja representou 53% da produção mundial de oleaginosas, e 38% desses grãos foram produzidos nos Estados Unidos.

Os Estados Unidos exportaram 34,9 milhões de toneladas de soja que respondeu por 46% do comércio mundial de soja. Em 2009, o Brasil foi o segundo maior exportador de soja do mundo. As exportações brasileiras do complexo soja (grão, farelo e óleo) evoluíram de US\$ 4,2 bilhões em 2000 para US\$ 17,2 bilhões em 2009, o que assinala o principal incremento de um produto nas exportações agrícolas do período.

O uso generalizado do óleo de soja e sua aceitação para aplicações comestíveis se atribuem a três fatores: oferta abundante, preço competitivo e estabilidade do sabor dos produtos não hidrogenados, bem como dos parcialmente hidrogenados. Alguns dos principais usos finais para o óleo de soja comestível são: shortenings, maionese, molhos para salada, culinária, margarinas e outras (BASTIN, 1990).

2.2 Óleos e gorduras

Os lipídios são compostos encontrados nos organismos vivos, geralmente insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos. Nesta classe são incluídos os óleos, gorduras, ceras, hormônios esteroidais, colesterol, vitaminas lipossolúveis, fosfolipídios (membranas celulares), entre outros (MORETTO; FETT, 2002; FENNEMA, 2005).

Quimicamente, os óleos e gorduras são misturas de glicerídeos que podem ser formados pela associação entre o glicerol e três moléculas de ácidos graxos, formando os triglicerídios. Os ácidos graxos são classificados como saturados, monoinsaturados, ou poliinsaturados, de acordo com o número de duplas ligações que contêm. Os ácidos graxos saturados são encontrados predominantemente em alimentos como carne, ovos, leite e derivados, na gordura do côco e em gorduras vegetais hidrogenadas (NOVAIS, 2000). O estado físico é quem diferencia um óleo de uma gordura. Óleos são líquidos à temperatura ambiente e as gorduras são semi-sólidas ou plásticas (MORETTO; FETT, 2002).

As características físicas de uma gordura dependem, em grande parte, não apenas dos ácidos graxos constituintes (comprimento de cadeia e grau de saturação), mas também de sua distribuição na molécula do triglicerídeo. Portanto, o padrão de distribuição original dos ácidos graxos de algumas gorduras naturais limita sua utilização industrial. Muitas propriedades funcionais das gorduras que se utilizam na elaboração de margarinas, gorduras emulsificáveis ou emulsões dependem da estrutura e das propriedades físicas dos ácidos graxos (ORDÓNEZ, 2005).

Um aspecto fundamental nas técnicas de processamento de gorduras é a sua tendência à cristalização. As gorduras são polimórficas, podendo existir em três diferentes formas cristalinas α , β e β' . A forma β é a mais estável e implica em maiores consistência e ponto de fusão. Como a forma α é muito instável, os óleos e gorduras são divididos em apenas duas categorias, de acordo com seus estados de cristalização: β' e β (GIOIELLI, 1985).

Estão incluídos na categoria β os óleos de soja, açafraão, girassol, gergelim, amendoim, milho, oliva, as gorduras de côco e caroço de palma, a banha e a manteiga de cacau. Na categoria β' estão os óleos de algodão, colza, palma e baleia, as gorduras de arenque e do leite, o sebo e a banha reorganizada. O óleo de algodão tem aroma de nozes e boa estabilidade à oxidação e é utilizado como fase líquida no processo de interesterificação. O alto conteúdo em ácido palmítico do óleo de

algodão (22%) provavelmente o torna viável para a interesterificação (DOGAN; JAVIDIPOUR; AKAR, 2007).

Após o processo de interesterificação, todas as gorduras apresentam tendência de se cristalizarem na forma β . As exceções são o óleo de palma, que não altera sua característica, e a banha, que passa para a forma β' (GIOIELLI, 1985).

Entre os métodos utilizados para estudar as formas polimórficas dos óleos e gorduras estão a difração de raio X, calorimetria diferencial (Differential Scanning Calorimetry – DSC), microscopia, ressonância magnética nuclear (RMN) e infravermelho (NAGUIB-MOSTAFA & DeMAN, 1985; DESMEDT *et al.*, 1990).

Com a divulgação de vários estudos enfatizando a importância da ingestão de ácidos graxos Omega 3, a redução de AGS e, mais recentemente, o controle da ingestão de AGT na dieta humana (MARTIN; MATSHUSHITA; SOUZA, 2004; DIJKSTRA, 2006).

2.3 Modificação de óleos e gorduras

Para atender às diversas aplicações comerciais, os óleos e gorduras devem respeitar exigências específicas para cada caso. Estas, nem sempre podem ser satisfeitas por produtos obtidos da natureza ou por aqueles cujas fontes naturais são mal aproveitadas ou existam em pequena quantidade (GIOIELLI, 2002).

Para suprir essas necessidades do mercado e para fornecer produtos uniformes a partir de matérias-primas variáveis, técnicas de modificação de óleos e gorduras permitem maior flexibilidade de escolha da matéria-prima e ajudam a equilibrar as tendências entre disponibilidade local e demanda. Esta tecnologia traz também vantagens aos consumidores, pois permite a fabricação de produtos de qualidade constante a preços razoáveis (GIOIELLI, 2002).

Os métodos estão firmemente consolidados e aplicados em grande escala que seria praticamente impossível atender aos padrões do mercado nacional e internacional sem o uso de técnicas de modificação (GIOIELLI, 1985).

Os principais métodos de modificação de óleos e gorduras são: hidrogenação, interesterificação e fracionamento.

2.3.1 Hidrogenação

A hidrogenação, inicialmente desenvolvida por Sabatier em 1887, e patenteada por Norman em 1903, foi até recentemente o processo de modificação de consistência mais usado na indústria de óleos e gorduras. Essa reação é de grande importância na indústria porque permite a conversão de óleos em gorduras plásticas utilizáveis na indústria de elaboração de margarinas e gorduras emulsificadas (shortenings). A versatilidade do processo torna possível a combinação e produção de uma grande variedade de produtos com características de plasticidade e comportamento térmico específico (CHRYSAM, 1985; PETERSON, 1983 apud BLOCK, 1992).

A hidrogenação das gorduras é a reação química que consiste na incorporação de hidrogênio à ligação dupla dos ácidos graxos insaturados. Após a hidrogenação, as gorduras melhoram a cor e são menos suscetíveis à oxidação, sendo, por isso, mais estáveis. Na prática comercial, a hidrogenação é realizada mediante forte agitação do óleo líquido em presença de determinada quantidade de hidrogênio gasoso e de um catalisador sólido, em tanques fechados a determinada pressão (3 a 7 kg/cm²) e com a temperatura oscilando entre 100°C e 200°C. Embora a maioria dos processos industriais utilize níquel como catalisador, também é possível usar cobre, platina e paládio, assim como cromo, carbonilas e pentacarbonila de ferro; as doses utilizadas oscilam entre 0,05 e 0,2%. O óleo de partida deve ser refinado, branqueado, seco e sem sabões; o hidrogênio também deve ser seco e não conter amoníaco, enxofre e CO₂; o catalisador deve estar ativo durante determinado tempo, apresentar a seletividade requerida e ser facilmente eliminado por filtração (ORDÓÑEZ, 2005).

O mecanismo envolvido na hidrogenação de uma gordura consiste na reação de um ácido graxo insaturado com o hidrogênio atômico adsorvido no catalisador metálico (Figura 1).

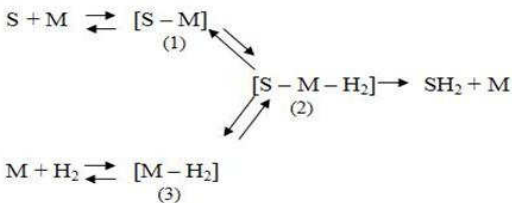


Figura 1. Esquema das reações que ocorrem durante a hidrogenação das gorduras. S: Substrato graxo. M: Metal catalisador. H: Hidrogênio.

Fonte: ORDÓÑEZ (2005).

Os compostos intermediários 1, 2 e 3 são instáveis, de vida curta, sendo muito difícil seu isolamento. O rendimento da reação depende da natureza da substância submetida ao tratamento, da natureza e da concentração do catalisador, da concentração do hidrogênio, bem como da temperatura, da pressão e do grau de agitação como pode ser observado na Tabela 1. Em geral, a gordura não se hidrogena por completo, apenas parcialmente (ORDÓNEZ, 2005).

Tabela 1. Efeito dos parâmetros do processamento na seletividade e na velocidade de hidrogenação.

Parâmetro	Seletividade	Ácidos graxos <i>trans</i>	Velocidade
Alta Temperatura	Alta	Alta	Alta
Alta pressão	Baixa	Baixa	Alta
Alta concentração de catalisador	Alta	Alta	Alta
Agitação intensa	Baixa	Baixa	Alta

Fonte: Fennema (1996).

A hidrogenação tem como desvantagens a formação de AGT e a diminuição de AG essenciais. Com o crescente interesse pelos AGT e saúde, a interesterificação de óleos e gorduras tem se tornado mais popular no preparo de gorduras plásticas com baixo ou *zero trans* e ricos em AG essenciais (DOGAN; JAVIDIPOUR; AKAN, 2007).

2.3.2 Interesterificação

O termo interesterificação, é freqüentemente usado para descrever reações que envolvam a troca de um grupo acil residual entre um éster e um ácido (acidólise), entre éster e um álcool (alcoólise), ou entre éster e outro éster (*trans*-esterificação) (SHAHIDI, 2005).

O processo de interesterificação permite a modificação no comportamento de óleos e gorduras, oferecendo contribuições importantes para o aumento e otimização do uso dos mesmos nos produtos alimentícios. A interesterificação de óleos e gorduras pode ser aplicada por diversas razões: para influenciar o comportamento na fusão, fornecendo consistência desejada em temperatura ambiente e de refrigeração; para melhorar ou modificar o comportamento cristalino, de

forma a facilitar os processos de produção e, para diminuir a tendência à recristalização durante a vida útil do produto (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Na reação de interesterificação os ácidos graxos permanecem inalterados, mas ocorre a redistribuição dos mesmos nas moléculas dos triacilgliceróis, resultando na modificação da composição triacilglicéridica, cuja característica final é totalmente determinada pela composição total em ácidos graxos das matérias-primas iniciais. O processo consiste, portanto, em quebra simultânea de ligações éster existentes e formação de novas ligações nas moléculas glicéridicas (ROUSSEAU *et al.*, 1996; GUNSTONE, 1998).

Quando realizada nas condições mais adequadas, a distribuição dos ácidos graxos nos triglicerídeos se faz de forma totalmente aleatória e, nesse caso, formam-se seis possíveis triglicerídeos, cuja proporção pode ser calculada matematicamente (combinação de n elementos m a m):

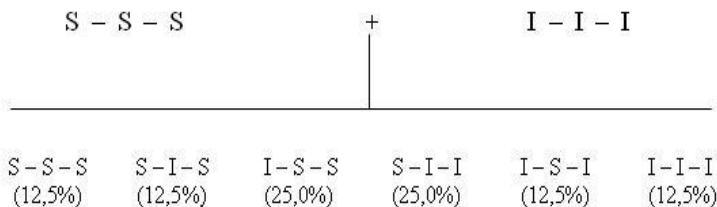


Figura 2. Distribuição dos ácidos graxos nos triglicerídeos.

Fonte: Ordóñez, (2005).

A interesterificação aleatória ou não-dirigida é utilizada basicamente para:

- a) modificar o conteúdo de triglicerídios sólidos de algumas gorduras e, portanto, de sua consistência em diferentes temperaturas; e
- b) preparar gorduras sólidas ricas em ácido linoléico para a fabricação de margarinas (ORDÓÑEZ, 2005).

Existem dois tipos de interesterificação em uso corrente: química e enzimática. No processo enzimático, biocatalisadores, tais como lipases microbianas, são utilizados para promover a migração acila nas moléculas acilglicéridicas. Na interesterificação química, largamente utilizada, o catalisador empregado com maior frequência é o metóxido de sódio (MeONa), embora outras bases, ácidos e metais estejam disponíveis (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Aquilatos de sódio são reconhecidamente os catalisadores mais ativos, inclusive a temperaturas relativamente baixas, entre 50 e 90 °C.

No processo químico, óleos e gorduras, isentos de umidade, são aquecidos e o catalisador é adicionado em proporções apropriadas (0,1 a 0,5%), de forma a ocorrer sua rápida e completa dispersão na matéria-prima. A reação é conduzida por intervalo de tempo predeterminado e finalizada mediante a adição de água, que promove a inativação do catalisador. Fatores que podem influenciar a reação incluem intensidade de agitação, temperatura e tamanho de partícula do catalisador (RIBEIRO *et al.*, 2007). Um esquema da reação de interesterificação química é ilustrado:

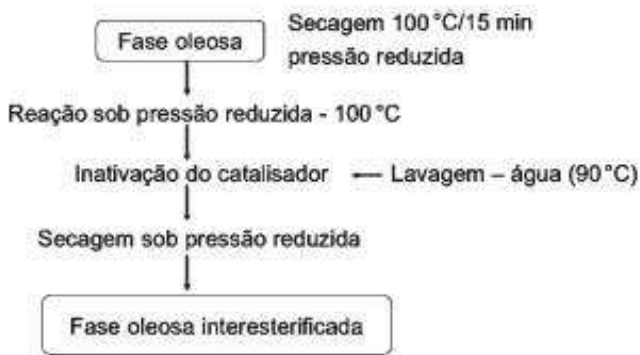


Figura 3. Esquema da reação de interesterificação química.

Fonte: RIBEIRO *et al.* (2007).

As mudanças nas propriedades de fusão e solidificação de óleos e gorduras interesterificados devem-se às proporções relativas dos componentes acilglicéridicos após o rearranjo dos ácidos graxos. Conseqüentemente, a estabilidade e as características inerentes de produtos interesterificados podem ser preditas. Na maioria dos casos, a interesterificação acarreta o aumento do ponto de fusão do produto, mediante a introdução de ácidos graxos saturados na posição sn-2 do glicerol e resultante aumento nos níveis de triacilglicéris dissaturados e trissaturados. Logo, é possível a obtenção de produtos plásticos com consistência característica de “shortenings” (RIBEIRO *et al.*, 2007).

A interesterificação dirigida realiza-se mantendo a gordura abaixo de seu ponto de fusão, resultando na cristalização dos triglicéridos saturados; desse modo, a separação da mistura é facilitadora. Os novos triglicérideos saturados que vão se formando, cristalizam-se e precipitam-se, continuando o processo até que eles sejam totalmente precipitados. Se a gordura original é um óleo que contém quantidade considerável de ácidos graxos saturados, esse

método facilita sua conversão em um óleo com a consistência de uma gordura emulsificante (shortening), sem necessidade de recorrer à hidrogenação ou à mistura com gorduras duras (ORDÓNEZ, 2005).

O processo de interesterificação não modifica os ácidos graxos, isto é, não aparecem isômeros *trans*; logo, apresenta-se como bom substituto do tratamento de hidrogenação. Contudo, a mudança de posição dos ácidos graxos sobre o glicerol pode alterar a digestibilidade do triglicerídeo e, portanto, a absorção de cada um dos ácidos graxos. A *transesterificação* também permite preparar mono e diglicerídeos, para isso, trabalha-se em presença de excesso de glicerol a 200°C sob vácuo ou com um gás inerte. Os monoglicerídeos assim obtidos são utilizados amplamente nos alimentos como agentes emulsificantes (ORDÓNEZ, 2005).

2.4 Ácidos graxos *trans* na dieta

Os ácidos graxos *trans* podem estar presentes naturalmente em gorduras originadas de animais ruminantes, como resultado do processo de biohidrogenação pela flora microbiana do rúmen. Estima-se que 2 a 8% dos isômeros *trans* da dieta sejam provenientes desta fonte e ingeridos principalmente nos laticínios. AGT também podem ser originados no processo de desodorização de óleos refinados ($\pm 2\%$) e em operações de fritura de alimentos (LARQUÉ; ZAMORA; GIL, 2001; MARTIN; MATSHUSHITA, 2004).

Os óleos vegetais parcialmente hidrogenados, margarinas e gorduras comestíveis (shortenings) são amplamente utilizados como matérias-primas de numerosos produtos comestíveis, portanto AGT podem estar presentes em uma grande variedade de alimentos (BARRERA-ARELLANO; BLOCK, 1993).

Nos últimos anos, a preocupação com a saúde e a prática de dietas tem levado os consumidores à ingestão de alimentos com baixas calorias. Na indústria alimentícia, cerca de 20% de todos os novos produtos estão com baixo teor lipídico e com calorias reduzidas. Vários trabalhos têm apresentado relação entre os AGT e o risco de doenças cardiovasculares. Estes AG entram na dieta como subprodutos da hidrogenação de gorduras polinsaturadas. Shortenings hidrogenados são utilizados na produção de bolos para melhorar atributos. No entanto, alto consumo de alimentos gordurosos está associado com o aumento da gordura corporal e obesidade (DOGAN; JAVIDIPOUR; AKAR, 2007).

No Brasil, há pelo menos 20 anos, o mercado sofre muitas transformações desde que a ingestão de AGT tem sido associada com o risco de doenças cardíacas. A maioria dos produtos disponíveis no mercado contém 25-40% de gordura, estes são produzidos por interesterificação e estão livres de isômeros trans. Shortenings que contém 0,1-8,5% AGT representam 30-60% da gordura comercial e são produzidas por parcial e total hidrogenação, interesterificação química e enzimática; blending de óleos líquidos e hidrogenados, interesterificados e fracionados (BLOCK, 2009).

Os AGT, geralmente, são consumidos em maiores quantidades em países industrializados, com valores médios, em 2001, entre 2 e 8g/dia, o que corresponde a 2,5% do total energético ou a 6-8% da ingestão diária total. (LARQUÉ, ZAMORA, GIL, 2001). No Brasil não existem estimativas consensuais sobre a ingestão diária destes compostos e os teores nos alimentos são poucos conhecidos (CHIARA; SICHIERI; CARVALHO, 2003).

Visando a inclusão de maiores informações para os consumidores sobre os AGT na alimentação e os riscos para a saúde a legislação têm sofrido modificações. A ingestão moderada deste tipo de gordura, com fins de promoção da saúde e prevenção de doenças coronarianas tem sido recomendada pela Organização Mundial da Saúde desde 1995. Em 1999, a Food and Drug Administration (FDA) sugeriu que a quantidade de AGT fosse incluída em rótulos de produtos, recomendando, quando computada em gorduras saturadas, a demarcação por símbolo informativo da quantidade específica de AGT (FDA, 2004).

A legislação brasileira, de acordo com a RDC nº 360 (23 de dezembro de 2003), estipulou que até 31 de julho de 2006 os alimentos industrializados deveriam expressar em sua rotulagem nutricional os teores de ácidos graxos *trans*, juntamente com a declaração dos teores de gorduras totais e saturadas. No Brasil, somente podem ser considerados alimentos *zero trans*, os alimentos que contenham teores de isômeros trans menores ou iguais a 0,2 g por porção (ANVISA, 2003).

Com base nisso, as indústrias vem buscando alternativas que viabilizem a redução dos isômeros trans em seus produtos substituindo suas gorduras vegetais hidrogenadas (ricas em AGT) utilizadas como matéria-prima tradicional por gorduras *low trans*.

2.5 Formulação de óleos e gorduras

As propriedades físicas desejáveis em determinada gordura são alcançadas através da formulação em um processo denominado *blending*, onde diferentes tipos de gorduras são misturados para produzir gorduras para uso específico “shortenings”. Este nome se deve ao fato de que quando a gordura é misturada à farinha previne a retrogradação do amido, literalmente “encurtando-a”, resultando em um bom produto. Shortenings são tipicamente formados por 100% de gorduras animal e/ou vegetal, que foram cuidadosamente processados e desodorizados. A forma mais reconhecida e usada apresenta maciez e plasticidade com aroma suave e odor não detectável (METZROTH, 2005; BLOCK, 1997).

As matérias-primas usadas para confecção dos shortenings evoluíram de uma gordura natural para blends de óleos com gorduras sólidas, depois para gorduras parcialmente hidrogenadas e posteriormente para blends com aditivos como emulsificantes, antioxidantes, antiespumantes, quelantes de metais, entre outros. Atualmente os shortenings são ingredientes essenciais em praticamente todos os tipos de produtos alimentícios preparados, pois afetam a estrutura, estabilidade, flavor, qualidade de armazenamento, características sensoriais e aparência visual do alimento preparado. Os avanços na tecnologia têm aumentado o número de informações sobre óleos e gorduras, permitindo a introdução, até mesmo, de produtos mais sofisticados para todos os aspectos da indústria de alimentos: varejo, serviço e processamento. Da mesma forma, novos desenvolvimentos na área de alimentos têm criado a necessidade por produtos totalmente novos. De acordo com a plasticidade os shortenings podem ser classificados em: shortenings com ampla faixa de plasticidade; shortenings com curta faixa de plasticidade; shortenings líquidos; shortenings chips e shortenings em pó (O'BRIEN, 2004).

Shortenings com ampla faixa de plasticidade apresentam propriedades de cremosidade com larga faixa de trabalho e tolerância ao aquecimento, por isso não devem apresentar-se muito firmes a uma temperatura ente 10-16 °C e nem muito macios a 32-38 °C. Essas características permitem o uso desse tipo de shortening para em panificação principalmente em folhados, onde se requer plasticidade, mas ao mesmo tempo consistência firme. Em shortenings com curta faixa de plasticidade, o importante é a estabilidade oxidativa e rápida fusão, por isso destinados a frituras, nondairy (Substitutos de Gordura de Leite), recheio de bolachas, confeitos que requerem estabilidade de

aromas. Shortenings líquidos são suspensões fluídas de gordura em óleo, onde a fase líquida pode ou não ser hidrogenada dependendo da consistência do produto final e da estabilidade oxidativa requerida. Estes foram desenvolvidos para produtos alimentícios onde a capacidade de fluir em temperatura ambiente e abaixo dessa é importante. O maior uso destes produtos é em frituras, pães e bolos e em nordairy (O'BRIEN, 2004).

O desenvolvimento de um shortening para aplicação em um alimento depende de vários fatores. Estes fatores podem diferenciar-se de cliente para cliente variando entre produtos para uma necessidade específica ou para produtos com finalidades gerais. Os atributos importantes de um shortening em diferentes produtos alimentícios variam, em alguns itens alimentícios, o flavor fornecido pelo shortening não é o mais importante; contudo, ele contribui com um efeito benéfico sobre a qualidade do produto final. O desempenho satisfatório de um shortening depende de vários fatores, entre os cinco mais importantes se encontram: características físicas, estrutura do cristal, presença emulsificantes e aditivos, flavor. Um shortening manufaturado pode ser usado como gordura base, assim uma base ou uma série de bases são necessárias para cada produto diferente. As vantagens do uso de gorduras base são duas: controle e eficiência. A gordura base é a gordura feita com características de ampla faixa de temperatura para ser trabalhada e tolerância ao aquecimento (O'BRIEN, 2004).

A plasticidade das gorduras técnicas se deve a sua composição. A estrutura da gordura consiste em uma mistura de cristais e óleo líquido, formando uma matriz cristalina tridimensional assim, a fase sólida retém a porção líquida, conferindo plasticidade e rigidez ao sistema. Um desempenho satisfatório dessas gorduras depende principalmente da consistência e de sua estrutura cristalina, sendo que consistência depende da razão de sólido para líquido a diferentes temperaturas (REDDY; JEYARANI, 2001; CHRYSAM, 1985).

2.6 Gorduras para panificação

Os óleos e as gorduras têm um papel importante na panificação. A gordura é utilizada para lubrificar a massa e formar complexos com o amido (impedindo a retrogradação) e com proteínas, para aumentar o volume (pela incorporação de ar na massa), conferir maciez, melhorar as qualidades gustativas e aumentar a vida de prateleira do produto, além de melhorar a *transferência* de calor na massa. Gorduras para

panificação requerem plasticidade associada a uma ampla faixa de fusão. A porção sólida de um shortening contribui para a estrutura da massa e do produto final, e a entrada de bolhas de ar durante a fase de mistura. Estas duas funções são as chaves para selecionar o shortening adequado para uma determinada aplicação (COULTATE, 2004; O'BRIEN, 2000; STAFFER, 2005).

As propriedades de um óleo ou gordura que determinam seu uso em produtos de panificação são: 1) a relação entre a fase sólida e a fase líquida; 2) a plasticidade do shortening sólido e 3) a estabilidade oxidativa deste óleo (STAFFER, 2005).

Shortenings para bolos devem ajudar a melhorar a incorporação de ar na massa. O shortening deve ser sólido, mas também plástico, de modo a circular cada bolha de ar, para isso o ideal são shortenings que cristalizam na forma β' ; porém se for cristalizado na forma β , formam-se placas de gorduras que são muito menos eficientes. Para Cake donuts os shortenings devem ser emulsificados (geralmente com diacilgliceróis) para que ocorra uma maior incorporação de ar na massa durante o preparo. A massa é frita em óleo quente, e uma grande quantidade de água é evaporada durante esse processo, em contra partida, igual volume de óleo é absorvido pela massa, por isso a gordura usada na fritura dos donuts deve apresentar alto ponto de fusão, para que o produto final, após resfriado, apresente características de textura e crocância desejáveis. Para bolachas doces assim como em bolos, os shortenings devem promover a incorporação de ar na massa, para isso a gordura deve encontrar-se emulsificada e com baixo grau de hidrogenação. Já para bolachas salgadas os shortenings devem ter a capacidade de formar camadas. Assim as camadas de gordura formam regiões de baixa tensão do amido, resultando na textura escamosa e crocante da bolacha (STAFFER, 2005).

