



Interesterificação e propriedades físicas de gorduras

Prof. Dr. Luiz Antonio Gioielli

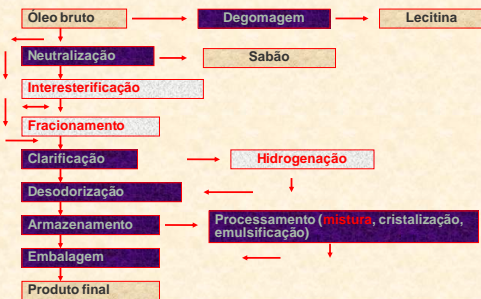


Métodos de modificação de óleos e gorduras

Segundo os níveis de intensidade:

- 1) Mistura (interação)
- 2) Fracionamento (físico)
- 3) Interesterificação (químico – éster)
 - a) Acidólise
 - b) Alcoólise
 - c) Transesterificação
- 4) Hidrogenação (químico – dupla ligação)

Fluxograma das etapas de refinação e modificação de óleos e gorduras



Interesterificação

**Redistribuição dos ácidos graxos
nos triacilgliceróis,
por métodos químicos ou
enzimáticos**

- Não forma gordura *trans*
- Não elimina gordura *trans*

**A principal vantagem da interesterificação
sobre a hidrogenação está relacionada à nutrição.**

ROUSSEAU, D., MARANGONI, A.J. Chemical interesterification of food lipids: theory and practice. In: AKOIH, C.C., MIN, D.B., eds. Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology. Boca Raton: CRC Press, 2007, p. 268-295.



**Amostras a 25°C de oleína de palma antes e após a
reação de interesterificação**



Amostras a 20°C da mistura binária de estearina de frango e TCM antes e após a interesterificação

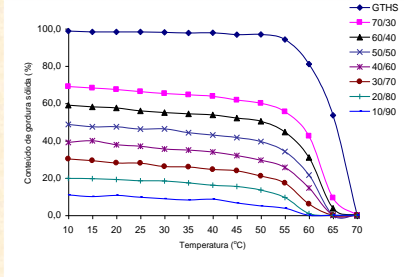
Resolução-RDC N° 360, de 23 de dezembro de 2003, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária:

Estabelece que os teores de isômeros trans nos produtos alimentícios sejam declarados, sendo que as empresas têm o prazo até 31 de julho de 2006 para se adequarem às exigências.

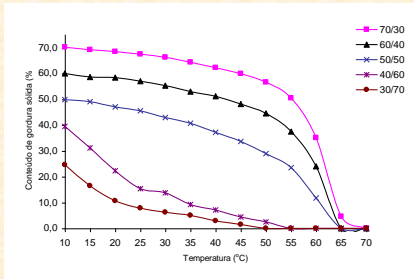
GIOIELLI, L.A. Desenvolvimento de bases gordurosas para margarinas cremosas por interesterificação. São Paulo, 1985. 145p. [Tese de Doutorado – FCF/USP].



Novo processo torna margarina mais natural
O Estado de São Paulo, agosto / 1985

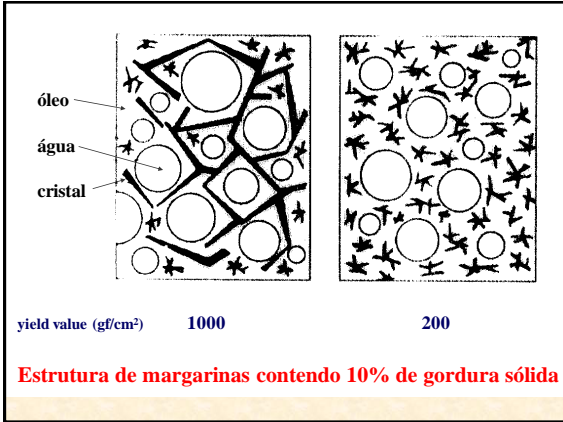


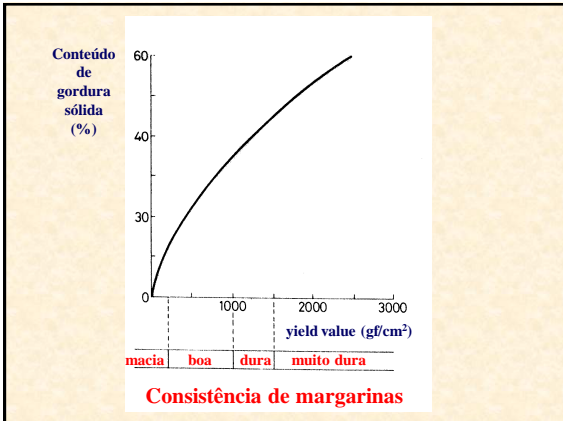
Conteúdo de gordura sólida para a gordura totalmente hidrogenada de soja e suas misturas binárias com óleo de linhaça