2.7 Bolo

Dentre os produtos de panificação, o bolo vem adquirindo crescente importância no que se refere ao consumo e comercialização no Brasil. De acordo com a Abima (Associação Brasileira de Indústrias de Massas Alimentícias, Pães e Bolos Industrializados), o brasileiro tem aumentado o consumo de pães e bolos industrializados. Os bolos industriais apresentaram um aumento de 6% no faturamento. E além de consumir mais, as pessoas estão à procura de produtos mais saudáveis, com baixo teor calórico, lights ou integrais. A procura é por maior

praticidade, já que muitas pessoas não possuem mais tempo de fazer bolo em casa.

O mercado teve crescimento de 6% no faturamento e de 7% no volume entre 2008 e 2009. O consumo per capita de bolos industrializados cresceu 8% - passou de 1,3kg por habitante ao ano em 2008, para 1,4kg por habitante por ano em 2009. O desenvolvimento tecnológico possibilitou mudanças nas indústrias transformando a produção de pequena para grande escala. Embora não constitua alimento básico como o pão, o bolo é aceito e consumido por pessoas de qualquer idade. Trata-se de produto obtido pela mistura, homogeneização e cozimento conveniente de massa preparada com farinhas, fermentadas ou não e outras substâncias alimentícias (como, por exemplo, leite, ovos e gordura) (ABIMA, 2009; ALMEIDA, 2008).

Sobre o processo de fabricação de bolo industrial, este produto deve ser elaborado com farinha de trigo, ovos, açúcar, sal, fermento químico, leite em pó, gordura, aromatizantes e água. Para melhorar a textura, coadjuvantes de fabricação podem ser utilizados, como enzimas ou complexos enzimáticos, que propiciam maior volume e maciez ao produto. Os coadjuvantes podem ser aplicados em diversos tipos de bolos, desde os sem gordura, como pão-de-ló, até os industrializados com alto teor de gordura, para aumentar a maciez, volume, suavidade e a vida de prateleira. Além disso, para a produção industrial ou semi-industrial é necessário que sejam seguidas algumas normas pertinentes ao assunto como boas práticas de fabricação, higiene de equipamentos, utensílios, ambiente e manipuladores, bem como as normas para rotulagem (GUERREIRO, 2006).

Os bolos, de uma forma geral, sejam bolos prontos ou preparados a partir de misturas, devem apresentar características essenciais que determinam sua qualidade como textura macia, que deve permanecer inalterada ao longo da vida de prateleira do produto; superfície uniforme, ou seja, sem rugosidades, saliências ou depressões, que prejudiquem a aparência ou que venham a dificultar o recobrimento com coberturas; homogeneidade do miolo, ou seja, o miolo deve apresentar células pequenas e numerosas; volume adequado; palatabilidade e sabor agradável; e finalmente, facilidade de processamento, tanto em processos industriais, como no preparo de misturas domésticas ou profissionais (ALMEIDA, 2008; PAVANELLI; CICHELO; PALMA, 2000).

Como em qualquer alimento, a qualidade dos bolos está diretamente relacionada ao tipo de processamento e à qualidade e balanceamento correto dos ingredientes. No entanto, a utilização de

emulsificantes em misturas para bolos e em bolos industrializados é fundamental para garantir a obtenção dos requisitos de qualidade essenciais e para a padronização dos resultados. A estrutura de uma massa de bolo que contém gordura pode ser definida como uma combinação de dois sistemas que envolvem interfaces: uma emulsão e uma espuma. Pode-se afirmar que a massa de bolo é na realidade uma emulsão aerada (PAVANELLI; CICHELO; PALMA, 2000).

A emulsão em bolos é do tipo óleo em água e é constituída por uma fase interna, descontínua, formada pelos glóbulos de gordura, e uma fase externa, contínua, formada pela água, farinha, açúcar e demais ingredientes. A espuma, por sua vez, é formada por bolhas de ar, que constituem a fase descontínua, distribuídas na mesma fase continua aquosa.

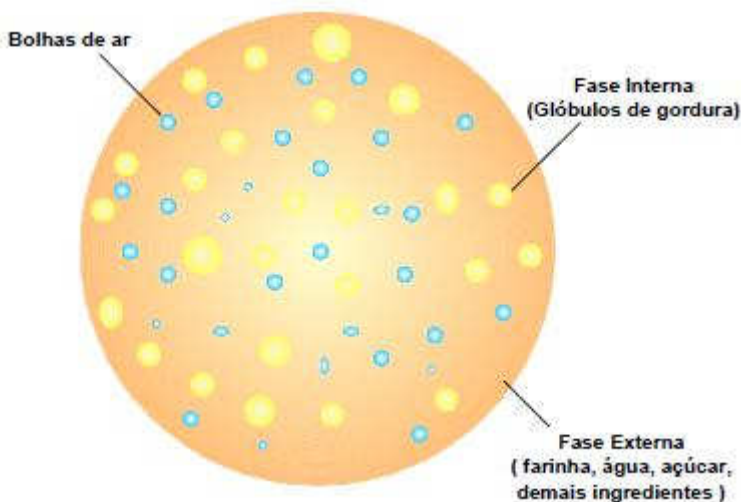


Figura 4. Estrutura da massa de bolo.

Fonte: (PAVANELLI; CICHELO; PALMA, 2000).

O gás carbônico formado pelo fermento químico e que é responsável pelo crescimento da massa, não é capaz de formar bolhas espontaneamente. Por isso, a utilização eficiente do gás carbônico depende da prévia existência de bolhas de ar na massa, que servirão como sítios para a expansão gasosa. Assim, a incorporação de ar na massa, durante o batimento, constitui aspecto fundamental para a obtenção de bolos de boa qualidade, com bom volume e estrutura de miolo homogênea (PAVANELLI; CICHELO; PALMA, 2000).

O volume do bolo e a estrutura do miolo estão relacionados ao número de bolhas de ar que estão presentes na massa e às bolhas que se formam durante o assamento devido ação do fermento. É necessário que a gordura contenha cristais pequenos (β') para que promova boa aeração; além disso, deve apresentar boa plasticidade para facilitar o batimento da massa. Esta plasticidade pode ser obtida pelo processamento apropriado da fase gordurosa durante seu resfriamento, ou pelo uso de misturas de gorduras com proporções apropriadas de sólido-líquido para a temperatura de aplicação final. (TAMSTORF; JONSSON; KROG, 1987).

Se uma massa de bolo apresentar grande quantidade de pequenas bolhas de ar, depois de assado o bolo apresentará grande volume e miolo com aparência uniforme. Porém, se as bolhas de ar forem grandes e em pequena quantidade o bolo pronto terá menor volume e miolo com aspecto grosseiro. Os shortenings para bolo desempenham o papel de distribuir gradualmente as bolhas de ar por toda a massa (GHOTRA; DYAL; NARINE, 2002).

Godoy e Gonçalves (2001) desenvolveram gorduras interesterificadas quimicamente a partir de óleo de palma e palmiste e avaliaram o uso desta base hidrogenada de 3% de óleo de soja totalmente hidrogenado em sorvetes e bolos. O volume, cor e textura do miolo dos bolos não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação ao bolo padrão produzido com gordura parcialmente hidrogenada.

Zambrano *et al.* (2005) avaliaram o efeito de gomas guar e xantana, de emulsificante e do nível de substituição de gordura em bolos. Observou-se que o menor volume está relacionado com a maior quantidade de goma utilizada e o maior volume, com a maior quantidade de emulsificantes. A firmeza dos bolos diminuiu com o aumento da quantidade de emulsificantes e a diminuição do nível de substituição da gordura.

Esteller *et al.* (2006) produziram e avaliaram os parâmetros de qualidade em bolo de “chocolate” produzido com diferentes quantidades de pó de cupuaçu e kefir, e compararam com um controle (cacau tradicional, sem kefir). Observaram que a adição de pó de cupuaçu não alterou as características do bolo padrão elaborado com cacau e que a adição de kefir melhorou a textura e aumentou a porosidade do miolo.

Donga, Javidipour e Akan (2007) avaliaram as propriedades físicas, químicas e os atributos sensoriais de bolos elaborados com gorduras interesterificadas quimicamente (gordura de palma e óleo de algodão) e misturas das mesmas fontes em várias proporções,

comparando-as com amostras elaboradas com shortenings parcialmente hidrogenados. Observou-se que os bolos elaborados com as gorduras interesterificadas *zero trans* contendo óleos de palma e de algodão nas proporções 75:25 e 50:50 mostraram-se equivalentes sensorialmente ao bolo produzido com gordura parcialmente hidrogenada.

2.8 Avaliação da Performance de Shortenings

A performance de uma gordura depende de seu conteúdo de gordura sólida, suas características de fusão e cristalização e seu ponto de fusão. O conteúdo de gordura sólida (SFC – sigla em inglês para Solid Fat Content) tem fundamental importância neste tipo de produto.

O conteúdo de gordura sólida a diferentes temperaturas é quantificado usando um aparelho de ressonância magnética nuclear, o qual mede o conteúdo relativo de gordura sólida e líquida em amostras de gordura, baseado na diferença na taxa de relaxamento de prótons em duas fases após a amostra ter sido submetida a um pulso.

Durante a fusão, as gorduras se expandem e se contraem nas transformações polimórficas, em consequência apresentam uma mudança de volume específico (dilatação) frente à temperatura, a dilatação no ponto de fusão corresponde ao calor de fusão e o coeficiente de expansão ao calor específico (GUNSTONE, 1998).

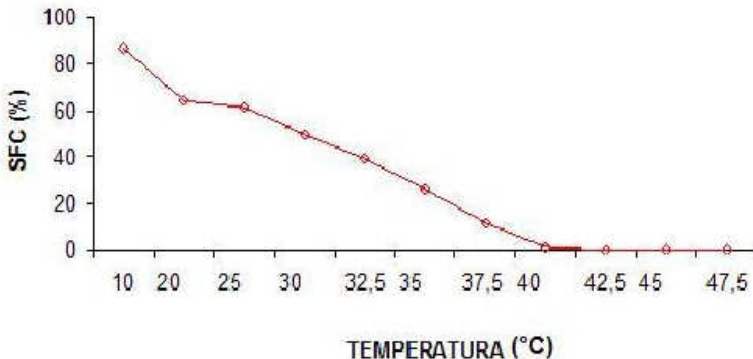


Figura 5. Curva de Conteúdo de Gordura Sólida - SFC de um shortening comercial para bolo.

Fonte: (REDDY, 2001)

As características de fusão e cristalização de uma gordura são avaliadas por calorimetria exploratória de varredura (DSC –Diferencial

Scanning Calorimetry), essa análise permite saber as formas polimórficas que uma gordura apresenta em diferentes temperaturas, relacionando temperatura de início e término de fusão com a entalpia de fusão (STAFFER, 2005; LUCAS; KIECKBUSCH, 2006).

2.8.1 Cristalização e Poliformismo

A cristalização das gorduras desempenha um papel essencial no controle das propriedades físicas das gorduras, pois estas têm a capacidade de existir em diferentes formas cristalinas (com diferentes cristais, tipos de empacotamento e estabilidade termodinâmica) (MARAGONI, 2002). A caracterização das propriedades físicas de fusão e cristalização de uma gordura é de máxima importância, pois, embora os triglicerídios puros dependam do comprimento das cadeias e da insaturação dos ácidos graxos que os compõem, o comportamento das gorduras na fusão é um tanto complexo, por isso as gorduras apresentam uma faixa de fusão (COULTATE, 2004).

Quando uma solução supersaturada é resfriada inicia-se o processo de cristalização. O resfriamento conduz ao início da nucleação, que pode ser homogênea, heterogênea ou química, dependendo se ocorrer com ou sem sementeira de núcleos cristalinos. Após iniciado o processo de cristalização este se propaga, formando agregados cristalinos. Durante o crescimento o cristal passa por diferentes formas meta-estáveis até sua estabilização; a taxa de crescimento dos cristais é diretamente proporcional ao resfriamento e ao grau de saturação, mas varia inversamente a viscosidade, uma vez que a difusão molecular decresce com o aumento da viscosidade. Um resfriamento lento conduz a formação de cristais grandes, enquanto que um resfriamento rápido conduz a formação de cristais pequenos (AKOH; MIN, 2008; DÍAS; GIOIELLI, 2006; FENNEMA, 2005).

Podem existir triacilgliceróis em uma série de arranjos cristalinos diferentes, cada um com seu ponto de fusão, padrão de cristalografia em Raio-X e espectro no infravermelho característico, essa propriedade é chamada de polimorfismo. Em estado cristalino, os átomos ou moléculas adotam posições rígidas formando uma estrutura tridimensional, altamente ordenada e repetível. O centro de um átomo ou um ponto conveniente de uma molécula pode ser considerado ponto de referência para representar esta regularidade, assim a ordem espacial tridimensional resultante denomina-se “rede espacial”, esta rede possui todas as propriedades de simetria de um *cristal*. (AKOH; MIN, 2008;

COULTATE, 2004; WIDLAK, 2001; BECKETT, 1994; FENNEMA, 2005).

De acordo com a geometria de cada célula que irá se repetir e formar a rede tem-se diferentes formas de cristalização, existem sete formas conhecidas sendo que as principais são α (hexagonal), β' (ortorrômbica) e β (triclínica). Nos cristais, as camadas dos triacilgliceróis podem estar arranjadas perpendicularmente (forma α) ou obliquamente (formas β' e β) aos planos paralelos dos grupos glicerol e dos grupos metil terminal. (AKOH; MIN, 2008; BECKETT, 1994; FENNEMA, 2005).

Todas as moléculas mostram-se em forma de cadeia, duas destas formam uma unidade dimérica que permanece inalterada através de todas as *transições* polimórficas. Uma camada pode ter tamanho correspondente ao comprimento de duas ou três cadeias de ácidos graxos (Figura 6) sendo conhecidas, respectivamente, como forma DCL (Double-Chain Length) ou forma TCL (Triple-Chain Length), e com as moléculas de triglicerídios sobrepostas (COULTATE, 2004; BECKETT, 1994; FENNEMA, 2005).

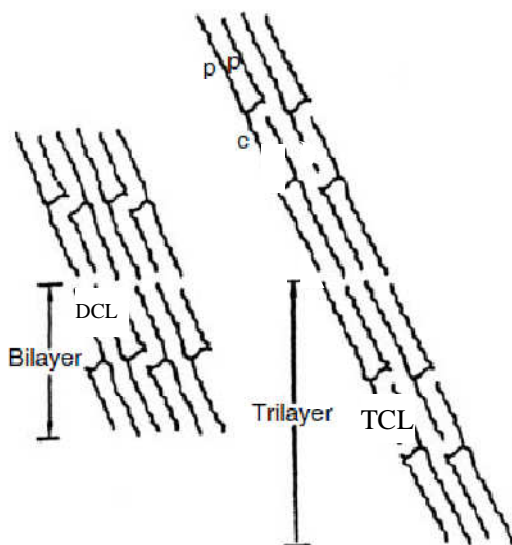


Figura 6. Representação esquemática do comprimento de duas (DCL) e/ou três cadeias (TCL) de ácidos graxos (modificado)

Fonte: Akoh e Min, (2008).

Na forma α os eixos das cadeias arranjam-se de forma linear, enquanto que a parte principal das cadeias de hidrocarbonetos oscila em

torno do eixo vertical. Do ponto de vista de encaixe molecular, a forma α é pouco desejada, pois apresenta uma região irregular no grupo metil terminal. Devido a esta irregularidade, seria de esperar que as cadeias de hidrocarbonetos possuísem alto grau de mobilidade (cristais líquidos), o que induz a uma rápida transformação para outra forma com melhor encaixe entre as cadeias (BECKETT, 1994).

Padrões de difração de raios-X, indicam que a região do grupo glicerol da forma β' pode ter a mesma estrutura que a forma β , estas duas formas tem um encaixe dos grupos metílicos terminais diferentes que a forma α . A diferença principal entre as formas β' e β , está na direção de inclinação das cadeias de triglicerídeos, a forma β' apresenta duas direções de inclinação. Admite-se que esta mudança de inclinação ocorre em função do grupo metil terminal que encaixa as moléculas individuais dos triglicerídeos nas camadas duplas sem curvar-se (BECKETT, 1994).

As gorduras com predominância do tipo β' consolidam-se em pequenos cristais na forma de agulha. Agitando em temperaturas exatas, essas gorduras consistem destes cristais embebidos em uma matriz lipídica, resultando em uma textura maleável suave, ideal para incorporar bolhas de ar e suspender as partículas de farinha e açúcar. As gorduras predominantemente β formam grandes cristais, os quais resultam em uma textura granulada; embora difíceis de serem aeradas, elas são valiosas para alguns produtos de panificação (COULTATE, 2004; FENNEMA, 2005). O óleo de soja totalmente hidrogenado tende a cristalizar na forma β . A formação de isômeros trans na hidrogenação parcial de óleos influencia a cristalização, favorecendo a formação de formas β' (DÍAZ; GIOIELLI, 2006).

A teoria de Avrami considera que a cristalização ocorre tanto pela nucleação quanto pelo crescimento dos cristais e assume que as condições de transformação são isotérmicas, que a nucleação ocorre espacial e arbitrariamente e que a cinética de crescimento é linear, em que a velocidade de crescimento da nova fase depende apenas da temperatura, e não do tempo (WRIGHT *et al.*, 2000).

Os parâmetros de Avrami fornecem informações sobre a natureza do processo de cristalização. A constante k é a constante da velocidade de cristalização. Depende principalmente da temperatura de cristalização e esta dependência é geralmente expressa pela equação de Arrhenius. A constante k leva em consideração tanto a nucleação quanta a taxa de crescimento dos cristais. O expoente de Avrami n , às vezes chamado de índice de cristalização, indica o mecanismo de crescimento dos cristais. Este parâmetro é uma função combinada da dependência do tempo por

parte da nucleação e do número de dimensões em que o crescimento ocorre. A nucleação pode ser instantânea, com os núcleos surgindo todos de uma só vez no início do processo, ou esporádica, com o número de núcleos aumentando linearmente com o tempo. O crescimento ocorre tomando formas de agulhas, discos ou esferulitos, em uma, duas ou três dimensões, respectivamente. A tabela 2 mostra o valor do expoente de Avrami, n , esperado para vários tipos de nucleação (1, 2, ou 3) e crescimento (0 ou 1) (WRIGHT *et al.*, 2000).

Tabela 2. Valor do expoente de Avrami n para diferentes tipos de nucleação e crescimento.

Tipo de crescimento*	Tipo de nucleação*	n^*	Tipo de crescimento do cristal e nucleação esperados
3	1	$3+1=4$	Crescimento esferulítico a partir de núcleos esporádicos
3	0	$3+0=3$	Crescimento esferulítico a partir de núcleos instantâneos
2	1	$2+1=3$	Crescimento em forma de disco a partir de núcleos esporádicos
2	0	$2+0=2$	Crescimento em forma de disco a partir de núcleos instantâneos
1	1	$1+1=2$	Crescimento em forma de agulha a partir de núcleos esporádicos
1	0	$1+0=1$	Crescimento em forma de agulha a partir de núcleos instantâneos

Legenda: * n = tipo de crescimento + tipo de nucleação.

Tipo de crescimento: 3 = crescimento esferulítico

2 = crescimento em forma de disco

1 = crescimento em forma de agulha

Tipo de nucleação: 1 = a partir de núcleos esporádicos

0 = a partir de núcleos instantâneos

2.8.2 Temperagem

Imediatamente após a cristalização, um shortening que requer uma consistência plástica deverá passar pelo processo de temperagem, que consiste na estocagem da gordura por 40 horas ou mais em um estado de repouso a uma temperatura ligeiramente acima da temperatura preparada. Na prática, a 29 °C por 24-72 horas ou até a forma do cristal

estabilizar é suficiente. O primeiro propósito da temperagem é condicionar a solidificação da gordura assim que ela resistirá a largas variações na temperatura durante a estocagem e ainda terá uma consistência uniforme quando retornar a 21-24 °C, que é temperatura de uso da maioria do shortenings (O'BRIEN, 2005).

Existem três parâmetros de processo que devem ser controlados simultaneamente para se obter boa temperagem: temperatura, tempo de cristalização e velocidade de agitação. Um shortening é considerado temperado quando a estrutura cristalina da fração sólida atinge o equilíbrio pela formação de uma matriz cristalina estável que captura a porção líquida. A mistura de componentes de alto e baixo ponto de fusão passa por uma *transformação* na qual a fração com baixo ponto de fusão é derretida e recristalizada para um maior ponto de fusão, numa forma mais estável. Esse processo pode levar de 1 a 10 dias dependendo da formulação e do empacotamento desejado. Após a etapa inicial, alguns cristais α ainda estão presentes, estes cristais derretem e recristalizam na forma β' durante a temperagem (estes cristais β' , são preferidos pela sua maior plasticidade, especialmente para aplicações em cremes e folhados. O efeito da temperagem sobre a plasticidade pode ser demonstrado por testes de desempenho. Em alguns casos a textura passa por algumas mudanças durante a temperagem, apresentado um amaciamento quando comparado a um shortening não temperado. O efeito da temperagem pode ser identificado com o tato ou plasticidade do shortening; um produto temperado é mais macio com melhor plasticidade enquanto que o não temperado é mais frágil com menor plasticidade. Após a formação do cristal β' , se o shortening formado for *transferido* para uma temperatura fria tornar-se-á permanentemente duro e frágil e os esforços para estes produtos se reestruturarem, por sujeitá-las a condições de temperagem, foram inúteis (O'BRIEN, 2005).

2.8.3 Processo de Blending

Óleos e gorduras podem ser misturados para produzir um óleo (ou gordura) com uma composição em ácidos graxos específica, ou com estabilidade oxidativa e consistência específica. Em um processo chamado *blending* diferentes gorduras são misturadas com o objetivo de obter um produto adequado a cada especificação, sendo que o número de gorduras usadas depende da especificidade do produto final. (BLOCK *et al.*, 1993; BLOCK, 1997; METZROTH, 2005). Blends de duas ou mais gorduras são usados principalmente na formulação de

margarinas, shortenings, óleos para fritura, óleos para saladas e alguns outros óleos especiais. Este é um processo econômico que requer poucos investimentos, e não é necessário modificar quimicamente os componentes que serão misturados. A consistência do produto pode ser estabelecida usando alguns critérios analíticos, como a composição em ácidos graxos, conteúdo de gordura sólida, índice de iodo, ponto de fusão, entre outros (SENANAYAKE; SHAHIDI, 2005).

Em escala industrial, o processo de blending requer um tanque e um medidor (onde as proporções serão medidas, fundidas e homogeneizadas). O tanque para o blending deve contar com um sistema de agitação e aquecimento, para assegurar a completa uniformidade do produto. Em alguns casos usa-se atmosfera modificada com nitrogênio, para proteger o produto da oxidação (SENANAYAKE; SHAHIDI, 2005; CHIU; GIOIELLI, 2002).

Tradicionalmente o blending é feito de modo empírico, pois o pesquisador determina possíveis misturas e após estas são caracterizadas, assim ocorrem muitos erros de formulações, sendo necessário formular e caracterizar diversas formulações, e muitas destas não chegam nem perto do resultado desejado. Geralmente adota-se um planejamento com seis experimentos (proporções 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, 0:100, quando se tratam de dois componentes) para realização dos blendings (ZAIDUL *et al.*, 2007; PÉREZ-MARTÍNEZ *et al.*, 2007; CHIU; GIOIELLI, 2002)

2.9 Textura

A reologia é o estudo da mecânica da deformação permanente ou temporária dos materiais sólidos e líquidos. No processamento, os alimentos são submetidos a forças como tensão e cisalhamento durante operações de redução de tamanho, prensagem, extrusão, aquecimento e resfriamento (HOSENEY, 1994). A textura pode ser definida como todos os atributos mecânicos, geométricos e de superfície de um produto que sejam perceptíveis por meios instrumentais e sensoriais (ROSENTHAL, 1999). Afeta o processamento, manuseio, conservação e aceitabilidade do produto. A textura de alimentos tem sido reconhecida como um parâmetro sensorial multidimensional. (LAWLESS, 1998).

A qualidade de bolos pode ser avaliada por meio instrumentais e sensoriais. O procedimento para determinação da firmeza por métodos instrumentais e demais parâmetros de textura no bolo, consiste em fatiar

as amostras, submetê-las à compressão em texturômetro mecânico e analisar a curva força-tempo resultante (ESTELLER *et al.*, 2004).

Bourne (2002) destaca que a aparência, paladar, textura e nutrição são os quatro principais fatores de qualidade desejados em um alimento. Assim como o paladar é o principal item na escolha, a textura é o principal fator para a rejeição de alguns produtos.

Vários estudos utilizam os parâmetros de textura para avaliar a qualidade de bolos, como Osawa *et al.* (2009), que estudaram a avaliação físico-química de bolo de chocolate com coberturas comestíveis à base de gelatina, ácido esteárico, amido modificado ou cera de carnaúba. Zambrano *et al.* (2004) avaliaram o efeito de gomas guar e xantana em bolos como substitutos de gordura. Esteller *et al.* (2006) elaboraram bolo de “chocolate” produzido com pó de cupuaçu e kefir e encontraram baixos valores de firmeza (ou maior maciez) para o miolo de bolos com bastante umidade, gordura e açúcar, que exerceram efeito amaciante na massa.

Dentro da textura vários atributos podem ser analisados como a elasticidade, definida como a capacidade da amostra retornar à posição original; dureza, força necessária para comprimir a amostra; fraturabilidade, força necessária para romper ou fraturar a amostra; coesividade, força que mantém a amostra íntegra ou coesa; mastigabilidade, número de mastigações necessárias antes da deglutição; adesividade, força necessária para superar a atração entre o alimento e o palato.

Gómez *et al.* (2007) avaliaram a funcionalidade de diferentes hidrocolóides na qualidade e vida de prateleira de bolos de camada amarela. Compararam os parâmetros de textura: firmeza, coesividade, gomosidade, fraturabilidade, adesividade, elasticidade e resiliência em bolos frescos e com dois dias de estocagem, com diferentes formulações. Lannes e Gioielli (1995) estudaram os parâmetros de textura em função da temperatura de chocolates tipo cobertura (ao leite, branco e meio amargo), elaborados com diferentes gorduras e compararam os resultados entre si, uma vez que o tipo de gordura utilizada tem influência significativa nas propriedades de textura do chocolate. Observou-se que a dureza das amostras sempre diminuiu com o aumento da temperatura, indicando alteração na rede cristalina da gordura no produto. Os parâmetros adesividade, gomosidade e mastigabilidade também tenderam a diminuir seus valores com o aumento da temperatura. Porém, algumas das alterações de textura encontradas em chocolates do mesmo grupo podem ter sido referentes ao tempo de armazenamento.

2.10 Cor

A cor é um aspecto fundamental da qualidade de alimentos, sendo o primeiro atributo observado sensorialmente antes do consumo (HECKTHEUER, 1996). É resultante de compostos coloridos existentes no produto natural ou da adição de corantes sintéticos, podendo ainda ser resultante da formação de compostos coloridos e reações de escurecimento enzimático e não enzimático, durante o processamento ou armazenamento (BOBBIO e BOBBIO, 1992).

Em produtos forneados a cor é um parâmetro crítico. Bolos com crostas muito claras ou muito escuras são associados a falhas no processo e formulação (ESTELLER *et al.*, 2005). A cor é uma importante característica de produtos panificados porque, junto com a textura e aroma, contribui para a preferência do consumidor. A cor depende das características físico-químicas da massa crua (teor de água, pH, açúcares redutores e aminoácidos), das condições de processo durante a cocção (temperatura, velocidade de circulação de ar, umidade relativa, formas de *transferência* de calor). A obtenção de uma cor em particular pode ser o objetivo de forneamento e pode ser considerado um parâmetro crítico de qualidade (ESTELLER, *et al.*, 2006). As reações químicas que causam escurecimento em produtos panificados durante a cocção incluem reações de Maillard e caramelização (ZANONI *et al.*, 1995).

Esteller, Júnior e Lannes (2006) estudaram os parâmetros de qualidade em bolo de chocolate produzido com diferentes quantidades de pó de cupuaçu e kefir (substituto de fermento industrial) e observaram que com o aumento do tempo de forneamento ocorre escurecimento da massa, ocasionando redução nos valores de L^* .

A cor é composta por dois atributos visuais (matiz e saturação) e um fator luminoso (claridade ou luminosidade). Matiz é o termo utilizado para classificar as cores como: vermelho, amarelo, azul, etc. Desta maneira, quando misturamos dois ângulos de matiz diferentes produzimos uma terceira cor, diferente das que a originou (FEILLET; AUTRAN; VERNIERI, 2000).

Além do matiz (hue) que é a presença de um comprimento de onda dominante, as fontes luminosas também são caracterizadas pela intensidade, brilho ou claridade (brightness), que é a amplitude do comprimento de onda, ou seja, e a relação entre a luz refletida e a luz absorvida, sem levar em consideração um comprimento de onda

específico; e a saturação (croma) que é a concentração em torno do comprimento de onda dominante. E a quantidade de reflexão de luz, em um dado comprimento de onda, e indica a proporção em que a cor está misturada com o branco, preto ou cinza (MINOLTA, 1994).

Os calorímetros e os espectrofotômetros são os principais instrumentos utilizados para medição de cor. O principal objetivo das análises de cor, usando os diferentes equipamentos, é encontrar repetibilidade nos valores encontrados que estejam de acordo com a percepção visual. (MINOLTA, 1994).

2.11 Redes Neurais

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são ferramentas de inteligência artificial utilizadas nas mais diversas áreas de aplicação para prever, classificar, otimizar, controlar, entre outras aplicações, com intuito de solucionar problemas (CORRÊA *et al.*, 2006; OGLIARI *et al.*, 2008; SOUSA *et al.*, 2003; VALE *et al.*, 2000; POPPI *et al.*, 2001; BLOCK *et al.*, 1997).

Inspiradas na arquitetura do cérebro humano, as RNAs representam uma classe de modelos não lineares, capazes de aprender com exemplos apresentando estrutura em rede, na qual a informação é passada para uma camada de entrada, processadas em camadas intermediárias e reproduzidas em uma camada de saída. O modelo de uma rede é definido pelo número de neurônios de cada camada e pelos pesos de cada uma das conexões entre camadas. As interconexões representam conhecimento, baseada nesta estrutura, as conexões são ajustadas em ordem de armazenamento de informação relacionando as características de entradas e respectivas saídas, assim, como resultado natural, a informação fica armazenada na rede (fase de treinamento) (OGLIARI; ANDRADE; FERRONATO, 2008; SOUSA *et al.*, 2003). O conhecimento armazenado é distribuído ao longo das conexões da rede, e cada conexão pode representar uma parte da informação, sendo esta a sua principal característica (OGLIARI; ANDRADE; FERRONATO, 2008).

Segundo Sousa *et al.* (2003), para o treinamento duas formas de aprendizagem são utilizadas: a supervisionada e a não supervisionada, embora a mais comentada e usada seja a primeira, em que a informação é fornecida à rede através dos dados de entrada e dos resultados desejados. Neste modo, a rede utiliza os dados da entrada e, através de pesos, tenta chegar ao resultado desejado pelo supervisor.

Entre os tipos de redes, a mais simples (usada em sistemas supervisionados) é a Backpropagation, este algoritmo utiliza a retroalimentação onde os pesos são modificados durante o cálculo de modo que o próximo peso será dado em função do peso atual, da diferença entre a saída desejada e a atual e, da taxa de aprendizado, chegando ao fim quando os resultados reproduzem adequadamente a saída desejada, assim o desvio padrão entre os dados é sempre o menor possível (SOUSA *et al.*, 2003, VALE; ZAMBIAZI, 2000).

Considerando que o conhecimento pode ser representado como parâmetros de um problema, a habilidade da rede em prever (resultar na melhor probabilidade de escolha) geralmente excede a dimensão paramétrica do problema, com isso, a relação entre os pesos das conexões e a informação armazenada não é direta. As redes apresentam algumas limitações, uma vez que a saturação da rede ou overtraining, resultante de uma fase de treinamento muito longa, faz com que a rede comece a tomar decisões arbitrárias, especializando-se no grupo de variáveis utilizado no treinamento e perdendo sua capacidade de generalização. Supondo que uma rede seja treinada para convergir adequadamente para o melhor e mais apropriado peso, é possível fazer generalizações usando características relacionadas ao aprendizado de entrada e saída (VALE; ZAMBIAZI, 2000; OGLIARI, 2008).

De acordo com Ogliari, Andrade e Ferronato (2008) a melhor arquitetura e intervalos de predição para ser usado no aperfeiçoamento de resultados é a arquitetura de multi-camadas (três camadas) (Figura 7), onde há uma camada de entrada de dados (camada X) com 5 neurônios (j), uma segunda intermediária (camada A) com mais 5 neurônios (k), por fim uma de saída (camada B) de dados com 1 neurônio (L), e os pesos são dados pelas conexões formadas entre as camadas (w_{1jk} e w_{2k}).

Partindo do princípio que a automação do processo apresenta algumas vantagens para a indústria, pois acelera o processo e diminui custos, principalmente de tentativa e erro, várias áreas vêm utilizando as RNAs, Corrêa *et al.* (2006) usaram as redes para o desenvolvimento de sistemas viários no planejamento de *transportes*; Sousa *et al.* (2003) propuseram a determinação da quantidade de carne mecanicamente separada em salsichas comerciais por redes.

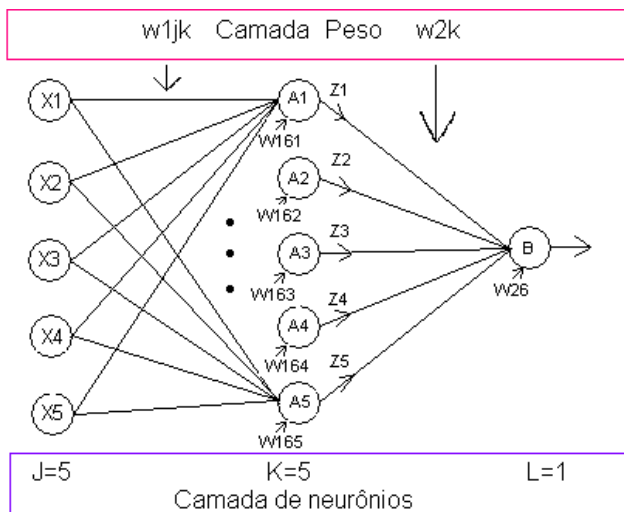


Figura 7. Modelo de ilustração dos neurônios que representam a arquitetura fixada.
Fonte: OGLIARI *et al.* (2008).

Vale *et al.* (2000) aplicaram as redes para prever a estabilidade de óleos vegetais; Romero *et al.* (1991) utilizaram redes neurais no reconhecimento e classificação de óleos e misturas de óleos vegetais a partir de suas composições químicas em ésteres de ácidos graxos.

Horimoto *et al.* (1995), usaram diferentes variáveis de processo e de composição do trigo para prever o volume da massa de pães elaborados de diferentes cultivares de trigo através de uma rede neural. (Brainmaker software); Zambiasi e Przybylski (2000) usaram as redes neurais para prever a estabilidade de óleos vegetais pelo índice de oxigênio, usando a composição química como grupo de treinamento.

Block *et al.* (1997), usaram redes neurais com o objetivo de construir, operar e avaliar um processo alternativo para formulação de gorduras hidrogenadas mais eficiente e econômico através de redes neurais. Gorduras especiais foram formuladas utilizando redes neurais a partir de gorduras hidrogenadas e óleo refinado de soja, sendo a rede considerada altamente eficiente (BLOCK *et al.*, 1999). A alta capacidade de previsão das redes neurais também foi verificada por Block *et al.* (2003), que em testes de produção de margarinas em planta piloto indicaram que as redes neurais são capazes de formular produtos com características idênticas às apresentadas pelas formuladas por métodos convencionais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matérias-Primas

3.1.1 Gorduras base

- a) Óleo de soja (OS) em garrafas PET de 900 mL, marca Primor (Bunge S.A.), adquirido no comércio local de Florianópolis;
- b) Gordura interesterificada A – obtida a partir de óleo de soja totalmente hidrogenado (OSTH) com óleo de soja e algodão. Fornecida pela empresa Triângulo – SP;
- c) Gordura interesterificada B – obtida a partir de óleo de soja totalmente hidrogenado (OSTH) com óleo de soja e algodão. Base margarina (soja) fornecida pela empresa Triângulo – SP;

3.1.2 Gordura padrão

Gordura BUNGE PROPAN 41 (BUNGE PRÓ CR 300) fornecida pela empresa Bunge, Gaspar – SC, recomendada para a produção de bolos industriais e misturas preparadas para bolos.

3.1.3 Ingredientes

Para confecção dos bolos utilizou-se como matéria-prima: Farinha de trigo Sol tipo 1, Amido de milho da Barra, Fermento Químico Fleischmann, Leite UHT desnatado Mimi, Açúcar União Refinado, Ovos Friolar (vermelhos), as gorduras formuladas e a padrão.

3.2 Métodos

3.2.1 Composição em Ácidos Graxos

A composição em ácidos graxos foi determinada utilizando Cromatógrafo em fase gasosa com coluna capilar – CGC AGILENT 6850 SERIES GC SYSTEM, com injetor automático e detector de

ionização de chama (FID). Na esterificação utilizou-se BF₃ (trifluoreto de boro) como reagente, de acordo com o método AOCS Ce 1-62 (2004) e os ésteres metílicos de ácidos graxos foram preparados de acordo com método Ce 2-66 (AOCS, 2004), em coluna capilar DB – 23 AGILENT (50% cianopropil-metilpolisiloxano), dimensões 60 m, diâmetro int: 0,25 mm, 0,25 µm filme. O programa de temperatura do forno foi de 110°C-5min, 110°C-215°C (5°C/min), 215°C-24min; temperatura do detector: 280°C; temperatura do injetor: 250°C; gás de arraste: hélio; Razão Split 1:50; volume injetado: 1,0 µL.

3.2.2 Teor de Gordura Sólida - SFC (Solid Fat Content)

O Teor de Gordura Sólida foi determinado por Ressonância Magnética Nuclear (RMN), por método direto, temperagem para gorduras não estabilizadas (100°C/ 15 minutos, 60° C/ 5 minutos, 0° C/ 1 hora). A leitura das amostras foram realizadas em série, nas temperaturas e 10, 20, 25, 30, 35, 37,5, 40, 45 e 50°C, com intervalos de 5°C e permanência de 30 minutos em cada temperatura, em Espectrômetro de Ressonância Magnética Nuclear BRUKER pc120 Minispec, de acordo com o método Cd 16b-93 (AOCS, 2003).

3.2.3 Ponto de Fusão (PF)

O Ponto de Fusão foi determinado pelo cálculo da temperatura correspondente a 4% de gordura sólida, obtida da curva de SFC por RMN, utilizando as temperaturas já descritas através de uma equação polinomial ajustada com ajuda do software Statistica 6.0 (Karabulut *et al.*, 2004).

3.2.4 Isoterma de cristalização

As amostras foram fundidas (100°C por 15min) e mantidas em estufa a 70°C por 1 hora para completa fusão dos cristais. Em seguida o tubo contendo a amostra foi colocado no compartimento de leitura do Espectrômetro de Ressonância Magnética Nuclear - RMN BRUKER pc120 Minispec e estabilizado em isoterma de 25°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) (Campos, 2005). Os dados foram adquiridos automaticamente, com medida a cada minuto durante 1,5 h. A caracterização da cinética de cristalização foi

avaliada de acordo com o período de indução (t_{SFC}) referente ao início da formação dos cristais e o teor de gordura sólida máximo ($SFC_{máx}$), foi aplicada a equação de Avrami:

$$\frac{CGS(t)}{CGS(\infty)} = 1 - e^{-zt^n}$$

Onde $CGS(t)$ descreve o conteúdo de gordura sólida (%) em função do tempo e $CGS(\infty)$ o teor de gordura sólida quando o tempo tende ao infinito, o valor da constante de Avrami (K) é a velocidade de cristalização e é dependente da temperatura, que considera tanto o processo de nucleação (instantâneo ou esporádico) como o crescimento do cristal, e do expoente de Avrami (n) que indica o mecanismo de crescimento de cristais de acordo com McGauley & Marangoni (2002) e Ribeiro *et al.* (2009b).

3.2.5 Índice de Iodo

O índice de iodo foi calculado pelo método Cd 1c-85 (AOCS, 2003).

3.2.6 Altura

A altura máxima do bolo, após assado, foi medida com o auxílio de paquímetro plástico com escala em milímetros.

3.2.7 Volume Específico e Densidade Específica da massa

O volume específico foi determinado (triplicata) preenchendo totalmente, com semente de painço, uma proveta de 300mL de capacidade. Em seguida parte delas foi substituída pela amostra (cilindros de 4cm de diâmetro e 3cm de altura), completando-se o volume até a borda e nivelamento com auxílio de régua plástica. As sementes remanescentes corresponderam ao volume do bolo. Estas foram colocadas em proveta graduada expressando-se o resultado em mL. As amostras foram pesadas e calculou-se o volume específico (mL/g) e densidade (g/mL) (ESTELLER *et al.*, 2005).

3.2.8 Textura

A textura instrumental dos bolos foi determinada utilizando Texturômetro TA- XT2 (Stable Micro Systems, UK), com probe de acrílico P/50 considerando os seguintes parâmetros de operação: compressão em 50% da amostra; velocidade pré-teste= 2,0 mm/s; velocidade de teste = 2,0 mm/s; velocidade de pós-teste = 2,0 mm/s; distancia = 12mm; tempo = 5 segundos. Os atributos de textura avaliados foram: dureza (referente à força necessária para deformação), adesividade, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade (parâmetro secundário referente à energia requerida para mastigar produtos sólidos e deixá-los em condições de deglutição) e resiliência (SZCZESNIAK, 1963).

A análise foi realizada em triplicata para cada bolo. Os valores médios foram avaliados estatisticamente pelo teste de diferença de médias (Tukey), empregando-se o Statistic 7.0 (2004).

3.2.9 Umidade

As amostras foram picadas (crosta + miolo) em liquidificador, pesando-se 10g em cápsula de alumínio tarada. Os conjuntos (triplicata) foram colocados em estufa a 105°C por duas horas. Após a desidratação foram mantidos em dessecador contendo sílica-gel, até atingir a temperatura ambiente, sendo então novamente pesados. O procedimento de secagem e pesagem foi repetido até que um valor constante fosse obtido para cada amostra analisada. O teor de umidade foi calculado pela diferença entre o peso inicial e final das amostras e expresso em porcentagem (ESTELLER *et al.*, 2006a).

3.2.10 Cor

Para a análise instrumental da cor do miolo dos bolos foi utilizado calorímetro Minolta Chromo Meter CR 400 (Minolta, Osaka, Japão), acoplado a um processador DP-100, com iluminante D₆₅ e ângulo de 10°. Foi utilizado o sistema de avaliação CIELab (Comission Internationale de Eclairage), escala de cor **L***, **a***, e **b***, onde **L*** corresponde à luminosidade (0 = preto e 100 = branco); **a*** corresponde a variação de cor de verde a vermelho [-80 até zero = verde (-a), de zero a +100 = vermelho (+a)]; **b*** corresponde a variação de cor de azul a

3.2.12 Análise Estatística

Para as determinações analíticas realizadas, os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), aplicando-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para a comparação das médias, utilizando-se o programa Statistica® 7.0 (Stasoft, USA).

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Caracterização das Matérias-primas


A gordura padrão, o óleo refinado e as gorduras interesterificadas soja-algodão A e B usadas para as formulações foram caracterizados através da composição em ácidos graxos, teor de gordura sólida - SFC (Solid Fat Content), ponto de fusão (PF), isoterma de cristalização, índice de iodo, conforme metodologia descrita no item 3.2.


4.2 Operação da rede neural

A partir das características do teor de sólidos e ponto de fusão da gordura padrão, os valores desejados para o teor de gordura sólida foram solicitados para a formulação pela rede. Estabeleceu-se uma faixa de variação para a busca de respostas, 2% a 5% para teor de gordura sólida e 3°C para ponto de fusão, que são valores aproximados às faixas normalmente utilizadas pelas indústrias de bases gordurosas para aplicação em diversos produtos.

A rede neural fornece diferentes soluções para uma especificação (conteúdo de gordura sólida e ponto de fusão) desejada. Além das formulações a rede fornece a previsão do perfil de gordura sólida das soluções propostas. Esta previsão permite uma análise das respostas obtidas, pois as especificações desejadas podem ser comparadas com o previsto pelas redes neurais, o que auxilia na tomada de decisão (GARCIA, 2010).

O programa possui duas ferramentas de busca por formulações: a

ferramenta “*busca por soluções*” (), que encontra múltiplas e diferentes formulações a partir do perfil de sólidos e ponto de fusão dentro da faixa de variação determinada; e a outra ferramenta “*busca*

por soluções aproximadas” (), que encontra soluções com perfil aproximado, o melhor que pode ser alcançado através das bases gordurosas utilizadas, porém fora da faixa de variação proposta apresentando somente duas soluções por busca, podendo realizar-se

diversas buscas, embora as formulações propostas apresentem pouca variação entre si conforme ilustrado na Figura 8.

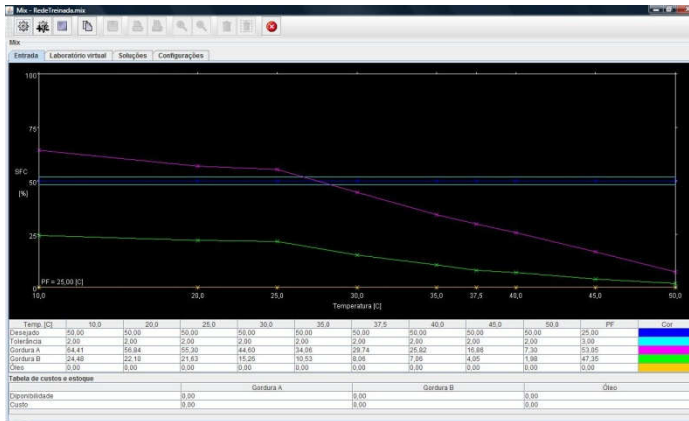


Figura 8. Tela de entrada do programa onde são inseridos os dados de entrada para a realização de busca por soluções.

Utilizando-se a ferramenta de “Busca” convencional e “Busca por soluções aproximadas” foram então solicitadas à rede formulações com o teor de sólidos e ponto de fusão desejados, de acordo com a aplicação requerida. Devido às características das gorduras interesterificadas, não se obteve soluções tornando necessário trabalhar com o “Laboratório Virtual”.

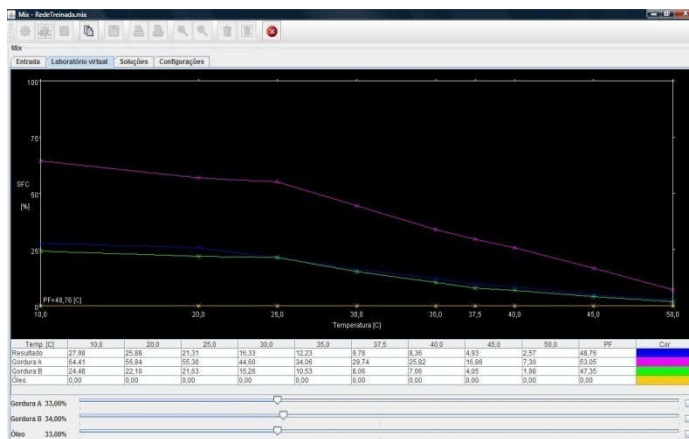


Figura 9. Tela Laboratório virtual.

Essa ferramenta permite que o pesquisador trabalhe manualmente, ajustando os valores de teor de sólidos - SFC das Gorduras A, B e Óleo em cada temperatura desejada.

Foram estabelecidos para as temperaturas 30°C, 35°C, 37,5°C e 40°C os valores aproximados da gordura padrão e nas temperaturas 10°C, 20°C e 25°C valores abaixo da gordura padrão. Solicitou-se novamente à rede a partir da ferramenta “Busca” na tela principal até que fossem listadas aproximadamente seis formulações diferentes.

Tabela 4. Valores solicitados em diferentes temperaturas à rede neural.

	% SFC									
	10 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35°C	37,5 °C	40 °C	45 °C	50 °C	PF
Gordura A	64,41	56,84	55,3	44,6	34,06	29,74	25,82	16,86	7,3	53,05
Gordura B	24,48	22,1	21,63	15,26	10,53	8,06	7,06	4,05	1,98	47,35
Padrão	52,02	27,46	18,33	10,97	6,18	4,11	3,16	0,66	0	45
Solicitado	18,0	16,0	12,50	9,50	7,00	5,50	4,50	3,00	1,00	45,60
Tolerância	5,0	5,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0

Na listagem das soluções propostas pelo Mix a partir do perfil solicitado, as formulações podem ser selecionadas avaliando-se os parâmetros técnicos (perfil de sólidos e ponto de fusão), custo e disponibilidade de matérias-primas.

Resumo	Solução 0	Solução 1	Solução 3	Solução 4	Solução 5	Solução 10	Solução 15	Solução 17	Solução 2	Prod. max.	Gordura A (%)	Gordura B (%)	Óleo (%)	PF [C]
4	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	18,15	32,68	18,18	49,18	45,76	45,76	45,76	45,76	45,76
18	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	17,14	34,72	18,14	48,14	45,75	45,75	45,75	45,75	45,75
1	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	23,04	21,85	21,85	35,11	45,69	45,69	45,69	45,69	45,69
17	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	18,53	36,21	18,53	47,20	45,78	45,78	45,78	45,78	45,78
19	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	16,87	37,58	16,87	46,45	45,79	45,79	45,79	45,79	45,79
15	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	18,53	48,48	18,53	38,86	45,85	45,85	45,85	45,85	45,85
2	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	31,14	4,73	31,14	64,14	45,65	45,65	45,65	45,65	45,65
9	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	31,55	3,88	31,55	64,59	45,65	45,65	45,65	45,65	45,65
3	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	57,07	7,00	35,72	45,88	45,88	45,88	45,88	45,88
18	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	32,18	2,61	32,18	65,31	45,65	45,65	45,65	45,65	45,65
10	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	33,23	0,00	33,23	66,77	45,61	45,61	45,61	45,61	45,61
13	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	33,23	0,00	33,23	66,77	45,61	45,61	45,61	45,61	45,61
14	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	33,23	0,00	33,23	66,77	45,61	45,61	45,61	45,61	45,61
11	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	33,33	66,67	45,63	45,63	45,63	45,63	45,63
12	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	33,33	66,67	45,63	45,63	45,63	45,63	45,63
25	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	33,33	66,67	45,63	45,63	45,63	45,63	45,63
26	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	33,33	66,67	45,63	45,63	45,63	45,63	45,63
27	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	33,33	66,67	45,63	45,63	45,63	45,63	45,63
28	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	33,33	66,67	45,63	45,63	45,63	45,63	45,63
29	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	33,33	66,67	45,63	45,63	45,63	45,63	45,63
8	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	73,20	0,00	73,20	26,74	45,90	45,90	45,90	45,90	45,90
7	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	72,66	0,00	72,66	27,44	45,83	45,83	45,83	45,83	45,83
24	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	74,44	0,00	74,44	25,56	46,01	46,01	46,01	46,01	46,01
22	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	75,01	0,00	75,01	24,99	46,06	46,06	46,06	46,06	46,06
20	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	69,92	0,00	69,92	30,08	45,52	45,52	45,52	45,52	45,52
5	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	69,06	0,00	69,06	30,84	45,47	45,47	45,47	45,47	45,47
21	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	61,52	0,00	61,52	32,48	45,30	45,30	45,30	45,30	45,30
23	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	67,35	0,00	67,35	32,65	45,28	45,28	45,28	45,28	45,28
6	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	67,22	0,00	67,22	32,78	45,28	45,28	45,28	45,28	45,28
9	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	64,75	0,00	64,75	35,25	44,97	44,97	44,97	44,97	44,97

Figura 10. Listagem das soluções sugeridas pelo Mix.

Após selecionar cada solução e posteriormente clicar no ícone “



” abre-se a tela com detalhes do perfil de sólidos previsto pela rede para aquela solução como mostra a Figura 11:

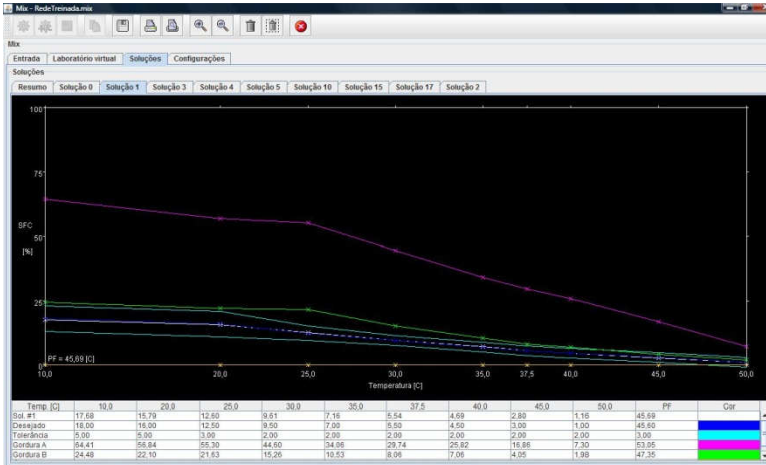


Figura 11. Uma das soluções obtidas pela rede neural.

Esta previsão permite uma análise minuciosa das respostas obtidas, uma vez que o perfil de sólidos desejado pode ser comparado com o previsto pela rede, auxiliando na tomada de decisão.

4.2.1 Escolha das soluções da rede e formulação e avaliação dos shortenings

A rede neural apresentou oito soluções, das quais foram escolhidas quatro, de acordo com os parâmetros técnicos, ou seja, formulações com conteúdo de gordura sólida e ponto de fusão mais próximo ao desejado e com maior variação possível entre as matérias-primas. Estas foram formuladas seguindo as proporções da rede.

As três matérias-primas (Gordura A, B e Óleo) foram aquecidas em forno microondas até que todos os cristais estivessem fundidos (60 – 70 °C), homogêneas e resfriadas. Tanto as gorduras formuladas como a padrão foram caracterizadas quanto a Composição em Ácidos Graxos, Teor de Gordura Sólida - SFC (Solid Fat Content), Ponto de

Fusão (PF), Isoterma de cristalização, Índice de Iodo, conforme metodologia descrita no item 5.3.

4.3 Produção do bolo inglês

O shortening padrão para bolos e os shortenings formulados foram usados na produção dos bolos de acordo com as quantidades descritas na Tabela 5.

Tabela 5. Ingredientes e respectivas quantidades, que foram usados na formulação dos bolos.

Ingredientes	Quantidade
Açúcar	325g
Amido de milho	75g
Fermento em pó	7,5g
Gordura Padrão	125g
Farinha de trigo	400g
Ovos	4 unidades
Leite desnatado	200mL

Os bolos foram produzidos em escala laboratorial como segue: o açúcar e a gordura foram batidos em batedeira elétrica por exatamente 10 minutos, até formar uma emulsão. Em seguida foram adicionados os ovos (1 de cada vez, totalizando 5 minutos de batimento nesta etapa). Os ingredientes secos foram pesados e adicionados lentamente, com batida contínua, ao mesmo tempo em que o leite era adicionado vagarosamente até completa homogeneização. O tempo total do batimento foi de 40 minutos.

A massa foi dividida em quatro formas de alumínio (20 x 10 cm) da marca Boreda totalizando 300 gramas de massa em cada uma. Levou-se ao forno pré-aquecido.

O tempo de cocção foi exatamente de uma hora, à temperatura de 200°C no forno inferior. Após quatro horas do forneamento dos bolos, estes foram mantidos na bandeja de alumínio onde foram assados e

embalados com Filme PVC *transparente* da marca Royal Pack (28cmx30m).

Após quatro horas do forneamento os bolos foram mantidos na bandeja de alumínio onde foram assados e então embalados com filme de PVC *transparente*. Foram cortadas três amostras para cada bolo em forma de cilindro com 4,5cm de diâmetro e 2,5cm de altura. Neste período os bolos foram armazenados no laboratório de Óleos e Gorduras onde as condições de temperatura média foram de 26,25°C e umidade relativa média de 46,43%. As análises nos bolos (conforme item 3.2) foram realizadas nos dias 1, 4 e 7 dias após o forneamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das Matérias-primas

A gordura padrão, o óleo refinado e as gorduras interesterificadas soja-algodão A e B usadas para as formulações foram caracterizados através da Composição em Ácidos Graxos, Teor de Gordura Sólida - SFC (Solid Fat Content), Ponto de Fusão (PF), Isoterma de cristalização, Índice de Iodo, conforme metodologia descrita nos itens 3.2. A Tabela 6 apresenta os resultados das avaliações, sendo estes médias de duplicata da amostra.

Tabela 6. Composição em AG (%) e Índice de Iodo das matérias-primas.

Ácido Graxo	%			
	G. A	G. B	Óleo	Padrão
Ácido Caprílico (C:8)	0,19	0,09	0	0
Ácido Cáprico (C10:0)	0,19	0,08	0	0
Ácido Láurico (C12:0)	2,36	0,77	0	0,15
Ácido Mirístico (C14:0)	1,2	0,4	0,07	0,43
Ácido Palmítico (C16:0)	15,77	11,64	10,05	12,75
Ácido Palmitoléico (C16:1)	0	0	0,1	0,06
Ácido Esteárico (C18:0)	46,06	29,46	3,86	17,75
Ácido Elaídico (C18:1 <i>t</i>)	1,07	0,65	0	16,37
Ácido Oléico (C18:1)	9,2	17,4	21,14	41,35
Ácido Linolelaídico C18:2 <i>t</i>	0,19	0,61	0,19	2,78
Ácido Linoléico (C18:2)	22,32	34	55,35	6,69
Ácido Linolênico (C18:3)	0,17	3,4	7,55	0,46
Ácido Araquídico (C20:0)	0,49	0,49	0,35	0
Ácido Gadoléico (C20:1)	0	0,15	0,16	0,13
Ácido Behênico (C22:0)	0,31	0,47	0,38	0,5
Ácido Lignocérico (C24:0)	0,15	0,18	0,15	0,18
Índice de Iodo	49,89	51,07	140,99	67,76
Σ Saturados	66,72	43,58	14,86	31,76
Σ Monoinsaturados	10,46	18,81	21,59	60,69
Σ Poliinsaturados	22,68	38,01	63,09	9,93
Σ <i>Trans</i>	1,26	1,26	0,19	19,15

Analisando os valores dos ácidos graxos palmítico, esteárico, elaídico, oléico e linoléico, presentes na gordura padrão, estima-se que esta seja proveniente de óleos vegetais hidrogenados de soja e de palma, já que o fabricante não informa a procedência da matéria-prima utilizada. Apenas descreve como sendo proveniente de “Óleos vegetais hidrogenados, estabilizantes: monoestearato de propilenoglicol, mono e diglicerídeos de ácidos graxos e polisorbato 60, antioxidantes: BHT e ácido cítrico”.

Os valores de ácido palmítico nas gorduras A (15,77%), B (11,64%) e óleo de soja (10,05%) estão de acordo com os encontrados na literatura como reportado por Almeida (2008) no Desenvolvimento e aplicação de gordura low *trans* em margarina e bolo tipo inglês, onde encontrou valores de 23% para ácido palmítico em óleos líquidos de algodão e 11,1% em soja. Ribeiro *et al.* (2009) ao determinar a composição em ácidos graxos do óleo de soja refinado e óleo de soja totalmente hidrogenado, obteve 23,17 e 0,11% para ácido oléico, 11,3 e 11,5% para ácido palmítico, 3,4 e 86,6% para ácido esteárico, 54,8 e 0,18% para ácido linoléico e 5,4 em ácido linolênico, respectivamente.

O ácido palmítico tem grande participação na plasticidade das gorduras e também pela cristalização na forma β' , sendo essa essencial na maioria dos produtos (JEYARANI; REDDY, 2003), justificando assim o estudo de shortenings contendo óleo de algodão em sua composição e comparação indireta de sua funcionalidade com a de shortenings a base de óleo de soja.

Dogan *et al.* (2007) ao avaliar os efeitos da interesterificação de óleo de palma e blends de óleo de algodão na qualidade dos bolos, reportou valores de ácido elaídico de 14,18% para shortening hidrogenado. Ao determinar a composição em ácidos graxos do óleo de palma e algodão interesterificados, obtiveram para ácido esteárico 5,30% e 2,37, respectivamente. Já para ácido oléico e linoléico em óleo de algodão interesterificado encontraram 18,89 e 56,35 respectivamente, estes justificam os valores encontrados na gordura base A. A gordura base A, apresenta aproximadamente 70% de OSTH e 30% de óleo de algodão, já a gordura base B, 40% de OSHT e 60% de óleo de soja, aproximadamente. As matérias-primas estudadas apresentaram em média 0,9% de AGT, podendo atribuir-se a isto a ocorrência de temperaturas altas de desodorização que levaram os óleos a apresentarem isômeros de duplas ligações ou durante o processo de hidrogenação. O valor encontrado para Índice de Iodo no óleo de soja está de acordo com o reportado por outros autores. Firestone (1999) e Ribeiro *et al.* (2009), reportaram para óleo de soja o valor de 135%.

Através do Conteúdo de Gordura sólida das gorduras bases A, B e óleo e da gordura padrão, apresentados na Tabela 7 e Figura 12, observou-se que a gordura Base A, apresenta-se mais dura e com maior faixa de plasticidade em relação à gordura base B. Essa observação justifica-se pelo fato de a Gordura base A ter sido interesterificada com óleo de algodão, apresentando um ponto de fusão mais alto.

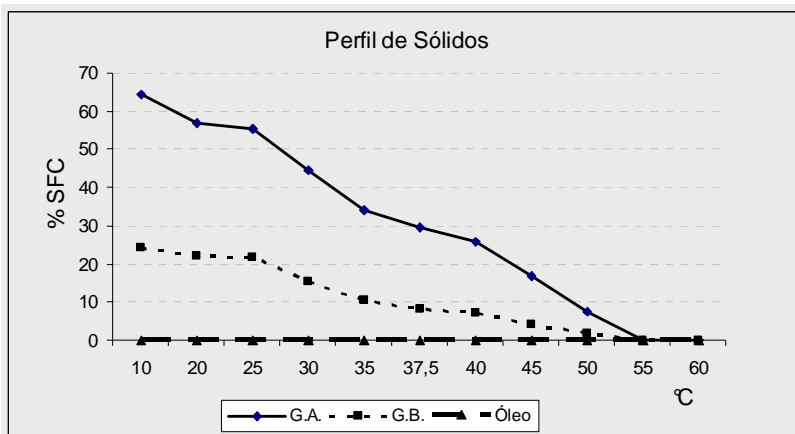


Figura 12. Curva de Gordura Sólida (% SFC) das matérias-primas.

Um maior teor de ácidos graxos saturados também é observado, caracterizado pela maior quantidade de gordura totalmente hidrogenada utilizada na formulação.

Almeida (2008) observou que a reação de interesterificação modificou o comportamento físico-químico das novas gorduras. Após a randomização entre os ácidos graxos dos óleos líquidos (algodão e soja) com a gordura praticamente 100% saturada de Palma Totalmente Hidrogenada (PTH) houve diversificação na distribuição dos AG presentes e novos TAG foram formados. Geralmente as misturas interesterificadas estão completamente fundidas (% SFC = 0) em temperaturas menores que a de suas correspondentes misturas não interesterificadas.

Com a necessidade de gorduras com uma grande faixa de plasticidade para utilização na indústria de panificação a proporção de gordura sólida presente em várias temperaturas é utilizada para o treinamento de redes neurais com o intuito de encontrar soluções para diferentes formulações de gordura para produção de bolos.

Tabela 7. Conteúdo de Gordura Sólida (%SFC) das matérias-primas e gordura padrão.

	% SFC									PF
	10 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35°C	37,5 °C	40 °C	45 °C	50 °C	
Gordura A	64,41	56,84	55,3	44,6	34,06	29,74	25,82	16,86	7,3	53,05
Gordura B	24,48	22,1	21,63	15,26	10,53	8,06	7,06	4,05	1,98	47,35
Óleo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Padrão	52,02	27,46	18,33	10,97	6,18	4,11	3,16	0,66	0	45

5.2 Formulações através das redes neurais


A partir das características do teor de sólidos e ponto de fusão da gordura padrão, obtidos na caracterização da matéria-prima, inseriram-se os valores desejados em cada temperatura utilizando as três matérias-primas com as quais a rede foi treinada. Utilizando-se a ferramenta de “Busca” convencional e “Busca por soluções aproximadas” foram solicitadas à rede formulações com o teor de sólidos e ponto de fusão desejados, de acordo com a aplicação requerida.

Devido às características das gorduras interesterificadas, não se obteve soluções, tornando necessário trabalhar com o “Laboratório Virtual”. Essa ferramenta permite que o pesquisador trabalhe manualmente, ajustando os valores de teor de sólidos - SFC das Gorduras A, B e Óleo em cada temperatura desejada. Estabeleceu-se então, nas temperaturas 30°C, 35°C, 37,5°C e 40°C os valores aproximados da gordura padrão e nas temperaturas 10°C, 20°C e 25°C valores abaixo da gordura padrão. Solicitou-se novamente à rede até que fossem listadas aproximadamente seis formulações diferentes.

Soluções	Solução 0	Solução 1	Solução 3	Solução 4	Solução 5	Solução 10	Solução 15	Solução 17	Solução 2	Gordura A (%)	Gordura B (%)	Óleo (%)	PF (C)
4	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,15	32,68	32,68	49,18	49,18	45,76	
18	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,14	34,72	34,72	48,14	48,14	45,76	
11	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,04	21,05	21,05	55,11	45,69	45,78	
17	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,53	36,21	36,21	47,26	45,78	45,78	
19	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,87	37,66	37,66	46,45	45,79	45,79	
15	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,65	48,49	48,49	39,96	45,85	45,85	
2	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,14	4,73	4,73	64,14	45,65	45,65	
0	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,85	1,86	1,86	64,99	45,65	45,65	
1	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,20	57,07	57,07	35,72	45,89	45,89	
16	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,18	2,51	2,51	65,31	45,65	45,65	
10	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,23	0,00	0,00	66,77	45,61	45,61	
13	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,23	0,00	0,00	66,77	45,61	45,61	
14	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,23	0,00	0,00	66,77	45,61	45,61	
11	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	0,00	66,67	45,63	45,63	
12	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	0,00	66,67	45,63	45,63	
25	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	0,00	66,67	45,63	45,63	
26	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	0,00	66,67	45,63	45,63	
27	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	0,00	66,67	45,63	45,63	
28	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	0,00	66,67	45,63	45,63	
29	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	0,00	66,67	45,63	45,63	
8	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,26	0,00	0,00	26,74	45,90	45,90	
7	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,56	0,00	0,00	27,44	45,83	45,83	
24	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	74,44	0,00	0,00	25,56	46,01	46,01	
22	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,01	0,00	0,00	24,99	46,08	46,08	
20	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,56	0,00	0,00	10,43	45,52	45,52	
5	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,06	0,00	0,00	10,94	45,47	45,47	
21	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	87,52	0,00	0,00	12,48	45,30	45,30	
23	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	87,35	0,00	0,00	12,65	45,29	45,29	
9	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,22	0,00	0,00	10,78	45,26	45,26	
3	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,75	0,00	0,00	15,25	44,97	44,97	

Figura 13. Listagem das soluções sugeridas pelo Mix.

Ao selecionar cada solução e posteriormente clicar no ícone

“” abre-se a tela com detalhes do perfil de sólidos previsto pela rede para aquela solução como mostra a Figura 14:

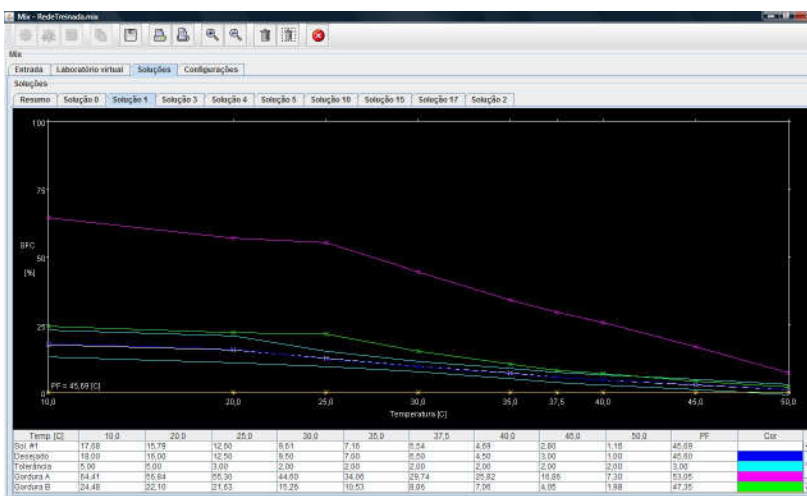


Figura 14. Uma das soluções obtidas pela rede neural.

O SFC das gorduras (base A e B) e da gordura padrão pode ser visualizado na Tabela 8:

Tabela 8. Valores solicitados em diferentes temperaturas à rede neural.

	% SFC									
	10 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35°C	37,5 °C	40 °C	45 °C	50 °C	PF
Base A	64,41	56,84	55,3	44,6	34,06	29,74	25,82	16,86	7,3	53,05
Base B	24,48	22,1	21,63	15,26	10,53	8,06	7,06	4,05	1,98	47,35
Padrão	52,02	27,46	18,33	10,97	6,18	4,11	3,16	0,66	0	45,00
Solicitado	18,0	16,0	12,50	9,50	7,00	5,50	4,50	3,00	1,00	45,60
Tolerância	5,0	5,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0

Através do perfil de sólidos solicitado, a rede encontrou 18 diferentes soluções, sendo que as 4 formulações com menor erro foram utilizadas. Estas, juntamente com seus perfis de sólidos (previsto pela rede e determinado experimentalmente) são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9. Perfil de sólidos das formulações previstas pela rede e determinadas experimentalmente (D.E.).

	% SFC									
	10 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35°C	37,5 °C	40 °C	45 °C	50 °C	PF
Solicitado	18,0	16,0	12,50	9,50	7,00	5,50	4,50	3,00	1,00	45,60
Solução 1	17,68	15,79	12,60	9,61	7,16	5,54	4,69	2,80	1,16	45,69
D.E. 1	19,21	16,30	13,10	10,23	7,67	6,42	5,33	3,35	1,40	43,3
Solução 3	17,23	16,28	13,13	9,58	6,89	5,42	4,57	2,65	1,04	45,89
D.E. 3	19,91	17,97	13,90	10,41	7,59	6,18	5,59	3,08	1,43	43,1
Solução 5	15,71	15,08	12,47	8,87	6,26	5,01	4,21	2,44	0,75	45,47
D.E. 5	17,34	15,77	11,90	8,60	6,33	4,91	4,15	2,41	0,58	40,5
Solução 17	17,57	16,13	12,73	9,58	7,04	5,46	4,61	2,70	1,15	45,78
D.E. 17	19,82	17,11	13,33	10,45	7,42	6,08	5,28	2,89	1,06	42,7

Os perfis de sólidos previstos pela rede e determinados experimentalmente são semelhantes, apresentando pouca diferença entre 25°C e 35°C, que são temperaturas importantes para produtos como shortenings, pois representam a temperatura ambiente e de fusão na boca.

De acordo com os resultados de SFC e ponto de fusão determinados após a elaboração das formulações selecionadas, verificou-se que a rede apresenta previsibilidade muito boa em relação aos valores de SFC, os quais se apresentaram muito similares para todas

as formulações propostas selecionadas para o perfil solicitado. O ponto de fusão também apresentou valores muito próximos ao previsto pela rede, o que foi bastante favorável, já que na indústria de produtos gordurosos a faixa de variação que se trabalha chega até $\pm 4^{\circ}\text{C}$.

A eficiência da rede neural, construída e treinada com gorduras interesterificadas, para formular “Blends” também foi verificada por Gandra *et al.* (2009), utilizando como dados de entrada o SFC nas temperaturas de 10, 20, 25, 30, 37,5 e 40°C .

Assim como a rede previu, a solução com menor erro foi a solução 1 com 0,18%, condizendo com os valores determinados experimentalmente para SFC, PF e com o valor solicitado à rede neural. A Tabela 10 mostra as soluções previstas pela rede e suas respectivas porcentagens de erro.

Tabela 10. Soluções previstas pela rede neural com menor porcentagem de erro.

	% de Gordura			
	Erro	A	B	Óleo
Solução 1	18%	23,04	21,85	55,11
Solução 3	30%	7,20	57,07	35,72
Solução 5	77%	0,00	69,06	30,94
Solução 17	19%	16,53	36,21	47,26

A gordura base A é constituída de óleo de soja totalmente hidrogenado interesterificado com 30% de óleo de algodão e a base B de óleo de soja totalmente hidrogenado interesterificado com 60 % de óleo de soja. A partir disso, justificando o maior teor de ácidos graxos saturados da Gordura A em relação a gordura B.

As formulações apresentaram concentração de ácidos graxos saturados semelhantes à gordura padrão, menor concentração de monoinsaturados, maior de poliinsaturados e menor de ácidos graxos *trans*.

Quanto maior é o índice de instauração de um óleo maior será o índice de iodo. O óleo de soja tem o índice de iodo em torno de 123. Um óleo de soja totalmente hidrogenado tem o índice de iodo entre 2 e 5. Idealmente seria um índice nulo, porque todos os ácidos graxos seriam saturados. Durante a hidrogenação, o índice de iodo vai diminuindo. Através dos resultados de índice de iodo das formulações, observamos

que os valores variaram de 99,86 a 104,11 estando próximos ao índice de iodo do óleo de soja condizendo com a matéria-prima utilizada. Já a gordura padrão obteve o valor de 67,76 para índice de iodo, estando relacionado a matéria-prima utilizada conforme descrito pelo fabricante “óleos vegetais hidrogenados”.

Tabela 11. Composição em ácidos graxos e índice de iodo da gordura padrão e das formulações.

Ácido Graxo	F1	F3	F5	F17	Padrão
Ácido Caprílico (C:8)	0,06	0,06	0,06	0,06	0
Ácido Cáprico (C10:0)	0,06	0,06	0,05	0,06	0
Ácido Láurico (C12:0)	0,71	0,60	0,53	0,66	0,15
Ácido Mirístico (C14:0)	0,40	0,33	0,29	0,37	0,43
Ácido Palmítico (C16:0)	11,71	11,36	11,14	11,57	12,75
Ácido Palmitoléico (C16:1)	0,05	0,03	0,03	0,04	0,06
Ácido Esteárico (C18:0)	19,17	21,50	21,53	20,10	17,75
Ácido Elaídico (C18:1 <i>t</i>)	0,38	0,44	0,44	0,41	16,37
Ácido Oléico (C18:1)	17,57	18,14	18,55	17,82	41,35
Ácido Linolelaídico C18:2 <i>t</i>	0,28	0,42	0,48	0,34	2,78
Ácido Linoléico (C18:2)	43,07	40,78	40,60	42,18	6,69
Ácido Linolênico (C18:3)	4,94	4,64	4,68	4,83	0,46
Ácido Araquídico (C20:0)	0,41	0,43	0,44	0,42	0
Ácido Gadoléico (C20:1)	0,12	0,14	0,15	0,12	0,13
Ácido Behênico (C22:0)	0,38	0,42	0,44	0,40	0,5
Ácido Lignocérico (C24:0)	0,15	0,16	0,17	0,16	0,18
Índice de Iodo	104,11	100,22	99,86	102,35	67,76
Σ Saturados	33,08	34,98	34,69	33,84	31,76
Σ Monoinsaturados	18,42	19,20	19,67	18,75	60,69
Σ Poliinsaturados	48,30	45,86	45,77	47,35	9,93
Σ <i>Trans</i>	0,67	0,88	0,93	0,75	19,15

Analisando os valores dos ácidos graxos palmítico, esteárico, elaídico, oléico e linoléico, presentes na gordura padrão, estima-se que esta seja proveniente de óleos vegetais hidrogenados de soja e de palma, já que o fabricante não informa a procedência da matéria-prima utilizada além de “Óleos vegetais hidrogenados, estabilizantes: monoestearato de propilenoglicol, mono e diglicerídeos de ácidos graxos e polisorbato 60, antioxidantes: BHT e ácido cítrico”.

O ácido palmítico é o principal ácido graxo saturado presente em derivados da palma. Seus valores variaram de 11,14% a 11,71% mantendo-se muito próximo ao da gordura padrão 12,75%. Este valor

está de acordo ao reportado por RIBEIRO *et al.* (2009) em *blends* de óleo de soja e óleo de soja totalmente hidrogenado.

O ácido esteárico é característico de gordura hidrogenada de soja e com 19,17% a 21,53 ficou pouco acima da gordura padrão, esta com 17,75%. O ácido linoléico é o principal ácido graxo do óleo de soja o que justifica sua alta concentração em todas as formulações de 40,60% a 43,07%. As formulações apresentaram baixas concentrações de ácidos graxos *trans*, tornando possível sua especificação como “produto zero *trans*”, pois de acordo com a legislação brasileira alimentos com valor menor ou igual a 0,2g de ácidos graxos *trans* na porção são considerados “livres de *trans*” ou “zero *trans*”.

O comportamento de cristalização de lipídios tem implicações muito importantes, principalmente no processamento industrial de produtos cujas características dependem, em grande parte, dos cristais de gorduras, como chocolates, manteigas, margarinas e shortenings (SATO, 2001).

A isoterma de cristalização da gordura padrão foi comparadas às 4 formulações elaboradas propostas pela rede neural.

Os resultados obtidos permitem observar as diferenças na velocidade de cristalização e no teor final de gordura sólida das amostras na temperatura de estudo (25°C), a qual foi determinada para representar uma condição ambiente.

Os parâmetros avaliados na isoterma da gordura padrão e os respectivos shortenings formulados, são mostrados na Figura 15 que apresenta o teor de sólidos em função do tempo da gordura padrão comparada às 4 formulações propostas.

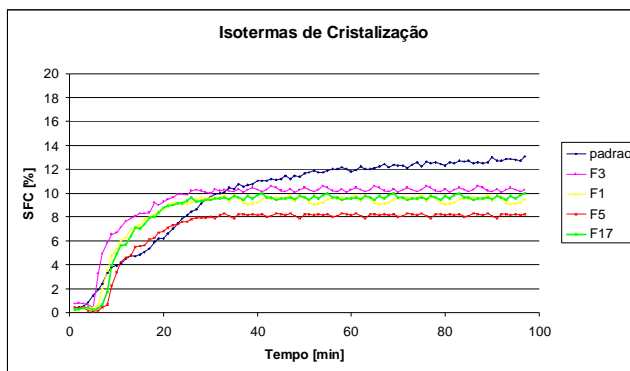


Figura 15. Curva de cristalização isotérmica (25°C) da gordura padrão e shortenings formulados.

Os shortenings formulados pela rede apresentaram cristalização mais lenta que a gordura padrão. Desta maneira, observa-se que produtos contendo gorduras interesterificadas tendem a cristalizar mais lentamente, já que a gordura padrão trata-se de uma gordura proveniente de óleos vegetais hidrogenados de soja e de palma, e as formulações da rede são elaboradas a partir de bases interesterificadas de óleo de soja.

Na Gordura padrão o período de nucleação, ou seja, o tempo de início da formação dos cristais foi muito similar às formulações propostas pela rede.

O teor máximo de sólidos (% máxima de sólidos obtida na temperatura de análise) foi maior para a gordura padrão, diferindo-se pouco das formulações F3 e 17, apresentando maior diferença em relação à formulação F5.

Tabela 12. Tempos de indução em minutos (τ_{SFC}) e SFC máximo da gordura padrão e formulações a 25°C.

Formulação	τ_{SFC} (min)	SFC_{max} (%)	K	n
P	4	13,1	0,020838	1,886
F1	7	9,8	0,015511	1,6435
F3	5	10,6	0,071755	1,117
F5	8	8,3	0,014138	1,5946
F17	7	10,0	0,034184	1,1131

A teoria de Avrami considera que a cristalização ocorre tanto pela nucleação quanto pelo crescimento dos cristais e assume que as condições de transformação são isotérmicas, que a nucleação ocorre espacial e arbitrariamente e que a cinética de crescimento é linear, em que a velocidade de crescimento da nova fase depende apenas da temperatura, e não do tempo (WRIGHT *et al.*, 2000).

Os parâmetros de Avrami fornecem informações sobre a natureza do processo de cristalização. A constante k é a constante da velocidade de cristalização. Depende principalmente da temperatura de cristalização e esta dependência é geralmente expressa pela equação de Arrhenius. A constante k leva em consideração tanto a nucleação quanto a taxa de crescimento dos cristais. O expoente de Avrami n , às vezes chamado de índice de cristalização, indica o mecanismo de crescimento dos cristais. Este parâmetro é uma função combinada da dependência do tempo por

parte da nucleação e do número de dimensões em que o crescimento ocorre.

A gordura padrão e as formulações apresentaram valores de n de 1,11 a 1,88 sugerindo que o crescimento dos cristais ocorreu tomando formas de agulha a partir de núcleos esporádicos, ou seja, com o número de núcleos aumentando linearmente com o tempo. A velocidade de cristalização da gordura padrão foi de 0,02/min sendo que as formulações variaram de 0,01 a 0,07/min.

Rodrigues (2006) em seu estudo do desenvolvimento de lipídios estruturados obtidos a partir de gordura do leite, óleo de girassol e ésteres de fitosteróis para aplicação em *spreads*, reportou valores de n até 1 o que significa um crescimento em forma de agulha a partir de núcleos instantâneos, comportamento característico de gorduras cristalizadas a baixas temperaturas. Neste caso, onde as amostras foram cristalizadas a 10°C, todas as misturas apresentaram valores de n inferiores a 1. Os valores de k , que refletem a velocidade de cristalização das misturas, não apresentaram uma seqüência de aumento ou diminuição em função da adição de outros componentes, mas apresentaram-se todos dentro de uma pequena faixa, entre 0,13 e 0,31/min.

Almeida (2008), reportou valores do período de indução das gorduras de algodão e palma totalmente hidrogenada a 25°C de 4 para 7 minutos antes e depois da reação química, obtidos a partir das curvas de cristalização condizendo com os valores encontrados nas formulações F1 e F17 (7 minutos) promovendo uma cristalização lenta.

5.3 Produção de bolos tipo inglês

Os bolos do tipo inglês foram formulados com a gordura padrão e as gorduras formuladas pela rede neural.

Durante o preparo dos bolos todos os shortenings formulados apresentaram uma boa capacidade de formar emulsão inicial com a adição do açúcar, e incorporar a gordura aos restantes dos ingredientes, obteve-se uma massa lisa e homogênea. As gorduras não foram adicionadas de nenhum tipo de conservante ou estabilizante para melhorar a aparência.

Massas de bolo são constituídas por um sistema bifásico: gorduras + outros ingredientes da mistura. A fase gordurosa apresenta-se dispersa de forma irregular com partículas de forma e tamanho variados. Internamente às partículas de gordura são encontradas

inúmeras bolhas de ar incorporadas durante o processo de mistura e batimento. A formação de estrutura uniforme dos alvéolos é de grande importância para a qualidade de massas assadas. Uma boa emulsão estável permite boa evaporação da água e expansão do gás carbônico liberado, resultado das reações do fermento (ESTELLER *et al.*, 2006).



Figura 16. Incorporação dos ingredientes secos à emulsão gordura e açúcar (a) e massa do bolo pré – forno (b).

A massa foi dividida em três formas de alumínio (20 x 10cm) da marca Boreda totalizando 300 gramas de massa em cada uma. Levou-se ao forno pré-aquecido.

O tempo de cocção foi exatamente de uma hora, à temperatura de 200°C no forno inferior para todas as formulações. O que pode ter sido um agravante nos parâmetros de textura dos bolos das formulações estudadas, já que esse tempo de forneamento foi utilizado com base no tempo de cocção da formulação padrão. Após quatro horas do forneamento dos bolos, estes foram mantidos na bandeja de alumínio onde foram assados e embalados com Filme PVC transparente da marca Royal Pack (28cmx30m).

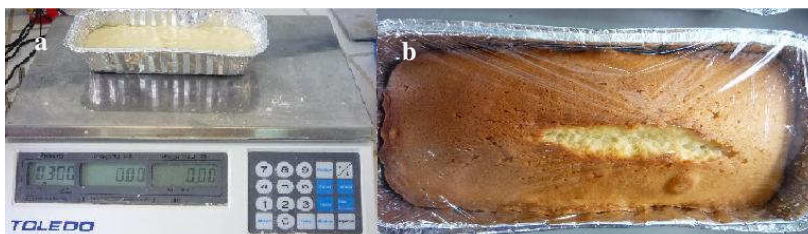


Figura 17. Bandeja com 300g de massa (a) e bolo assado e embalado (b).

Todas as formulações seguiram o mesmo procedimento de preparo da massa e forneamento, de modo que a única fonte de variação

fosse o shortening utilizado. Os bolos foram avaliados após 1, 4 e 7 dias após o forneamento. Neste período os bolos foram armazenados no laboratório de Óleos e Gorduras onde as condições de temperatura média foram de 27,3°C (máx) e 25,2°C (mín.) e umidade relativa média de 57,25% (máx.) e 35,62% (mín.). A qualidade dos bolos é determinada por características essenciais, como: textura macia, que deve permanecer inalterada ao longo da vida de prateleira do produto; superfície uniforme; homogeneidade do miolo; volume adequado; palatabilidade e sabor agradável; e facilidade de processamento. Estes atributos estão diretamente relacionados à qualidade dos ingredientes e seu balanceamento ao tipo de processamento (PAVANELLI; CICHELO; PALMA, 2000).

5.4 Altura dos bolos

A altura do bolo esta diretamente relacionada à quantidade de ar que a massa incorpora fazendo com que o bolo cresça. Muitos fatores interferem nesse processo, bem como o estabilizante utilizado na gordura.

Podemos verificar pelos resultados demonstrados na Tabela 13 que todas as formulações dos bolos analisados foram estatisticamente iguais ao padrão.

Levando em consideração que a gordura padrão possui em sua formulação estabilizante, o que da uma textura esponjosa ao bolo, e conseqüentemente elevando sua altura concluímos que as formulações estudadas apresentaram ótima incorporação de ar à massa.

Tabela 13. Valores de altura dos bolos para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Altura (cm)		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	5,8 ± 0,36 ^{aA}	5,2 ± 0,20 ^{aB}	5,4 ± 0,11 ^{aAB}
F 3	5,6 ± 0,2 ^{aA}	5,0 ± 0,34 ^{aA}	5,3 ± 0,3 ^{aA}
F 5	5,6 ± 0,30 ^{aA}	5,4 ± 0,10 ^{aA}	5,1 ± 0,30 ^{aA}
F 17	5,8 ± 0,46 ^{aA}	5,7 ± 0,30 ^{aA}	5,4 ± 0,43 ^{aA}
P	6,0 ± 0,26 ^{aA}	5,2 ± 0,40 ^{aA}	5,4 ± 0,49 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

5.5 Volume específico e densidade dos bolos

O volume específico e a densidade evidenciam a relação entre o teor de sólidos e a fração de ar existente na massa assada. Massas com densidade alta ou volume específico baixo, chamadas de embatumadas, apresentam aspecto desagradável ao consumidor. Tais falhas são associadas com o alto teor de umidade, falhas no batimento e cocção, pouca aeração, difícil mastigação, sabor impróprio e baixa conservação. Neste sentido, os bolos necessitam de quantidade adequada de líquidos, fermento químico, emulsificante e aeração adequados. Massas com grande volume (maior fração ar / sólidos) caracterizam-se por uma granulometria mais aberta e menor densidade (ESTELLER *et al.*, 2006).

Tabela 14. Valores de volume específico dos bolos para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Volume específico (mL/g)		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	2,40 ± 0,05 ^{abA}	2,48 ± 0,28 ^{aA}	2,40 ± 0,15 ^{aA}
F 3	2,33 ± 0,10 ^{abA}	2,37 ± 0,10 ^{aA}	2,33 ± 0,06 ^{aA}
F 5	2,27 ± 0,23 ^{bA}	2,38 ± 0,28 ^{aA}	2,35 ± 0,10 ^{aA}
F 17	2,26 ± 0,15 ^{bA}	2,35 ± 0,32 ^{aA}	2,35 ± 0,16 ^{aA}
P	2,74 ± 0,19 ^{aA}	2,86 ± 0,23 ^{aA}	2,75 ± 0,29 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Apesar das formulações estudadas não serem estatisticamente iguais ao padrão utilizado, a formulação F5 e F17 estão de acordo com os valores encontrados por Gutkoski *et al.* (2009) em seu estudo sobre a Influência dos teores de aveia e de gordura nas características tecnológicas e funcionais de bolos. Onde relatou valores de volume específico dentro da faixa de 1,6mL/g (60% de aveia e 45% de gordura) a 2,2mL/g (10% de aveia e 15%) de gordura) sendo menor na formulação com maior quantidade de gordura provavelmente pelos altos teores utilizados nas formulações. O volume específico sofreu influência

linear negativa da quantidade de gordura utilizada nas formulações. Já Zambrano *et al.* (2005), não verificaram influência no volume específico dos bolos ao empregar as gomas guar e xantana como substitutos de gordura.

Esteller *et al.* (2006) verificou para suas amostras com pó de cupuaçu e kefir, volume específico com variações significativas ($p < 0,05$) de 1,48 – 2,17ml/g e para o bolo controle, volume específico de 2,03mL/g.

Os bolos quando comparados com outros produtos derivados de trigo como pães e biscoitos, pelo seu alto teor de líquidos, apresentam-se como produtos macios e aerados, com menor volume específico e maior densidade da massa (ESTELLER *et al.*, 2005).

Tabela 15. Valores da densidade dos bolos para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem

	Densidade (g/mL)		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	0,41 ± 0,01 ^{abA}	0,40 ± 0,05 ^{aA}	0,41 ± 0,02 ^{abA}
F 3	0,42 ± 0,02 ^{abA}	0,42 ± 0,01 ^{aA}	0,42 ± 0,01 ^{bA}
F 5	0,44 ± 0,04 ^{abA}	0,42 ± 0,05 ^{aA}	0,42 ± 0,01 ^{bA}
F 17	0,44 ± 0,03 ^{aA}	0,42 ± 0,06 ^{aA}	0,43 ± 0,01 ^{bA}
P	0,36 ± 0,02 ^{bA}	0,34 ± 0,03 ^{aA}	0,36 ± 0,03 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Dentre as formulações analisadas nesse trabalho, nenhuma delas foi estatisticamente igual ao padrão utilizado, porém, as formulações F1, F3 e F5 são estatisticamente iguais entre si no primeiro dia de análise, com valores entre 0,42g/mL e 0,44g/mL, sendo estes, menores que os encontrados por Gutoski *et al.* (2005).

Os valores de densidade são relacionados com a quantidade de gordura e emulsificante utilizados nas formulações. Bolos com maior concentração de gordura apresentam maior retenção de ar na massa resultando em menor densidade. Assim confirmou Gutoski *et al.* (2005) ao analisar uma formulação com 51,2% de gordura onde obteve uma massa com menor densidade (0,85g/mL). Em contrapartida, a formulação com 8,7% de gordura, apresentou maior densidade (1,16g/mL).

Esteller *et al.* (2006) relatou valores para a densidade de (0,50g/mL) para o controle e (0,46 – 0,68g/mL) para as demais formulações de bolo de chocolate produzido com pó de cupuaçu e kefir.

5.6 Textura dos bolos

Todos os bolos foram produzidos no mesmo dia e foram submetidos à análise de perfil de textura (TPA) no dia seguinte ao forneamento: 1 dia, com 4 dias e 7 dias, com a intenção de se observar o comportamento da gordura no bolo e possíveis alterações na textura.

A dureza ou firmeza do bolo, avaliada por métodos instrumentais (texturômetros) é proporcional à força aplicada para ocasionar uma deformação ou rompimento da amostra e está relacionada com a mordida humana durante a ingestão dos alimentos (ESTELLER *et al.*, 2004a).

A força máxima avaliada, para alimentos dessa natureza, é dependente da formulação (qualidade da farinha, quantidade de açúcares, gorduras, emulsificantes e ovos), umidade da massa e conservação (tempo de fabricação do produto e embalagem).

No processo de batimento da massa, apesar da forte agitação e velocidade das pás, os ingredientes não são solubilizados completamente. Ocorre liberação de gás carbônico antes e durante o forneamento.

Durante a cocção, também, volatilização do vapor d'água da massa e formação de uma matriz complexa de amido gelatinizado e proteínas, que aprisionam o material volátil e formam alvéolos de tamanhos variados. Esses “colchões” de ar, distribuídos de forma não uniforme, podem representar, em uma mesma amostra, variações nos valores de firmeza e influenciar em outros parâmetros de textura. Bolos com altos valores de umidade, gordura e açúcar, exercem efeito amaciante na massa. Bolo com excessivo tempo de forneamento ou que tenha perdido de alguma forma a umidade (embalagem aberta, por exemplo), apresenta-se com massa firme que necessita de maior salivação e mastigação (ESTELLER *et al.*, 2004a,b).

As análises dos resultados de textura apontam para valores altos de dureza (ou menor maciez) para miolo com pouca umidade. As formulações foram significativamente diferentes do padrão, onde estas podem estar relacionadas o tempo de forneamento (uma hora), o qual foi igual para todas as formulações e por não haver adição de emulsificante.

Tabela 16. Valores de dureza para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Dureza (gf)		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	2684,04 + 507,56 ^{cA}	6654,64 + 1352,16 ^{bB}	6121,74 + 1327,23 ^{bB}
F 3	3471,42 + 513,78 ^{bA}	5806,59 + 1060,38 ^{bB}	6109,70 + 1364,69 ^{bB}
F 5	3324,02 + 641,09 ^{bcA}	6487,71 + 782,48 ^{bB}	6403,63 + 1175,45 ^{bB}
F17	2716,97 + 559,32 ^{bcA}	5509,07 + 2369,58 ^{bB}	6792,50 + 2228,02 ^{bB}
P	1357,36 + 590,05 ^{aA}	2489,13 + 1025,71 ^{aB}	3375,96 + 988,73 ^{aB}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Bolos *low trans* mais firmes que o controle, também foi encontrado por Almeida (2008), pois gorduras *low trans* apresentam maior teor de AG saturados em sua composição o que certamente influenciou na plasticidade e funcionalidade das gorduras quando aplicadas em alimentos.

Sabe-se que a incorporação do ar está relacionada com as características oferecidas pela gordura e pelo emulsificante, como descrito por Sowmya *et al.* (2009), no estudo do efeito da substituição de gordura com óleo de gergelim e aditivos na reologia, microestrutura, características de qualidade e perfil de ácidos graxos de bolos onde verificou-se o efeito dos emulsificantes sobre a análise do perfil de textura de bolo com 50% de óleo de gergelim e mostrou que a adição de Monoestearato de glicerol (GMS) e o Estearoil-2-lactato (SSL) reduziu a dureza, gomosidade e valores de mastigabilidade do bolo controle com gordura e bolo com 50% de óleo de gergelim.

Aumento na umidade da massa, presença de sacarose e ingredientes com propriedades umectantes, tempo de estocagem e embalagem influenciarão na adesividade avaliada em texturômetros (ESTELLER *et al.*, 2006). Os valores obtidos para adesividade no primeiro dia de análise foram estatisticamente iguais de todas as formulações com o padrão.

Tabela 17. Valores de adesividade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

Adesividade (gf/s)			
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	-1,36 + 0,86 ^{aA}	-1,29584 + 0,58 ^{abA}	-1,03557 + 0,42 ^{aA}
F 3	-1,71 + 0,91 ^{aA}	-1,11705 + 0,48 ^{abA}	-1,04437 + 0,47 ^{aA}
F 5	-1,60 + 0,80 ^{aB}	-0,75343 + 0,44 ^{ba}	-1,06654 + 0,08 ^{aAB}
F17	-1,39 + 0,79 ^{aA}	-0,95220 + 0,94 ^{ba}	-0,97135 + 0,35 ^{aA}
P	-1,30 + 0,93 ^{aAB}	-2,06299 + 0,95 ^{aB}	-0,92774 + 0,61 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

As formulações F1, F3 e F4 apresentaram valores iguais estatisticamente com o passar dos dias de armazenagem para adesividade. Valores de adesividade de 0,001-0,004mJ são considerados bastante baixos levando-se em consideração a grande porcentagem de açúcares nas formulações, tornando a massa bastante pegajosa como relatou Esteller *et al.* (2006) em seu estudo nos parâmetros de qualidade em bolo de “chocolate” produzido com diferentes quantidades de pó de cupuaçu e kefir. Os mesmos resultados foram obtidos anteriormente por Esteller *et al.* (2004) onde o parâmetro de adesividade apresentou o maior variação entre os valores sendo o máximo 2,0g/s⁻¹ ainda assim considerado baixo quando comparado com outros alimentos.

Tabela 18. Valores de elasticidade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

Elasticidade			
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	0,855213 + 0,01 ^{bcA}	0,806643 + 0,02 ^{abB}	0,815339 + 0,009 ^{bb}
F 3	0,836618 + 0,01 ^{cA}	0,826256 + 0,02 ^{abAB}	0,814506 + 0,007 ^{bb}
F 5	0,845129 + 0,01 ^{bcA}	0,827782 + 0,01 ^{abAB}	0,799981 + 0,047 ^{bb}
F17	0,864835 + 0,01 ^{ba}	0,839301 + 0,01 ^{ab}	0,816912 + 0,020 ^{bc}
P	0,799426 + 0,02 ^{aA}	0,705893 + 0,21 ^{ba}	0,756499 + 0,014 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Todas as formulações avaliadas foram significativamente diferentes do padrão, entretanto valores similares de elasticidade foram obtidos por Gómez *et al.* (2007), onde permaneceram entre 0,83 e 0,93 sendo o controle 0,92 onde adicionou diferentes hidrocolóides aos bolos de massa amarela e não obteve mudança significativa no que diz respeito ao controle. A avaliação subjetiva da elasticidade é normalmente feita pelos consumidores e consiste em pressionar ligeiramente o pedaço de alimento, à mão ou com a boca, e verificar a facilidade com que ele retorna ao o tamanho original. Quanto à mudança da elasticidade durante o armazenamento, observou-se decréscimo durante o envelhecimento.

Tabela 19. Valores de coesividade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Coesividade		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	0,51 + 0,02 ^{aA}	0,39 +0,02 ^{aB}	0,815339 +0,02 ^{aB}
F 3	0,52 + 0,02 ^{aA}	0,41+0,02 ^{aB}	0,814506 +0,02 ^{aC}
F 5	0,50 + 0,01 ^{aA}	0,40 +0,01 ^{aB}	0,799981 +0,04 ^{aB}
F17	0,52 + 0,02 ^{aA}	0,43 + 0,02 ^{aB}	0,816912 + 0,02 ^{aC}
P	0,51 + 0,02 ^{aB}	0,47 +0,14 ^{aB}	0,756499 +0,03 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

A coesividade quantifica a resistência interna da estrutura do alimento. Os resultados de coesividade demonstram que as formulações não apresentaram diferença significativa entre si até o sétimo dia de estocagem. Entretanto, verificou-se uma ligeira queda na coesividade dos tratamentos analisados. Isto demonstra que os bolos tornaram-se um pouco propensos à desintegração com o decorrer da estocagem.

Osawa *et al.* (2009), observaram uma diminuição da coesividade a partir do quarto dia de estocagem e também relatou uma propensão à desintegração dos bolos no decorrer dos dez dias de estocagem. Já Gómez *et al.* (2007) observaram que a coesividade do bolo dependia do hidrocolóide adicionado, e quanto ao comportamento durante o armazenamento uma diminuição geral na coesividade também foi observada. Resultado semelhante também foi obtido por Esteller *et al.* (2004). Este deve estar relacionado à perda de atração intramolecular

entre os ingredientes, secagem, e a tendência para porosidade com o envelhecimento.

No estudo do aroma e características físicas dos bolos preparados substituindo a margarina com o azeite extra-virgem realizado por Matsakidou *et al.* (2010) foi observado que os bolos preparados com azeite de oliva extra virgem ou óleo de oliva extra virgem/mistura de margarina apresentaram maiores valores de dureza e coesividade ($P < 0,05$).

Tabela 20. Valores de gomosidade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Gomosidade		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	1375,70 + 232,29 ^{cA}	2588,18 + 463,27 ^{bB}	2335,34, + 464,35 ^{bB}
F 3	1814,42 + 213,64 ^{bA}	2381,42 + 405,90 ^{bB}	2332,11 + 480,81 ^{bB}
F 5	1670,80 + 285,23 ^{bcA}	2627,90 + 299,73 ^{bB}	2424,14 + 448,58 ^{bB}
F17	1421,15 + 317,75 ^{cB}	2343,18 + 981,63 ^{bAB}	2577,06 + 880,18 ^{bA}
P	695,99 + 286,84 ^{aB}	1092,19 + 406,37 ^{aAB}	1240,27 + 413,71 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

O efeito da substituição de margarina por azeite extra virgem sobre os parâmetros de perfil de textura de bolos Madeira apontam que ocorreram mudanças significativas em todos os atributos textura, exceto adesividade e elasticidade. Bolos preparados com azeite de oliva extra virgem ou óleo de oliva extra virgem / mistura de margarina apresentaram um aumento nos valores de gomosidade e mastigabilidade. Como ambos dependem da dureza, os valores seguiram uma tendência similar à dureza (MATSAKIDOU *et al.*, 2010).

A mastigabilidade é um dos parâmetros de textura facilmente correlacionados com análises sensoriais através de painéis formados. Amostras com maior teor de fibras ou ressecadas necessitam de maior salivação e número maior de mastigações antes da deglutição. O enrijecimento de massas provoca maior necessidade de trabalho mecânico e movimentação da boca (ESTELLER, 2004).

Tabela 21. Valores de mastigabilidade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Mastigabilidade		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	1176,12 + 198,30 ^{cA}	2090,26 + 389,83 ^{bB}	1901,69 + 364,77 ^{bB}
F 3	1515,80 + 156,95 ^{bA}	1963,92 + 311,94 ^{bB}	1899,66 + 393,04 ^{bB}
F 5	1412,15 + 243,41 ^{bcA}	2173,74 + 238,76 ^{bB}	1931,63 + 333,22 ^{bB}
F17	1230,68 + 284,04 ^{bcB}	1960,93 + 807,93 ^{bAB}	2109,56 + 728,58 ^{bA}
P	554,43 + 222,43 ^{aB}	804,46 + 378,59 ^{aAB}	936,39 + 306,19 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Valores similares aos das formulações estudadas (1.176,12 a 1.515,80) exceto a formulação padrão (554,43), foram encontrados por Osawa *et al.* (2009). Os resultados dos valores de mastigabilidade (g) no dia do processamento das formulações estudadas por Osawa *et al.* (2009) foram de 1.592 ± 185 . Um aumento nos valores de mastigabilidade a partir do quarto dia de estocagem também é relatado, sendo estes relacionados com as expressivas reduções de a_a observadas nos tratamentos controle e cera de carnaúba. Os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si, observando-se um ligeiro aumento deste atributo ao longo da estocagem.

Os resultados encontrados por Esteller *et al.* (2006) apontam que as massas com adição de cupuaçu e kefir não tiveram a mastigabilidade alterada (1,59 – 2,19 N.mm) e ficando muito próximos do controle (1,80 N. mm) ($p < 0,05$).

Os valores obtidos para a resiliência dos bolos formulados variou de 0,19 a 0,20, e 0,17 para o controle. A resiliência de pães e bolos é causada fundamentalmente pelas propriedades elásticas da rede de glúten e pela estrutura de amido gelificado do miolo. Muitas enzimas e emulsificantes vão agir nessas estruturas de maneiras distintas. É necessária uma combinação específica de ingredientes para influenciar na resiliência de maneira otimizada.

Quando a porcentagem de fibra no bolo aumenta, firmeza, mastigabilidade e elasticidade aumentam, já a coesividade e resiliência diminuem. No entanto, esta tendência foi significativa apenas com percentagens mais elevadas de fibra (24 e 36%) e podem estar relacionados à quantidade de ar retido por massa. Gómez *et al.* (2010) relatou valores entre 0,186 – 0,272, onde o primeiro foi adicionado 36%

de fibra no trabalho em que avaliou o efeito do tamanho das fibras sobre a qualidade dos bolos de camada de fibras enriquecido.

Tabela 22. Valores de resiliência para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Resiliência		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	0,20 + 0,02 ^{bA}	0,15 + 0,008 ^{aB}	0,15 + 0,010 ^{bB}
F 3	0,19 + 0,01 ^{bA}	0,15 + 0,009 ^{aB}	0,15 + 0,008 ^{bB}
F 5	0,19 + 0,01 ^{bA}	0,15 + 0,004 ^{aB}	0,15 + 0,016 ^{bB}
F17	0,20 + 0,01 ^{bA}	0,16 + 0,010 ^{aB}	0,15 + 0,010 ^{bC}
P	0,17 + 0,07 ^{aA}	0,16 + 0,10 ^{aA}	0,11 + 0,007 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Lu *et al.* (2010) avaliaram a qualidade e propriedade antioxidante do chá verde em bolo pão-de-ló, onde os resultados demonstraram uma diminuição da elasticidade e resiliência bolo com o aumento do nível de pó de chá verde. O bolo controle obteve uma resiliência de 0.32 ± 0.02 e as formulações testadas obtiveram 0.30 ± 0.02 , 0.26 ± 0.01 , 0.21 ± 0.02 , sendo nelas substituídas a farinha de bolo com pó de chá verde, respectivamente.

5.7 Umidade

Os valores de análise obtidos, descritos na Tabela 17 estão abaixo do esperado, entretanto, as formulações F5 e F3 são estatisticamente iguais à formulação padrão. A umidade em bolos industrializados situa-se em valores próximos a 30% segundo Jooste (1951).

Como forma de equilíbrio dinâmico entre os componentes e o meio, a perda e o ganho de umidade vão ocorrer continuamente de uma região para outra (LABUZA *et al.*, 1998). Bolos com baixa umidade tornam-se quebradiços ou esfarelados, por esses motivos são deixados de lado pelo consumidor no ponto de venda. Já a umidade em excesso aumenta a atividade microbiana e deixa as massas grudentas, cabendo ao fabricante controlar o teor de umidade incluindo embalagens que protejam o produto da oxidação da gordura e perda de aroma e sabor (ESTELLER *et al.*, 2006).

Tabela 23. Valores de umidade dos bolos para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Umidade (%)		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	21,80 ± 0,07 ^{aA}	19,99 ± 0,08 ^{aB}	18,18 ± 0,17 ^{abC}
F 3	20,93 ± 0,41 ^{abA}	19,66 ± 0,39 ^{aB}	18,38 ± 0,53 ^{bC}
F 5	21,29 ± 0,18 ^{abA}	19,17 ± 0,18 ^{aB}	17,05 ± 0,64 ^{aC}
F 17	20,46 ± 0,83 ^{abA}	19,23 ± 0,85 ^{aAB}	17,99 ± 0,38 ^{abB}
P	20,74 ± 0,26 ^{abA}	19,60 ± 0,24 ^{aB}	18,81 ± 0,49 ^{abB}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Segundo Cauvain (1998) algumas das alterações que ocorrem em bolos estão vinculadas às condições de armazenamento, embalagem, temperatura e umidade relativa como aumento da dureza devido à perda de água para a atmosfera e à migração da água do recheio para a massa, tendência ao esfarelamento devido às alterações na coesividade e modificações (normalmente perda) do aroma e sabor.

5.8 Cor

Os parâmetros de cor avaliados representam a medida da luminosidade de um material. (L^* zero = preto; L^* 100 = branco), a saturação (C^*) (chroma), que indica a proporção que a cor esta misturada com o branco, preto ou cinza, a medida do ângulo da tonalidade ou matiz (h^*) ou matiz, expressa em ângulos (0° = vermelho, 90° = amarelo, 180° = verde e 270° = azul, equivalentes ao +a, +b, -a e -b respectivamente). a^* corresponde a variação de cor de verde a vermelho [-80 ate zero = verde (-a), de zero a +100 = vermelho (+a)]; b^* corresponde a variação de cor de azul a amarelo [-100 até zero = azul (-b), de zero a +70 = amarelo (+b)]. Os valores apresentados na Tabela 18 representam a média entre as três leituras no bolo de cada triplicata.

Através dos resultados obtidos, observou-se que os bolos preparados com a gordura padrão apresentam o maior valor de luminosidade, sendo estatisticamente diferente de todas as outras formulações estudadas. Entretanto as formulações F1, F3 e F5 são estatisticamente iguais entre si, apresentando valores de 79,93 a 81,02. Estes valores estão de acordo com os resultados encontrados por Almeida (2008) no desenvolvimento e aplicação de gorduras low *trans* em margarina e bolo tipo inglês, sendo que os mesmos variaram de

76,30 a 79,61. Também reportou que os bolos produzidos com as gorduras Ice-Plus e algodão/PTH (Palma Totalmente Hidrogenada) apresentaram maior luminosidade, o que pode ser atribuído à própria matéria-prima que compõe as gorduras. O óleo de algodão possui coloração mais amarelada que os óleos refinados de soja e PTH, o que justifica sua maior contribuição no parâmetro em questão.

Esteller *et al.* (2006) estudaram os parâmetros de qualidade em bolo de chocolate produzido com diferentes quantidades de pó de cupuaçu e kefir (substituto de fermento industrial) e observaram que com o aumento do tempo de forneamento ocorre escurecimento da massa, ocasionando redução nos valores de L^* e aumento nos valores de a^* e b^* . Valores mais altos de luminosidade do miolo indicam maior refletância da luz traduzindo-se em bolos com coloração mais clara. Fato este relatado por Gutoski *et al.* (2009) em seu estudo sobre a Influência dos teores de aveia e de gordura nas características tecnológicas e funcionais de bolos. Dentre as formulações avaliadas, as com menores teores de aveia apresentaram maior luminosidade. A luminosidade do miolo dos bolos teve influência linear tanto da quantidade de aveia quanto de gordura empregadas, ambas de forma negativa.

Os valores obtidos para o parâmetro C^* variaram de 21,52 a 23,07 nas formulações estudadas sendo estatisticamente diferente do bolo formulado com a gordura padrão (20,53).

A saturação C^* , denominado Chroma, é um parâmetro associado à pureza da cor de um objeto, sendo “zero” no centro do diagrama e seu valor aumenta de acordo com a distância do centro. As formulações que continham maiores teores de farinha de Yacon apresentaram maior saturação, cujos valores situavam-se ao redor de 19,60, segundo Marangoni (2007) no estudo da Potencialidade de aplicação de farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) em produtos à base de cereais.

Todas as formulações estudadas (94,77 a 95,18) obtiveram resultados estatisticamente iguais à formulação padrão (96,03), apresentando maior tonalidade amarelada, o que é desejável nas características de bolo inglês. Com o decorrer do período de estocagem as formulações estudadas, menos a controle, mantiveram estatisticamente os valores de h^* .

A tonalidade ou matiz h^* é expressa em ângulos e inicia em 0° = vermelho (equivalente ao $+a^*$), 90° = amarelo ($+b^*$), 180° = verde ($-a^*$) e 270° definido como sendo o azul ($-b^*$).

Tabela 24. Valores de C* (miolo) para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Cor C*		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	23,07 ± 1,02 ^{aA}	23,83 ± 0,80 ^{bA}	23,21 ± 0,24 ^{bA}
F 2	22,27 ± 0,63 ^{abA}	23,36 ± 0,74 ^{bcA}	23,20 ± 0,57 ^{bA}
F 3	21,89 ± 0,67 ^{abA}	22,85 ± 0,28 ^{bcA}	22,99 ± 0,49 ^{bA}
F 4	21,52 ± 1,14 ^{abA}	21,66 ± 1,16 ^{acA}	22,46 ± 0,87 ^{abA}
P	20,53 ± 0,97 ^{bA}	20,27 ± 0,76 ^{aA}	20,82 ± 0,90 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Tabela 25. Valores de h* (miolo) para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Cor h*		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	95,08 ± 0,61 ^{aA}	94,06 ± 0,44 ^{aA}	94,44 ± 0,30 ^{abA}
F 2	95,10 ± 0,29 ^{aA}	94,27 ± 0,46 ^{aA}	94,27 ± 0,28 ^{abA}
F 3	95,18 ± 0,26 ^{aA}	94,44 ± 0,29 ^{aA}	94,32 ± 0,46 ^{abA}
F 4	94,77 ± 0,90 ^{aA}	93,94 ± 0,68 ^{aA}	93,43 ± 0,89 ^{bA}
P	96,03 ± 0,19 ^{aA}	95,00 ± 0,36 ^{aB}	94,92 ± 0,43 ^{aB}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Marangoni (2007) avaliou a cor de bolos produzidos com farinha de Yacon e de linhaça e observou que os bolos tornavam-se mais escuros conforme maior quantidade destas farinhas era incorporada à massa. Bolos com maiores valores de h* (81,08) apresentam coloração mais amarelada, e estes foram aqueles com menores teores de farinha de Yacon e de linhaça.

Os bolos produzidos com as gorduras Ice-plus (86,98) e algodão/PTH (86,10), estudados por Almeida (2008), apresentaram maior tonalidade em relação aos demais. Este parâmetro foi atribuído à coloração mais amarelada do óleo de algodão.

Gómez *et al.* (2010) avaliou a Adequação de farinhas integrais de “não-trigo” para a elaboração do bolo de camada e observou que o miolo dos bolos integrais era mais escuros (menor L*, 56,2 - 61,6), mais avermelhados (a*superior, 5,0 - 7,1), e menos amarelados (menor b*,

18,8 – 20,6) que os bolos de farinha branca. As diferenças estão provavelmente relacionadas com a quantidade e o tipo de farelo utilizado.

Maiores valores de a^* indicam coloração mais escura. As direções das cores: $a^* > 0$ é a direção do vermelho, $a^* < 0$ é a direção da cor verde.

Tabela 26. Valores de L^* (miolo) para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Cor L^*		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	78,24 ± 2,83 ^{bA}	78,28 ± 1,43 ^{abA}	78,99 ± 1,1 ^{bA}
F 2	79,94 ± 0,18 ^{abA}	76,27 ± 2,7 ^{bA}	78,86 ± 0,11 ^{bA}
F 3	79,93 ± 0,25 ^{abA}	78,29 ± 0,49 ^{abB}	78,89 ± 0,60 ^{bAB}
F 4	81,02 ± 0,33 ^{abA}	79,01 ± 0,38 ^{abB}	78,54 ± 0,33 ^{bB}
P	83,64 ± 1,24 ^{aA}	81,66 ± 1,11 ^{aAB}	81,07 ± 0,12 ^{abB}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Tabela 27. Valores de a^* (miolo) para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem

	Cor a^*		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	-2,04 ± 0,16 ^{aA}	-1,68 ± 0,19 ^{aA}	-1,79 ± 0,10 ^{aA}
F 2	-1,96 ± 0,17 ^{aA}	-1,73 ± 0,21 ^{aA}	-1,74 ± 0,13 ^{aA}
F 3	-1,98 ± 0,05 ^{aA}	-1,77 ± 0,14 ^{aA}	-1,73 ± 0,22 ^{aA}
F 4	-1,80 ± 0,42 ^{aA}	-1,49 ± 0,32 ^{aA}	-1,35 ± 0,40 ^{aA}
P	-2,16 ± 0,04 ^{aA}	-1,76 ± 0,11 ^{abB}	-1,78 ± 0,17 ^{abB}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Todas as formulações são estatisticamente iguais à formulação Padrão. Por apresentarem valores de a^* menor que zero, ou seja, negativos apresentando-se bolos levemente esverdeados.

Dogan *et al.* (2007) avaliou os efeitos de blends de palma e óleo de algodão na qualidade de bolos, onde os bolos preparados com

gordura não interesterificada e blends de gordura esterificada tiveram valores de a^* médios de miolo de 2,11 e 1,81 que foi significativamente maior do que o bolo controle (0,83) produzidos com shortening hidrogenado, indicando ligeiramente cor amarelada do miolo ($P < 0,01$).

Todas as formulações estudadas não são estatisticamente iguais ao padrão, entretanto as formulações F1, F3 e F5 são estatisticamente iguais entre si e estão de acordo com os poucos valores de b^* como os encontrados por Dogan *et al.* (2007) ao avaliar os efeitos de blends de palma e óleo de algodão na qualidade de bolos. Os bolos preparados com gordura não-interesterificada e blends de gordura interesterificada, apresentaram os maiores valores de b^* 20,3 e 19,5 respectivamente, sendo significativamente maior do que o bolo controle (18,6) produzido com shortening hidrogenado, indicando cor amarelada do miolo ($P < 0,01$).

Valores de $b^* > 0$ é a direção da cor amarela e $b^* < 0$ é a direção da cor azul. O centro do diagrama é acromático, e os valores das coordenadas aumentam do centro para as extremidades, assim como a saturação das cores (MINOLTA, 1994).

Tabela 28. Valores de b^* (miolo) para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem

	Cor b^*		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	22,99 ± 1,04 ^{aA}	23,77 ± 0,79 ^{bA}	23,14 ± 0,25 ^{bA}
F 2	22,18 ± 0,63 ^{abA}	23,29 ± 0,74 ^{bcA}	23,16 ± 0,57 ^{bA}
F 3	21,79 ± 0,67 ^{abA}	22,78 ± 0,27 ^{bcA}	22,92 ± 0,48 ^{bA}
F 4	21,44 ± 1,11 ^{abA}	21,61 ± 1,14 ^{acA}	22,42 ± 0,85 ^{abA}
P	20,41 ± 0,98 ^{bA}	20,19 ± 0,76 ^{aA}	20,74 ± 0,90 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Valores altos para b^* são traduzidos para amostras com forte coloração amarelada ou dourada, que embora diluída na coloração castanho escuro característica de produtos com derivados de cacau/cupuaçu, podem ser filtradas e aparecem em produtos ricos em proteínas, açúcares redutores e ovos (carotenóides) como relatou Esteller *et al.* (2006).

6 CONCLUSÕES

A rede neural apresentou grande desempenho na previsão da solução com menor erro, do conteúdo de gordura sólida e ponto de fusão das formulações propostas com o objetivo de alcançar o perfil solicitado, utilizando como referência a gordura comercial padrão, esta, rica em ácidos graxos *trans*, apresentando com menor erro 18% a Solução 01.

Através das determinações experimentais verificou-se que a rede neural obteve um grande desempenho, pois as gorduras produzidas através das formulações preditas pela rede neural obtiveram resultados praticamente nulos quanto aos ácidos graxos *trans*, tornando possível sua especificação como “produto *zero trans*”

As gorduras interesterificadas formuladas obtiveram valores determinados experimentalmente muito próximos ao perfil solicitado à rede, entretanto devido as suas características apresentaram maiores diferenças nos valores de teor de gordura sólida nas temperaturas de 10 a 20°C e 45°C quando comparadas à gordura padrão.

As soluções propostas pela rede neural apresentaram comportamento térmico similar ao da gordura padrão e uma cristalização mais lenta que a da gordura padrão.

As formulações elaboradas com gordura interesterificadas apresentaram concentração de ácidos graxos saturados semelhantes à gordura padrão, menor concentração de monoinsaturados, maior de poliinsaturados.

Os bolos elaborados com as formulações propostas pela rede apresentaram altura estatisticamente igual ao padrão, o volume específico e a densidade da massa dos bolos mesmo diferente do bolo padrão, estão de acordo com os valores encontrados na literatura. A umidade dos bolos, mesmo abaixo do considerado ideal pela indústria, apresentou-se igual estatisticamente ao bolo padrão.

Quanto à textura dos bolos formulados, estes se encontraram mais duros que o padrão, a adesividade e coesividade foram iguais estatisticamente ao padrão e diferentes quanto à elasticidade, mastigabilidade e resiliência.

Nos parâmetros de cor, o bolo padrão obteve luminosidade maior que as formulações, entretanto estão de acordo com os valores relatados na literatura. Os parâmetros C^* e b^* apresentaram-se diferentes aos valores encontrados para o bolo padrão. Todas as formulações estudadas

obtiveram resultados estatisticamente iguais à formulação padrão para os atributos a^* e h^* , apresentando maior tonalidade amarelada, o que é desejável nas características de bolo inglês.

Para uma melhor performance dos shortenings formulados alguns ajustes ou adaptações no processo de fabricação são sugeridos (como a adição de estabilizante e menor tempo de forneamento dos bolos). Assim poderá obter produtos com qualidade superior aos produtos formulados com a gordura padrão.

REFERÊNCIAS

ABIMA - Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias. Brasileiro consome mais pães e bolos industrializados. Data: 23/4/2010. Disponível em: http://www.abima.com.br/na_noticias_dp.asp?cod=355. Acesso em: 04 de maio de 2010.

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Complexo Soja: estatística mensal ano safra 2008/09. São Paulo/SP – Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.abiove.com.br/>>. Acesso em: 14 de setembro de 2010.

ANVISA. Visa Legis. Legislação em Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php>. Acesso em: 26 de abril de 2009.

AKOH, C. C.; MIN, D. B. **Food lipids: chemistry, nutrition e biotechnology**. Third Edition. New York (USA): CRC Press /Taylor & Francis Group, 2008.

AKOH.; C. C., CHANG, S.W.; LEE, G. C.; SHAW, J. F. Enzymatic Approach to biodiesel production. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Vol. 55, n. 22, p. 8995-9005, 2007.

ALMEIDA, D. F. S. B. **Desenvolvimento e aplicação de gorduras *low trans* em margarina e bolo tipo inglês**. 2008. 179p. Tese (Doutorado Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2008.

FIRESTONE, D.; AOCS. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 4. ed. Champaign: AOCS, 2003.

BARBOSA, Marisa Zeferino; NOGUEIRA JR, Sebastião; FREITAS, Silene Maria de. **Agricultura de alimentos X produção de energia: impacto nas cotações internacionais**. São Paulo: IEG - Instituto de Economia Agrícola. vol.3, n.1, janeiro 2008.

BARRERA-ARELLANO, D.; BLOCK, J. M. Ácidos grasos *trans* en

aceites hidrogenados: implicações técnicas e nutricionais. **Grasas y Aceites**, v. 44, n. 4, p. 286-293, 1993.

BARRERA-ARELLANO, D.; BLOCK, J. M.; GRIMALDI, R.; FIGUEIREDO, M. F.; GOMIDE, F. A. C.; ALMEIDA, R. R. **MIX: Programa para formulação de gorduras com redes neurais**. Registro INPI 98003155. 2005. Campinas – SP, Disponível em: <http://www.cflex.com.br>.

BASTIN, G. J. Q. Productos basados en el haba de soja. In: BASTIN, G. J. Q. **Aceites vegetales y semillas oleaginosas: guía del comerciante**. Principales aceites e semillas en el comercio mundial. Ginebra, 1990, vol. 2, 275 p.

BECKETT, S. T. (Ed). **Fabricación y utilización industrial del chocolate**. Zaragoza (Espanha): Acríbia, 1994.

BLOCK, J. M. Strategies for the reduction of *trans* fat consumption in Brazil: Current Status and perspectives. **INFORM**. Vol. 20, n. 1, p.53-55, 2009.

BLOCK, J. M.; BARRERA-ARELLANO, D.; FIGUEIREDO, M. F.; GOMIDE, F. C.; SAUER, L. Formulation of special fats by neural networks: a statistical approach. **JAACS**, Vol. 76, n. 11, 1357-61, 1999.

BLOCK, J. M.; BARRERA-ARELLANO, D.; FIGUEIREDO, M. F.; GOMIDE, F. C.; SAUER, L. Blending process optimization into special fat formulation by neural networks. **JAACS**, Vol. 74, n. 12, p, 1537-41, 1997.

BLOCK, J. M. **Comportamento térmico de gorduras técnicas produzidas no Brasil**. 1992. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ciência e Tecnologia em Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis (SC), 1992.

BLOCK, J. M. **Formulação de gorduras hidrogenada através de redes neurais**. 1997. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 1997.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 2. ed. Sao Paulo: Varela, 1992.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. San Diego: Academic, 2002. 400p.

BRASIL. Poder Executivo. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre o Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial da União**, de 26 de dezembro de 2003.

CASTRO, H. F.; MENDES, A. A.; SANTOS, J. C.; AGUIAR, C. L. Modificação de óleos e gorduras por *biotransformação*. **Quim. Nova**, Vol. 27, N. 1, 146-56, 2004.

CAUVAIN, S. P. Improving the control of staling in frozen bakery products. **Trends in Food Science Technology**. Amsterdam, Vol. 9, n. 2, p. 56-61, 1998.

CERQUEIRA, E. O.; ANDRADE, J. C.; POPPI, R. J.; MELLO, C. Redes neurais e suas aplicações em calibração multivariada. **Quim. Nova**, Vol. 24, N. 6, 864-73, 2001.

CHARDINGY, J. et al. Metabolism of *trans* and conjugated fatty acids. **Eur. J. Sci. Technol**. Vol. 109, p 930-34, 2007.

CHIARA, V. L.; SICHIERI, R.; CARVALHO, T. S. F. Teores de ácidos graxos *trans* de alguns alimentos consumidos no Rio de Janeiro. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 227-33, 2003.

CHIU, M. C.; GIOIELLI, L. A. Consistência da gordura abdominal de frango, de suas estearinas e de suas misturas binárias com toucinho. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 95-105, 2002.

CHRYSAM, M. M. Table Spreads and Shortenings. In: Applewhite, T. H.; (Ed). **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. New York: John Wiley & Sons, 1985, pp. 86-126. (Vol. 3)

COULTATE, T. P. **Alimentos: a química de seus compostos**. Trad. FRAZZON, J.; BARROS SOARES, L. H.; MEDINA, L. F. C.; HECK, J. X. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

CORRÊA, Fernanda; RAIÁ JR, Archimedes Azevedo.

Desenvolvimento de modelos de viagens urbanas com uso de redes neurais artificiais. In: XX ANPET. **Anais...**, Brasília, 2006.

DESMEDT, A.; CULOT, C.; DEROANNE, C.; DURANT, F.; GIBON, V. Influence of cis and *trans* double bonds on the thermal and structural properties of monoacid triglycerides. **J. Am. Oil Chem. Soc.** Vol. 67, n. 10, p. 653 -60, 1990.

DÍAZ, G.; OSCAR, W; GIOIELLI, L. A. Comportamento de cristalização de lipídios estruturados obtidos a partir de gordura de palmiste e óleo de peixe. **Quim. Nova**, Vol. 29, N. 4, 646-53, 2006.

DIJKSTRA, A. J. Revisiting the formation of *trans* isomers during partial hydrogenation of triacylglycerol oils. **European Journal of Science and Technology**, Weinheim, v. 108, p. 249-264, 2006.

DOGAN, I. S.; JAVIDIPOUR, I.; AKAN, T. Effects of interesterified palm and cottonseed oil blends on cake quality. **International Journal of Food and Technology**, Oxford, v.42, p. 157-164, 2007.

ESTELLER, M.S.; ZANCANARO JÚNIOR, O.; LANNES, S.C.S. The effect of kefir addition on microstructure parameters and physical properties of porous white bread. **Eur. Food Res. Technol.**, Heidelberg, v.222, p. 26- 31, 2006a.

ESTELLER, M.S., LIMA, A.C.O., LANNES, S.C.S. Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers. **LWT Lebensmittel-Untersuch Technology**, v.39, p 184-187, 2006b.

ESTELLER, M. S.; LANNES, S. C. S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 802-6, 2005.

ESTELLER, M. S.; AMARAL, R. L.; LANNES, S. C. S. Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 35, p. 383-93, 2004a.

ESTELLER, M. S.; YOSHIMOTO, R. M. O.; AMARAL, R. L.; LANNES, S. C. S. Uso de açúcares em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 25, n. 4, p. 602-7, 2004b.

FDA, U. S. F. D. A. **Trans fatty acid in nutrition**: labeling, nutrient content claims and health claims. 2004. Disponível em: <http://www.cfsan.fda.gov/label.html>. Acesso em: 27 de abril 2009.

FENNEMA, O. R. **Química de los Alimentos**. Zaragoza (Espanha): Acribia, 2005.

FEILLET, P.; AUTRAN, J. C.; VERNIERE, C. I. Pasta brownness: an assessment. **Journal of Cereal Science**, v. 32, p. 215-33, 2000.

FIRESTONE, D. Physical and characteristics of oils fats and waxes. Champaign: Aocs Press, 1999.

GANDRA, K. M.; GARCIA, R. K. A.; BLOCK, J. M.; BARRERA-ARELLANO, D. Verificación de la eficiencia de una red neuronal para formular grasas especiales a partir de grasas interesterificadas soja-soja. In: XII Congr. Latinoam. Grassas y Aceites. Rosario, Argentina, 2009. p. 96-98.

GANDRA, K. M. ; GARCIA, R. K. A. ; BLOCK, J. M. ; BARRERA-ARELLANO, D. Construction and training of a neural network for the formulation of specialty fats using interesterified fats. In: World Congress on Oils and Fats & 28th ISF Congress. Oils and fats essential for life - Program & Abstract Book, Sydney, 2009a. p. 117-118.

GARCIA, R. K. A. Formulação de gorduras para aplicação em margarinas *zero trans* com redes neurais a partir de gorduras interesterificadas. 2010. Dissertação (Mestrado) - Unicamp. Campinas (SP), 2010.

GIOIELLI, L. A. Lipídios estruturados. In: CURI, R.; POMPEIA, C.; MIYASAKA, C. K.; PROCÓPIO, J., (Eds). **Entendendo a gordura**: os ácidos graxos. São Paulo: Manole, 2002. p. 457-65.

GIOIELLI, L. A. Desenvolvimento de bases gordurosas para margarinas cremosas por interesterificação. 1985. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas da USP, São Paulo, 1985.

GIOIELLI, L. A. Misturas binárias e ternárias de gorduras hidrogenadas na formulação de margarinas. 1996. 253 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas da USP, São Paulo, 1996.

- GHOTRA, B. S.; DYAL, S. D.; NARINE, S. S. Lipid shortenings: a review. *Food Research International*, Vol. 35, 1015-48, 2002.
- GODOY, A. M. T.; GONÇALVES, L. A. G. Ice Creams and Cakes Formulated with Interesterified Palm and Palm Kernel Fats and Their Sensory Evaluation. In: III Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos, I Congreso Español de Ingeniería de Alimentos, 11 a 15 Marzo, 2001, Valencia, 2001. p. 4B-12.
- GÓMEZ, M.; MORALEJA, A.; OLLETE, B.; RUIZ, E.; CABALLERO, P.A. Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. **LWT - Food Science and Technology**, vol. 43,p. 33-8, 2010.
- GÓMEZ, M., RONDA, F., CABALLERO, P., BLANCO, C.; ROSELL, C. M. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. **Food Hydrocolloids**, Vol. 21, p. 167-73.
- GUERREIRO, L. Regulamento Resposta Técnica. Produção de bolo industrial. 29 de set. 2006. Disponível em: <http://www.sbirt.ibict.br>. Acesso: 02/11/2008.
- GUNSTONE, F. D. Movements towards tailor-made fats. **Progress in Lipid Research**. Vol. 37, n. 5, p 277-305, November 1998.
- GUTKOSKI, L. C.; TEIXEIRA, D. M. F.; DURIGON, A.; GANZER, A.G.; BERTOLIN, T. E.; COLLA, L. M. Influência dos teores de aveia e de gordura nas características tecnológicas e funcionais de bolos. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, vol. 29, n. 2, p. 254-61, abr.-jun. 2009.
- HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Lab. Pract.**, London, v. 22, p. 475-6, 1973.
- HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1994. 825p.
- HECKTHEUER, L. H. R. **Envejecimiento em botella de vinos tintos varietales de tempranillo, bobal y monastrell**. 1996. 222 p. Tesis Doctora. (Doctor em Ciencia y Tecnologia de Alimentos) – Universidad Politecnica de Valencia, [1996].

HORIMOTO, Y.; DURANCE, T.; NAKAI, S.; LUKOW, O.M. Neural networks vs principal component regression for prediction of wheat flour loaf volume in baking tests. **Journal of Food Science**, n. 60, p.429-33, 1995.

JEYARANI, T.; REDDY, S. Y.; Preparation of plastic fats with *zero trans* FA from palm oil. **Journal of American Oil Chemists' Society**, Chicago, v. 80, p. 1107-13, 2003.

KARABULUT, I.; TURAN, S; ERGIN, G. Effects of chemical interesterification on solid fat content and slip melting point of fat/oil blends. **European Food Research Technology**, n. 218, 2004, p 224–229.

LABUZA, T. P.; HYMAN, C. R. Moisture migration and control in multi-domain foods. **Trends Food Sci. Technol.**, Amsterdam, vol. 9, p. 47-55, 1998.

LANNES, S. C. S.; GIOIELLI, L. A. Análise do perfil de textura de chocolates comerciais “tipo cobertura”. **Revista Espuma Campinas**, Campinas, v. 11, n. 30, p. 59-60, 1995.

LARQUÉ, E.; ZAMORA, S.; GIL, A. Dietary *trans* fatty acids in early life: a review. **Early Human Development**. Oxford, v.65, p.31-41, 2001.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food: principles and practices**. New York: Chapman & Hall, 1998. 820p.

LU, T.; LEE, C.; MAU, J.; LIN, S. Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. **Food Chemistry** Vol. 119, 1090-5, 2010.

LUCAS, V.; KIECKBUSCH, T. G. Estudo comparativo do polimorfismo da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC). **Braz. J. Food Technol. Preprint Serie**, n. 232, 2006.

MALEKY, F.; MARANGONI, A. G. Process development for continuous crystallization of fat under laminar shear. **Journal of Food Engineering**, Vol. 89, p 399-407, 2008.

MARANGONI, A. G. Crystallization, structure and functionality of fats. **Food Research International**, Barking, v. 35, n. 10, p. 907-8, 2002.

MARANGONI, A. L. **Potencialidade de aplicação de farinha de Yacon (Polimnia sonchifolia) em produtos à base de cereais**, 2007. 125 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

MARTIN, C. A.; MATSHUSHITA, M.; SOUZA, N. E. Ácidos graxos *trans*: implicações nutricionais e fontes na dieta. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 361-8, 2004.

MATSAKIDOU, A.; BLEKAS, G.; PARASKEVOPOULOU, A. Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil. **LWT - Food Science and Technology**, Vol. 43, 949-57, 2010.

METZAROTH, D. J. Shortening: Science and Tecnology. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**, Sixth Ed. Vol. Set, p. 83-124. 2003.

MINOLTA. **Precise color communication**: color control from feeling to instrumentation. Colombia: Minolta, 1994.

MORETTO, E.; FETT, R.; GONZAGA, L.; KUSKOSKY, E. M. **Introdução a ciência de alimentos**. Florianópolis: UFSC, 2002. 255p.

MORETTO, E.; FETT, R. Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos, São Paulo: Varela, 1998. 150 p.

NAGUIB-MOSTAFA, A.; MAN J. M. Polymorphism of hydrogenated canola oil. **J. Am. Oil Chem. Soc.** Vol. 62, n. 4, p. 756-9, 1985.

NOVAIS, V. L. D. **Química Orgânica**. São Paulo: Atual, 2000. v. 3. 500 p.

O.BRIEN, R. D. Soybean oil products utilization: shortenings. In: ERICKSON, D. R. **Practical handbook of soybean processing and utilization**. Champaign: AOCS Press, 1995. p. 363-79, Chap. 20.

O'BRIEN, R. D.; FARR, W. C.; WAN, P. J. **Introduction to fats and oils technology**. 2. ed. Champaign: AOCS Press, 2000.

O'BRIEN, R. D. Fats and Oils Processing. In: O'BRIEN, R. D.; FARR, W. C.; WAN, P. J. **Introduction to fats and oils technology**. 2. ed. Champaign: AOCS Press, 2000 (b).

O'BRIEN, R. D. Fats and Oils: formulating and processing for applications, 2th ed. Champaign: AOCS Press, 2004. Chapter 2.

O'BRIEN, Richard. Shortening: Types and Formulations. In: **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. Edible Oil and Fat. Six volume set. Hardcover, 2005. Vol. 1.

OGLIARI, P. J.; ANDRADE, D. F.; FERRONATO, G. **Prediction intervals for artificial neural networks**. In: 18º SINAPE, Estância de São Pedro (SP), 2008.

ORDOÑEZ, C. J. **Tecnologia de Alimentos**: componentes dos alimentos e processos. São Paulo: Artmed, 2005, 294 p.

OSAWA, C. C.; FONTES, L. C. B.; MIRANDA, E. H. W.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Avaliação físico-química de bolo de chocolate com coberturas comestíveis à base de gelatina, ácido esteárico, amido modificado ou cera de carnaúba. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, Vol. 29, n. 1, p. 92-9, jan.-mar. 2009.

PAVANELLI, A. P.; CICHELO, M. S.; PALMA, E. J. **Emulsificantes como agentes de aeração em bolos**. Oxiteno S/A Indústria e Comércio. ART AL004 – 06/00. Disponível em: <http://www.oxiteno.com.br>
Acesso em: 10/11/2008.

POUZET, A. Presentation of some results of the concerted action on the management of oilseed crops in the European Union. **OCL- Oleagineux Corps Gras Lipides**, v. 6, n. 1, p. 6-21, 1996.

RIBEIRO, Ana Paula B.; GRIMALDI, Renato; GIOIELLI, Luiz A.; GONÇALVES, Lireny A.G.. *Zero trans* fats from soybean oil and fully hydrogenated soybean oil: Physico-chemical properties and food applications. **Food Research International**, vol. 42, p 401-10, 2009.

RODRIGUES, J. N. Desenvolvimento de lipídios estruturados obtidos a partir de gordura do leite, óleo de girassol e ésteres de fitosteróis para aplicação em spreads. 2006. 164 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de

Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ROSENTHAL, A. J. **Food Texture: Measurements and perception.** Aspen Publication, 1999.

SATO, K. Crystallization behavior of fats and lipids: a review. **Chemical Engineering Science.** vol. 56, n. 7, p. 2255-65, 2001.

SOUSA, Erlandsson A.; TEIXEIRA, Luiz Carlos V.; MELLO, Márcis R. P. A.; TORRES, Elizabeth A. F. S.; MOITA NETO, José M. Aplicação de redes neurais para avaliação do teor de carne mecanicamente separada em salsicha de frango. **Ciência e Tecnologia de alimentos,** Campinas, vol. 23, n. 3, p. 307-11, set./dez. 2003.

SOWMYA, M.; JEYARANI, R.; JYOTSNA; INDRANI, D. Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on T. rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes. **Food Hydrocolloids.** Vol. 23, 2009.

VALE, Cauê M.; ZAMBIAZI, Rui C. Previsão de estabilidade de óleos vegetais através da rede de inteligência artificial. **Ciência e Tecnologia de alimentos,** vol. 20, n. 3. Campinas set./dez. 2000.

REDDY, S. Yella; JEYARANI, T. *Trans*-Free Bakery Shortenings from Mango Kernel and Mahua Fats by Fractionation and Blending. **JAOCS,** Vol. 78, n. 6, p. 635-40, Jun. 2001.

RIBEIRO, A. P. B.; MOURA, J. M. L. N.; GRIMALDI, R.; GONÇALVES, L. A. G. Interesterificação química: alternativa para obtenção de gorduras *zero trans*. **Química Nova,** Vol. 30, n. 5, 1295-300, 2007.

ROUSSEAU, D.; FORESTIÈRE, K.; HILL, A. R.; MARANGONI, A. G. Restructuring butterfat through blending and chemical interesterification: 1. Melting behavior and triacylglycerol modifications. **Journal of the American Oil Chemists' Society,** Vol. 72, p. 973, 1996.

ROSENTHAL, A. J. **Food texture: measurement and perception.** London: Chapman & Hall, 1999. 311p.

- SATO, K. Crystallization behaviour of fats and lipids – a review. **Chemical Engineering Science**, New York, vol. 56, n. 7, p. 2255-65, 2001.
- SZCZESNIAK, A. S. Classification of textural characteristics. **Journal of Food Science**. Vol. 28, n. 4, p. 410-20, 1963.
- SILVA, R. C.; GIOIELLI, L. A. Propriedades físicas de lipídios estruturados obtidos a partir de banha e óleo de soja. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, vol. 42, n. 2, p. 223-35, 2006.
- SOY STAT®. **A Publication of the American Soybean Association**. World statistic: oilseed production. 2009. Disponível em: <<http://www.soystats.com>>. Acesso em: 10 de setembro de 2010.
- SHAHIDI, F. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products: chemistry, properties and health effects**. 6. ed, Wiley (EUA): Interscience, 2005. vol. 1.
- SENANAYAKE, S. P. J.; SHAHIDI, F. Structured lipids via lipase-catalyzed incorporation of eicosapentaenoic acid into borage (*Borago officinalis* L.) and evening primrose (*Oenothera biennis* L.) oils. **J. Agric. Food Chem.**, Vol. 50, p. 477-83, 2002.
- TAMSTORF, S.; JONSSON, T.; KROG, N. The role of fats and emulsifiers in baked products. In: BLANSHARD, J. M. V.; FRAZIER, P. J.; GALLIARD, T. **Chemistry and physics of baking: materials, processes, and products**. London: The Royal Society of chemistry, 1987. Chap. 6, 75-88 p.
- WASSELL, P.; YOUNG, N. W. G. Food applications of *trans* fatty acid substitutes. **International Journal of food Science and Technology**, Oxford, vol. 42, p. 503-17, 2007.
- WIDLAK, Neil; HARTEL, Richard; NARINE, Suresh. **Crystallization and Solidification Properties of Lipids (Bookshelf)**. USA: American Oil Chemists' Society, 2001.
- WRIGHT, A. J., HARTEL, R. W., NARINE, S. S., MARANGONI, A. G. The effect of minor components on milk fat crystallization. **J. Am. Oil Chem. Soc.**, Champaign, vol. 77, n. 5, p.463-75, 2000.

ZAMBRANO, F. M. Otimização das condições de hidrólise ácida do amido de mandioca para obtenção de substituto de gordura:

caracterização de hidrolisados e aplicação em bolos. 1998. Tese (Doutorado)- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1998.

ZAMBRANO, F. M.; HIKAGE, A.; ORMENESE, R. C. C.; MONTENEGRO, F. M.; RAUEN-MIGUEL, A. M. Efeito das gomas guar e xantana em bolos como substitutos de gordura. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, vol. 8, n. 1, p. 63-71, 2005.

Z Aidul, I. S. M.; NIK NORULAINI, N. A.; MOHD OMAR, A. K.; SATO, Y.; SMITH JR, R. L. Separation of palm kernel oil from palm kernel with supercritical carbon dioxide using pressure swing technique. **Journal of Food Engineering**. Vol. 81, n. 2, p. 419-28, July 2007.

ZANONI, B.; PERI, C.; BRUNO, D. Modeling of browning kinetics of Bread crust during baking. **Lebensmittel-Untersuch Technology**, vol. 28, p. 604-9, 1995.

APÊNDICE

Apêndice A – Artigo: Formulação de gorduras interesterificadas de base soja sem *trans* para bolo através de redes neurais

FORMULAÇÃO DE GORDURAS INTERESTERIFICADAS DE BASE SOJA SEM *TRANS* PARA BOLO ATRAVÉS DE REDES NEURAIIS

Bruna A. A. Scaranto¹, Kelly M. Gandra², Pedro Manique Barreto¹,
Daniel Barrera-Arellano², **Jane Mara Block^{1*}**

¹Universidade Federal de Santa Catarina – SC, Centro de Ciências Agrárias – CCA, Av. Admar Gonzaga, 1346 – Itacorubi, 88034-001 - Florianópolis – SC/BR. *e-mail: jmblock@cca.ufsc.br

²Universidade Estadual de Campinas – SP/BR

Resumo: Com a utilização de uma rede neural previamente treinada com matérias primas de soja e algodão, obtiveram-se diferentes formulações de *shortenings* para bolo. Avaliaram-se quatro formulações dentre as soluções propostas pela rede, estas com diferentes proporções de matéria-prima, conteúdo de gordura sólida e perfil lipídico, porém muito semelhantes à gordura comercial utilizada como padrão. Os resultados obtidos demonstram que as redes neurais são uma ferramenta útil para elaboração de blends com características especiais e pré-determinadas, como no caso de *shortenings* para bolos sendo que estes não apresentaram grandes alterações na textura.

Palavras-chave: Redes Neurais; Formulação de gorduras sem *trans*; Textura; Bolo.

Introdução

Os óleos e gorduras possuem grande importância na nutrição humana, devido seu fornecimento de ácidos graxos essenciais e energia.

Sua composição química é predominantemente por triacilgliceróis. Ácidos graxos saturados são menos reativos e apresentam ponto de fusão superior em relação ao ácido graxo

correspondente de mesmo tamanho de cadeia com uma ou mais duplas ligações. Ácidos graxos insaturados podem existir nas configurações *cis* e *trans*, com diferentes propriedades físico-químicas. Por suas características estruturais, os ácidos graxos na forma *trans* (AGT) têm ponto de fusão mais elevado quando comparado com seu isômero *cis* correspondente, mas inferior ao ponto de fusão do ácido graxo saturado com mesmo número de átomos de carbono. Os isômeros *trans* podem ser considerados como intermediários entre um ácido graxo original insaturado e um ácido graxo completamente saturado (O'BRIEN, 2005, RIBEIRO *et al.*, 2007).

A ingestão de ácidos graxos *trans* na dieta humana é oriunda principalmente das gorduras parcialmente hidrogenadas e em menor quantidade dos óleos refinados, da carne do leite de animais ruminantes, como resultado do processo de bio-hidrogenação na flora microbiana do rúmen. Estudos comprovam que o consumo de AGT ocasiona o aumento da lipoproteína de baixa densidade (LDL) em grau similar ao causado pelos ácidos graxos saturados e a diminuição da lipoproteína de alta densidade (HDL), além de risco de doenças cardiovasculares, aumento do desenvolvimento da obesidade e alguns tipos de câncer (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Com o aumento da preocupação com a saúde da população, países como o Brasil determinaram que fossem alteradas as informações nutricionais presentes nos rótulos das embalagens de alimentos processados ou industrializados. Através da RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003, determinou-se que a partir de 31 de julho de 2006 todos os alimentos comercializados deveriam expressar em sua rotulagem nutricional a declaração dos ácidos graxos *trans* em relação à porção harmonizada para um determinado alimento, em conjunto com as declarações para gorduras totais e saturadas. Portanto, é considerado *zero trans* os alimentos que apresentarem teor de gorduras *trans* menor ou igual a 0,2 g/porção (ANVISA, 2003; RIBEIRO *et al.*, 2007).

O bolo é um dos produtos de panificação mais queridos e consumidos no mundo todo. Os componentes de sua fórmula podem afetar a qualidade do bolo. Especialmente a gordura, pode afetar atributos internos e externos, a vida de prateleira e valor nutricional do bolo. O tipo de gordura usado na produção dos bolos é importante para o consumidor consciente e preocupado com sua saúde (DOGAN *et al.*, 2007).

Entre os métodos de modificações lipídicas disponíveis para a redução dos ácidos graxos *trans* (AGT) nos óleos e gorduras inclui-se a interesterificação química. A interesterificação consiste em alternativa

tecnológica ao processo de hidrogenação parcial, uma vez que viabiliza a produção de óleos e gorduras com funcionalidades específicas. No passado, a escolha de óleos e gorduras em uma mistura usada para fabricação de shortenings era mais uma função da experiência empírica do laboratorista. Block *et al.*, 1999, usaram redes neurais com o objetivo de construir, operar e avaliar um processo alternativo para formulação de gorduras hidrogenadas mais eficiente e econômico através de redes neurais. Através das redes neurais, o Programa MIX – Programa para formulação de gorduras com redes neurais (BARRERA-ARELLANO *et al.*, 2005) vem sendo utilizado para formular gorduras para aplicação em produtos de funcionalidade específica (massas folhadas, recheio de biscoitos e panificação). O objetivo desse estudo foi formular gorduras interesterificadas sem *trans* de base soja e algodão através de redes neurais com uso específico para bolos e suas possíveis alterações na textura.

Procedimento Experimental

Como matérias-primas foram utilizadas: óleo de soja (OS) da marca Primor (Bunge S.A.) e, duas bases interesterificadas: Base A: soja totalmente hidrogenada (STH) interesterificada com 30% de óleo de algodão e Base B: STH interesterificada com 60 % de OS. Ambas foram produzidas pela empresa Triângulo Alimentos S.A., SP. Como padrão foi utilizado gordura para bolos (MP) produzida pela Bunge Alimentos S.A.

O óleo refinado e as gorduras interesterificadas usadas nas formulações foram caracterizados utilizando as metodologias oficiais da AOCS (2003) através das seguintes determinações: conteúdo de gordura sólida (SFC) (método Cd 16b-93), modificado por Ribeiro *et al.* (2009); composição em ácidos graxos (método Ce 1-62) sendo os AG esterificados de acordo com Hartmann e Lago (1973); Índice de iodo calculado pelo método Cd 1c-85; Ponto de Fusão pelo cálculo da temperatura correspondente a 4% de gordura sólida, obtida da curva de SFC por RMN (KARABULUT, 2004).

Para a formulação das gorduras utilizou-se o Programa MIX para formulação de gorduras através de redes neurais. A rede foi treinada com diferentes formulações contendo três matérias-primas (óleo de soja, base A e B) (GANDRA *et al.*, 2009). Inseriram-se os dados de SFC e PF da gordura padrão e foi solicitado à rede que encontrasse soluções a partir desta. Estabeleceu-se uma faixa de variação para a busca de

respostas de 2% a 5% para teor de gordura sólida e 3°C para ponto de fusão, considerando as divergências nas matérias-primas.

O shortening padrão para bolos e os shortenings formulados foram usados na produção dos bolos. Estes foram produzidos em escala laboratorial onde primeiramente bateu-se na batedeira o açúcar (325g) e a gordura (125g) por exatamente 10 minutos, até formar uma emulsão. Adicionou-se um ovo por vez (4u), totalizando 5 minutos de batimento. Peneiraram-se os ingredientes secos (Amido de milho -125g; Fermento em pó- 7,5g; Farinha de trigo – 400g) e adicionaram-se lentamente, sempre batendo para então crescer o leite UHT desnatado (200mL) vagarosamente até completa homogeneização. O tempo total do batimento foi de 40 minutos. A massa foi dividida em quatro formas de alumínio (20 x 10 cm) da marca Boreda totalizando 300g de massa em cada uma. Levou-se ao forno pré-aquecido por exatamente uma hora, à temperatura de 200°C no forno inferior. Após quatro horas do forneamento, os bolos foram mantidos na bandeja de alumínio onde foram assados e embalados com Filme PVC transparente da marca Royal Pack (28cmx30m).

A análise do perfil de textura foi realizada a partir do dia seguinte do forneamento dos bolos, com 1, 4 e 7 dias após o processamento. Neste período os bolos foram armazenados no laboratório de Óleos e Gorduras onde as condições de temperatura média foram de 27,3°C (Max) e 25,2°C(mín.) e umidade relativa média de 57,25% (Max.) e 35,62%(mín.). As amostras foram obtidas a partir de cada bolo e cortados três cilindros com 4,5cm x 2,5cm. Utilizou-se Texturômetro TA- XT2 (Stable Micro Systems, UK), com probe de acrílico P/50 considerando os seguintes parâmetros de operação: velocidade pré-teste = 2,0 mm/s; velocidade de teste = 2,0 mm/s; velocidade de pós-teste = 2,0 mm/s; distancia = 12mm; tempo = 5 segundos. Os atributos de textura avaliados foram: dureza (referente à força necessária para deformação), adesividade, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade (parâmetro secundário referente à energia requerida para mastigar produtos sólidos e deixá-los em condições de deglutição) e resiliência. A análise foi realizada em triplicata para cada bolo. Os valores médios foram avaliados estatisticamente pelo teste de diferença de médias (Tukey), empregando-se o programa Statistic 7.0 (2004) (ESTELLER *et al.*, 2004).

Resultados e discussão

A partir das características do teor de sólidos e ponto de fusão da gordura padrão, obtidos na caracterização da matéria-prima, inseriram-se os valores desejados em cada temperatura utilizando as três matérias-primas com as quais a rede foi treinada. Utilizando-se a ferramenta de “Busca” convencional e “Busca por soluções aproximadas” foram solicitadas à rede formulações com o teor de sólidos e ponto de fusão desejados, de acordo com a aplicação requerida. Devido às características das gorduras interesterificadas, não se obteve soluções, tornando necessário trabalhar com o “Laboratório Virtual”. Essa ferramenta permite que o pesquisador trabalhe manualmente, ajustando os valores de teor de sólidos - SFC das Gorduras A, B e Óleo em cada temperatura desejada. Estabeleceu-se então, nas temperaturas 30°C, 35°C, 37,5°C e 40°C os valores aproximados da gordura padrão e nas temperaturas 10°C, 20°C e 25°C valores abaixo da gordura padrão. Solicitou-se novamente à rede até que fossem listadas aproximadamente seis formulações diferentes. O SFC das gorduras (base A e B) e da gordura padrão pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1. Valores solicitados em diferentes temperaturas à rede neural.

	% SFC									
	10 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35°C	37,5 °C	40 °C	45 °C	50 °C	PF
Base A	64,41	56,84	55,3	44,6	34,06	29,74	25,82	16,86	7,3	53,05
Base B	24,48	22,1	21,63	15,26	10,53	8,06	7,06	4,05	1,98	47,35
Padrão	52,02	27,46	18,33	10,97	6,18	4,11	3,16	0,66	0	45,00
Solicitado	18,0	16,0	12,50	9,50	7,00	5,50	4,50	3,00	1,00	45,60
Tolerância	5,0	5,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0

Através do perfil de sólidos solicitado, a rede encontrou 18 diferentes soluções, sendo que as 4 formulações com menor erro foram utilizadas. Estas, juntamente com seus perfis de sólidos (previsto pela rede e determinado experimentalmente) e da gordura para bolo padrão (MP) são apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Perfil de sólidos das formulações previstas pela rede e determinadas experimentalmente (D.E.)

	% SFC									
	10 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35°C	37,5 °C	40 °C	45 °C	50 °C	PF
Solicitado	18,0	16,0	12,50	9,50	7,00	5,50	4,50	3,00	1,00	45,60
Solução 1	17,68	15,79	12,60	9,61	7,16	5,54	4,69	2,80	1,16	45,69
D.E. 1	19,21	16,30	13,10	10,23	7,67	6,42	5,33	3,35	1,40	43,3
Solução 3	17,23	16,28	13,13	9,58	6,89	5,42	4,57	2,65	1,04	45,89
D.E. 3	19,91	17,97	13,90	10,41	7,59	6,18	5,59	3,08	1,43	43,1
Solução 5	15,71	15,08	12,47	8,87	6,26	5,01	4,21	2,44	0,75	45,47
D.E. 5	17,34	15,77	11,90	8,60	6,33	4,91	4,15	2,41	0,58	40,5
Solução 17	17,57	16,13	12,73	9,58	7,04	5,46	4,61	2,70	1,15	45,78
D.E. 17	19,82	17,11	13,33	10,45	7,42	6,08	5,28	2,89	1,06	42,7

Os perfis de sólidos previstos pela rede e determinados experimentalmente são semelhantes, o que significa que a rede descreveu muito bem o comportamento das formulações que foram previstas.

Tabela 3. Soluções previstas pela rede neural com menor porcentagem de erro.

	% de Gordura			
	Erro	A	B	Óleo
Solução 1	18%	23,04	21,85	55,11
Solução 3	30%	7,20	57,07	35,72
Solução 5	77%	0,00	69,06	30,94
Solução 17	19%	16,53	36,21	47,26

A gordura base A é constituída de óleo de soja totalmente hidrogenado interesterificado com 30% de óleo de algodão e a base B de óleo de soja totalmente hidrogenado interesterificado com 60 % de óleo de soja. A partir disso, justificando o maior teor de ácidos graxos saturados da Gordura A em relação a gordura B.

Tabela 4. Tabela de composição em ácidos graxos e índice de iodo das matérias-primas, da gordura padrão (MP) e das formulações.

Ácido Graxo	%							
	G. A	G. B	Óleo	F1	F3	F5	F17	Padrão
Ácido Caprílico (C:8)	0,19	0,09	0	0,06	0,06	0,06	0,06	0
Ácido Cáprico (C10:0)	0,19	0,08	0	0,06	0,06	0,05	0,06	0
Ácido Láurico (C12:0)	2,36	0,77	0	0,71	0,60	0,53	0,66	0,15
Ácido Mirístico (C14:0)	1,2	0,4	0,07	0,40	0,33	0,29	0,37	0,43
Ácido Palmítico (C16:0)	15,77	11,64	10,05	11,71	11,36	11,14	11,57	12,75
Ácido Palmitoléico (C16:1)	0	0	0,1	0,05	0,03	0,03	0,04	0,06
Ácido Estearíco (C18:0)	46,06	29,46	3,86	19,17	21,50	21,53	20,10	17,75
Ácido Elaídico (C18:1 <i>t</i>)	1,07	0,65	0	0,38	0,44	0,44	0,41	16,37
Ácido Oléico (C18:1)	9,2	17,4	21,14	17,57	18,14	18,55	17,82	41,35
Ácido Linolelaídico C18:2 <i>t</i>	0,19	0,61	0,19	0,28	0,42	0,48	0,34	2,78
Ácido Linoléico (C18:2)	22,32	34	55,35	43,07	40,78	40,60	42,18	6,69
Ácido Linolênico (C18:3)	0,17	3,4	7,55	4,94	4,64	4,68	4,83	0,46
Ácido Araquídico (C20:0)	0,49	0,49	0,35	0,41	0,43	0,44	0,42	0
Ácido Gadoléico (C20:1)	0	0,15	0,16	0,12	0,14	0,15	0,12	0,13
Ácido Behênico (C22:0)	0,31	0,47	0,38	0,38	0,42	0,44	0,40	0,5
Ácido Lignocérico (C24:0)	0,15	0,18	0,15	0,15	0,16	0,17	0,16	0,18
Índice de Iodo	49,89	51,07	140,99	104,11	100,22	99,86	102,35	67,76
Σ Saturados	66,72	43,58	14,86	33,08	34,98	34,69	33,84	31,76
Σ Monoinsaturados	10,46	18,81	21,59	18,42	19,20	19,67	18,75	60,69
Σ Poliinsaturados	22,68	38,01	63,09	48,30	45,86	45,77	47,35	9,93
Σ <i>Trans</i>	1,26	1,26	0,19	0,67	0,88	0,93	0,75	19,15

Analisando os valores dos ácidos graxos palmítico, esteárico, elaídico, oléico e linoléico, presentes na gordura padrão, estima-se que esta seja proveniente de óleos vegetais hidrogenados de soja e de palma, já que o fabricante não informa a procedência da matéria-prima utilizada além de “Óleos vegetais hidrogenados, estabilizantes: monoestearato de propilenoglicol, mono e diglicerídeos de ácidos graxos e polisorbato 60, antioxidantes: BHT e ácido cítrico”.

O ácido palmítico é o principal ácido graxo saturado presente em derivados da palma. Seus valores variaram de 11,14% a 11,71% mantendo-se muito próximo ao da gordura padrão 12,75%. Este valor está de acordo ao reportado por RIBEIRO *et al.* (2009) em *blends* de óleo de soja e óleo de soja totalmente hidrogenado.

O ácido esteárico é característico de gordura hidrogenada de soja e com 19,17% a 21,53 ficou pouco acima da gordura padrão, esta com 17,75%. O ácido linoléico é o principal ácido graxo do óleo de soja o que justifica sua alta concentração em todas as formulações de 40,60% a 43,07%. As formulações apresentaram baixas concentrações de ácidos graxos *trans*, tornando possível sua especificação como “produto *zero trans*”.

Todos os bolos foram produzidos no mesmo dia e foram submetidos à análise de perfil de textura (TPA) no dia seguinte ao forneamento: 1 dia, com 4 dias e 7 dias, com a intenção de se observar o comportamento da gordura no bolo e possíveis alterações na textura.

Relaciona-se com a mordida humana durante a ingestão dos alimentos a dureza ou firmeza do bolo. Esta é avaliada por métodos instrumentais (texturômetros) e é proporcional à força aplicada para ocasionar uma deformação ou rompimento da amostra (Esteller *et al.*, 2004a). A força máxima avaliada é dependente da formulação (qualidade da farinha, quantidade de açúcares, gorduras, emulsificantes e ovos), umidade da massa e conservação (tempo de fabricação do produto e embalagem). No processo de batimento da massa, apesar da forte agitação e velocidade das pás, os ingredientes não são solubilizados completamente. Antes e durante o forneamento ocorre liberação de gás carbônico. Durante a cocção, também, volatilização do vapor d'água da massa e formação de uma matriz complexa de amido gelatinizado e proteínas, que aprisionam o material volátil e formam alvéolos de tamanhos variados.

Segundo Cauvain (1987), a aeração proporcionada pela gordura é de vital importância no processo de fabricação dos bolos. Assim se não houver um agente estabilizador, essas bolhas se rompem e migram para a superfície da massa. Essa função de estabilização é exercida pela fração cristalina da gordura.

Esses “colchões” de ar, distribuídos de forma não uniforme, podem representar, em uma mesma amostra, variações nos valores de firmeza e influenciar em outros parâmetros de textura. Bolos com altos valores de umidade, gordura e açúcar, exercem efeito amaciante na massa. Bolo com excessivo tempo de forneamento ou que tenha perdido de alguma forma a umidade (embalagem aberta, por exemplo), apresenta-se com massa firme que necessita de maior salivação e mastigação (ESTELLER *et al.*, 2004a,b). A Tabela 5 apresenta os valores de dureza no primeiro, quarto e sétimo dia após o forneamento.

Tabela 5. Valores de dureza para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Dureza (gf)		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	2684,04 + 507,56 ^{cA}	6654,64 + 1352,16 ^{bB}	6121,74 + 1327,23 ^{bB}
F 3	3471,42 + 513,78 ^{bA}	5806,59 + 1060,38 ^{bB}	6109,70 + 1364,69 ^{bB}
F 5	3324,02 + 641,09 ^{bcA}	6487,71 + 782,48 ^{bB}	6403,63 + 1175,45 ^{bB}
F 17	2716,97 + 559,32 ^{bcA}	5509,07 + 2369,58 ^{bB}	6792,50 + 2228,02 ^{bB}
P	1357,36 + 590,05 ^{aA}	2489,13 + 1025,71 ^{aB}	3375,96 + 988,73 ^{aB}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

As análises dos resultados de textura apontam para valores altos de dureza (ou menor maciez) para miolo com pouca umidade. As formulações foram significativamente diferentes do padrão, onde estas podem estar relacionadas o tempo de forneamento (uma hora), o qual foi igual para todas as formulações e por não haver adição de emulsificante.

Bolos *low trans* mais firmes que o controle, também foram encontrados por Almeida (2008), pois gorduras *low trans* apresentam maior teor de AG saturados em sua composição o que certamente influenciou na plasticidade e funcionalidade das gorduras quando aplicadas em alimentos.

Sabe-se que a incorporação do ar está relacionada com as características oferecidas pela gordura e pelo emulsificante, como descrito por Sowmya *et al.* (2009), no estudo do efeito da substituição de gordura com óleo de gergelim e aditivos na reologia, microestrutura, características de qualidade e perfil de ácidos graxos de bolos onde verificou-se o efeito dos emulsificantes sobre a análise do perfil de textura de bolo com 50% de óleo de gergelim e mostrou que a adição de Monoestearato de glicerol (GMS) e o Estearoil-2-lactato (SSL) reduziu a dureza, gomosidade e valores de mastigabilidade do bolo controle com gordura e bolo com 50% de óleo de gergelim.

Aumento na umidade da massa, presença de sacarose e ingredientes com propriedades umectantes, tempo de estocagem e embalagem influenciarão na adesividade avaliada em texturômetros (Esteller *et al.*, 2006). Os valores obtidos para adesividade no primeiro dia de análise foram estatisticamente iguais de todas as formulações com ao padrão como mostra a Tabela 6:

Tabela 6. Valores de adesividade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Adesividade (gf/s)		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	-1,36 + 0,86 ^{aA}	-1,29584 + 0,58 ^{abA}	-1,03557 + 0,42 ^{aA}
F 3	-1,71 + 0,91 ^{aA}	-1,11705 + 0,48 ^{abA}	-1,04437 + 0,47 ^{aA}
F 5	-1,60 + 0,80 ^{aB}	-0,75343 + 0,44 ^{bA}	-1,06654 + 0,08 ^{aAB}
F17	-1,39 + 0,79 ^{aA}	-0,95220 + 0,94 ^{bA}	-0,97135 + 0,35 ^{aA}
P	-1,30 + 0,93 ^{aAB}	-2,06299 + 0,95 ^{aB}	-0,92774 + 0,61 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

As formulações F1, F3 e F17 apresentaram valores iguais estatisticamente com o passar dos dias de armazenagem para adesividade. Valores de adesividade de 0,001-0,004mJ são considerados bastante baixos levando-se em consideração a grande porcentagem de açúcares nas formulações, tornando a massa bastante pegajosa como relatou Esteller *et al.* (2006) em seu estudo nos parâmetros de qualidade em bolo de “chocolate” produzido com diferentes quantidades de pó de cupuaçu e kefir. Os mesmos resultados foram obtidos anteriormente por Esteller *et al.* (2004) onde o parâmetro de adesividade apresentou o maior variação entre os valores sendo o máximo 2,0g/s⁻¹ ainda assim considerado baixo quando comparado com outros alimentos.

Tabela 7. Valores de elasticidade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Elasticidade		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	0,855213 + 0,01 ^{bCA}	0,806643 + 0,02 ^{abB}	0,815339 + 0,009 ^{bB}
F 3	0,836618 + 0,01 ^{cA}	0,826256 + 0,02 ^{abAB}	0,814506 + 0,007 ^{bB}
F 5	0,845129 + 0,01 ^{bCA}	0,827782 + 0,01 ^{abAB}	0,799981 + 0,047 ^{bB}
F17	0,864835 + 0,01 ^{bA}	0,839301 + 0,01 ^{aB}	0,816912 + 0,020 ^{bC}
P	0,799426 + 0,02 ^{aA}	0,705893 + 0,21 ^{bA}	0,756499 + 0,014 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

A avaliação subjetiva da elasticidade é normalmente feita pelos consumidores e consiste em pressionar ligeiramente o pedaço de alimento, à mão ou com a boca, e verificar a facilidade com que ele

retorna ao o tamanho original. Quanto à mudança da elasticidade durante o armazenamento, observou-se decréscimo durante o envelhecimento. Todas as formulações avaliadas foram significativamente diferentes do padrão, entretanto valores similares de elasticidade foram obtidos por Gómez *et al.* (2007), onde permaneceram entre 0,83 e 0,93 sendo o controle 0,92 onde adicionou diferentes hidrocolóides aos bolos de massa amarela e não obteve mudança significativa no que diz respeito ao controle.

A coesividade quantifica a resistência interna da estrutura do alimento. Os resultados de coesividade demonstram que as formulações não apresentaram diferença significativa entre si até o sétimo dia de estocagem. Entretanto, verificou-se uma ligeira queda na coesividade dos tratamentos analisados. Isto demonstra que os bolos tornaram-se um pouco propensos à desintegração com o decorrer da estocagem.

Tabela 8. Valores de coesividade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Coesividade		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	0,51 + 0,02 ^{aA}	0,39 +0,02 ^{aB}	0,815339 +0,02 ^{aB}
F 3	0,52 + 0,02 ^{aA}	0,41+0,02 ^{aB}	0,814506 +0,02 ^{aC}
F 5	0,50 + 0,01 ^{aA}	0,40 +0,01 ^{aB}	0,799981 +0,04 ^{aB}
F17	0,52 + 0,02 ^{aA}	0,43 + 0,02 ^{aB}	0,816912 + 0,02 ^{aC}
P	0,51 + 0,02 ^{aB}	0,47 +0,14 ^{aB}	0,756499 +0,03 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Osawa *et al.* (2009), observaram uma diminuição da coesividade a partir do quarto dia de estocagem e também relatou uma propensão à desintegração dos bolos no decorrer dos dez dias de estocagem. Já Gómez *et al.* (2007) observaram que a coesividade do bolo dependia do hidrocolóide adicionado, e quanto ao comportamento durante o armazenamento uma diminuição geral na coesividade também foi observada. Resultado semelhante também foi obtido por Esteller *et al.* (2004). Este deve estar relacionado à perda de atração intramolecular entre os ingredientes, secagem, e a tendência para porosidade com o envelhecimento.

No estudo do aroma e características físicas dos bolos preparados substituindo a margarina com o azeite extra-virgem realizado por Matsakidou *et al.* (2010) foi observado que os bolos preparados com

azeite de oliva extra virgem ou óleo de oliva extra virgem/mistura de margarina apresentaram maiores valores de dureza e coesividade ($P < 0,05$).

Tabela 9. Valores de gomosidade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Gomosidade		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	1375,70 + 232,29 ^{cA}	2588,18 + 463,27 ^{bB}	2335,34, +464,35 ^{bB}
F 3	1814,42 + 213,64 ^{bA}	2381,42 + 405,90 ^{bB}	2332,11 + 480,81 ^{bB}
F 5	1670,80 + 285,23 ^{bcA}	2627,90 + 299,73 ^{bB}	2424,14 + 448,58 ^{bB}
F17	1421,15 + 317,75 ^{cB}	2343,18 + 981,63 ^{bAB}	2577,06 + 880,18 ^{bA}
P	695,99 + 286,84 ^{aB}	1092,19 + 406,37 ^{aAB}	1240,27 + 413,71 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

O efeito da substituição de margarina por azeite extra virgem sobre os parâmetros de perfil de textura de bolos Madeira apontam que ocorreram mudanças significativas em todos os atributos textura, exceto adesividade e elasticidade. Bolos preparados com azeite de oliva extra virgem ou óleo de oliva extra virgem / mistura de margarina apresentaram um aumento nos valores de gomosidade e mastigabilidade. Como ambos dependem da dureza, os valores seguiram uma tendência similar à dureza (MATSAKIDOU *et al.*, 2010).

A Mastigabilidade é um dos parâmetros de textura facilmente correlacionados com análises sensoriais através de painéis formados. Amostras com maior teor de fibras ou ressecadas necessitam de maior salivação e número maior de mastigações antes da deglutição. O enrijecimento de massas provoca maior necessidade de trabalho mecânico e movimentação da boca (ESTELLER, 2004).

Valores similares aos das formulações da Tabela 9 exceto a formulação padrão, foram encontrados por Osawa *et al.* (2009). Os resultados dos valores de mastigabilidade (g) no dia do processamento das formulações estudadas por Osawa *et al.* (2009) foram de 1.592 ± 185 . Um aumento nos valores de mastigabilidade a partir do quarto dia de estocagem também é relatado, sendo estes relacionados com as expressivas reduções de a_{ii} observadas nos tratamentos controle e cera de carnaúba. Os demais tratamentos não apresentaram diferença

significativa entre si, observando-se um ligeiro aumento deste atributo ao longo da estocagem.

Tabela 10. Valores de mastigabilidade para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Mastigabilidade		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	1176,12 + 198,30 ^{cA}	2090,26 + 389,83 ^{bB}	1901,69 + 364,77 ^{bB}
F 3	1515,80 + 156,95 ^{bA}	1963,92 + 311,94 ^{bB}	1899,66 + 393,04 ^{bB}
F 5	1412,15 + 243,41 ^{bcA}	2173,74 + 238,76 ^{bB}	1931,63 + 333,22 ^{bB}
F17	1230,68 + 284,04 ^{bcB}	1960,93 + 807,93 ^{bAB}	2109,56 + 728,58 ^{bA}
P	554,43 + 222,43 ^{aB}	804,46 + 378,59 ^{aAB}	936,39 + 306,19 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Os resultados encontrados por Esteller *et al.* (2006) apontam que as massas com adição de cupuaçu e kefir não tiveram a mastigabilidade alterada (1,59 – 2,19N.mm) e ficando muito próximos do controle (1,80 N. mm) ($p < 0,05$).

A resiliência de pães e bolos é causada fundamentalmente pelas propriedades elásticas da rede de glúten e pela estrutura de amido gelificado do miolo. Muitas enzimas e emulsificantes vão agir nessas estruturas de maneiras distintas. É necessária uma combinação específica de ingredientes para influenciar na resiliência de maneira otimizada.

Quando a porcentagem de fibra no bolo aumenta, firmeza, mastigabilidade e elasticidade aumentam, já a coesividade e resiliência diminuem. No entanto, esta tendência foi significativa apenas com percentagens mais elevadas de fibra (24 e 36%) e podem estar relacionados à quantidade de ar retido por massa. Gómez *et al.* (2010) relatou valores entre 0,186 – 0,272, onde o primeiro foi adicionado 36% de fibra no trabalho em que avaliou o efeito do tamanho das fibras sobre a qualidade dos bolos de camada de fibras enriquecido.

Lu *et al.* (2010) avaliaram a qualidade e propriedade antioxidante do chá verde em bolo pão-de-ló, onde os resultados demonstraram uma diminuição da elasticidade e resiliência bolo com o aumento do nível de pó de chá verde. O bolo controle obteve uma resiliência de 0.32 ± 0.02 e as formulações testadas obtiveram 0.30 ± 0.02 , 0.26 ± 0.01 , 0.21 ± 0.02 , sendo nelas substituídas a farinha de bolo com pó de chá verde, respectivamente.

Tabela 11. Valores de resiliência para diferentes formulações nos dias 1, 4 e 7 de armazenagem.

	Resiliência		
	Dia 1	Dia 4	Dia 7
F 1	0,20 + 0,02 ^{bA}	0,15 + 0,008 ^{aB}	0,15 + 0,010 ^{bB}
F 3	0,19 + 0,01 ^{bA}	0,15 + 0,009 ^{aB}	0,15 + 0,008 ^{bB}
F 5	0,19 + 0,01 ^{bA}	0,15 + 0,004 ^{aB}	0,15 + 0,016 ^{bB}
F17	0,20 + 0,01 ^{bA}	0,16 + 0,010 ^{aB}	0,15 + 0,010 ^{bC}
P	0,17 + 0,07 ^{aA}	0,16 + 0,10 ^{aA}	0,11 + 0,007 ^{aA}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Os resultados indicaram que a rede neural utilizada pode ser aplicada com sucesso na formulação de shortening para bolo, bem como para aplicação em produtos de funcionalidade específica (massa folhada, recheio de biscoitos e panificação). A interesterificação química pode ser aplicada com sucesso na produção de shortening para bolo, resultando em diminuição do consumo de AGT sem alterações significativas na textura do bolo. As alterações na textura dos bolos tornam-se aceitáveis levando em consideração que as gorduras formuladas não foram adicionadas de estabilizante, sendo que este altera as características do produto final significativamente.

Agradecimentos: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e às empresas Triângulo Alimentos S.A. e Bunge Alimentos S. A.

Referências

ALMEIDA, D. F. S. B. **Desenvolvimento e aplicação de gorduras *low trans* em margarina e bolo tipo inglês.** 2008. 179p. Tese (Doutorado Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2008.

ANVISA. Visa Legis. Legislação em Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php>. Acesso em: 26 de abril de 2009.

BARRERA-ARELLANO, D.; BLOCK, J. M.; GRIMALDI, R.; FIGUEIREDO, M. F.; GOMIDE, F. A. C.; ALMEIDA, R. R. **MIX: Programa para formulação de gorduras com redes neurais**. Registro INPI 98003155. 2005. Campinas – SP, Disponível em: <http://www.cfex.com.br>.

BLOCK, J. M.; BARRERA-ARELLANO, D.; FIGUEIREDO, M. F.; GOMIDE, F. C.; SAUER, L. Formulation of special fats by neural networks: a statistical approach. **JAOCS**, Vol. 76, n. 11, 1357-61, 1999.

CAUVAIN, S. P. Improving the control of staling in frozen bakery products. **Trends in Food Science Technology**. Amsterdam, Vol. 9, n. 2, p. 56-61, 1998.

DOGAN, I. S.; JAVIDIPOUR, I.; AKAN, T. Effects of interesterified palm and cottonseed oil blends on cake quality. **International Journal of Food and Technology**, Oxford, v.42, p. 157-164, 2007.

ESTELLER, M. S.; AMARAL, R. L.; LANNES, S. C. S. Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 35, p. 383-93, 2004a.

ESTELLER, M.S.; ZANCANARO JÚNIOR, O.; LANNES, S.C.S. The effect of kefir addition on microstructure parameters and physical properties of porous white bread. **Eur. Food Res. Technol.**, Heidelberg, v.222, p. 26- 31, 2006a.

FIRESTONE, D.; AOCS. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 4. ed. Champaign: AOCS, 2003.

GANDRA, K. M.; GARCIA, R. K. A.; BLOCK, J. M.; BARRERA-ARELLANO, D. Verificación de la eficiencia de una red neuronal para formular grasas especiales a partir de grasas interesterificadas soja-soja. In: XII Congr. Latinoam. Grasas y Aceites. Rosario, Argentina, 2009. p. 96-98.

GÓMEZ, M., RONDA, F., CABALLERO, P., BLANCO, C.; ROSELL, C. M. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. **Food Hydrocolloids**, Vol. 21, p. 167-73.

GÓMEZ, M.; MORALEJA, A.; OLIETE, B.; RUIZ, E.; CABALLERO, P.A. Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. **LWT - Food Science and Technology**, vol. 43, p. 33-8, 2010.

HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Lab. Pract.**, London, v. 22, p. 475-6, 1973.

KARABULUT, I.; TURAN, S; ERGIN, G. Effects of chemical interesterification on solid fat content and slip melting point of fat/oil blends. **European Food Research Technology**, n. 218, 2004, p 224–229.

MATSAKIDOU, A.; BLEKAS, G.; PARASKEVOPOULOU, A. Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil. **LWT - Food Science and Technology**, Vol. 43, 949-57, 2010.

O'BRIEN, Richard. Shortening: Types and Formulations. In: **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. Edible Oil and Fat. Six volume set. Hardcover, 2005. Vol. 1.

OSAWA, C. C.; FONTES, L. C. B.; MIRANDA, E. H. W.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Avaliação físico-química de bolo de chocolate com coberturas comestíveis à base de gelatina, ácido esteárico, amido modificado ou cera de carnaúba. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, Vol. 29, n. 1, p. 92-9, jan.-mar. 2009.

RIBEIRO, A. P. B.; MOURA, J. M. L. N.; GRIMALDI, R.; GONÇALVES, L. A. G. Interesterificação química: alternativa para obtenção de gorduras *zero trans*. **Química Nova**, Vol. 30, n. 5, 1295-300, 2007.

RIBEIRO, Ana Paula B.; GRIMALDI, Renato; GIOIELLI, Luiz A.; GONÇALVES, Lireny A.G.. *Zero trans* fats from soybean oil and fully hydrogenated soybean oil: Physico-chemical properties and food applications. **Food Research International**, vol. 42, p 401-10, 2009.

SOWMYA, M.; JEYARANI, R.; JYOTSNA; INDRANI, D. Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on T. rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes. **Food Hydrocolloids**. Vol. 23, 2009.