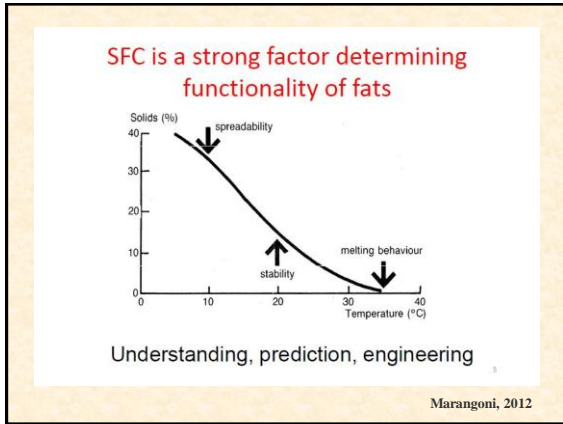
Conteúdo de gordura sólida das misturas binárias de gordura totalmente hidrogenada de soja com óleo de linhaça após a interesterificação química

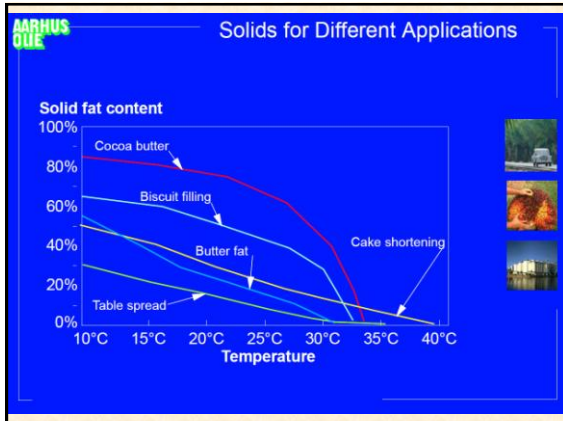
Propriedades físicas

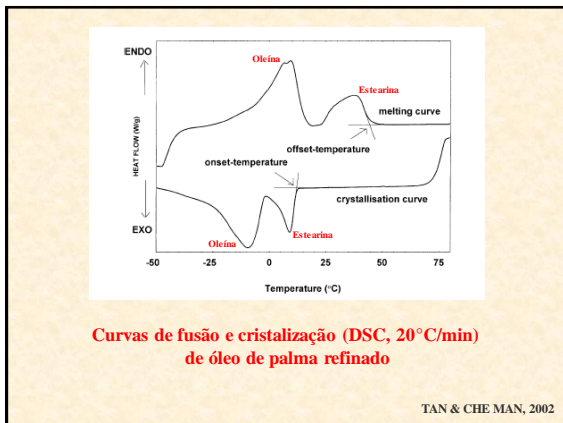


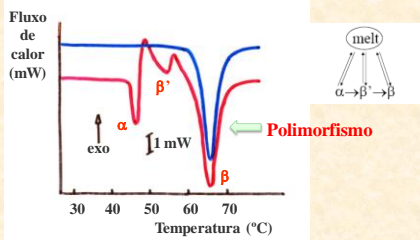












Fusão da tripalmitina (DSC)

Massa: 10,1 mg
 Cadinho: alumínio
 Aquecimento: 5°C/min
 Amostra sem tratamento pelo calor
 Amostra aquecida a 70°C e resfriada rapidamente a 20°C

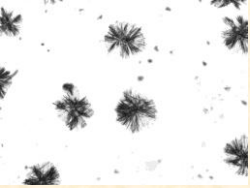
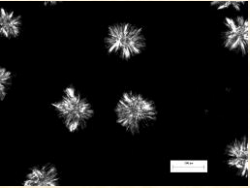
Pontos de fusão de formas polimórficas de triacilgliceróis

	Ponto de fusão (°C)		
	α	β-primária	β
Trissaturados			
SiSiSi	54,7	64,3	72,5
PPF	44,7	55,7	65,9
SfPS	50,7	64,0	68,0
SiSiP	50,1	61,8	64,4
PSfP	47,2	67,7	-
SfPP	46,4	58,7	62,6
Monossaturados-dissaturados			
SiOSi	37,0	41,5	44,0
SiSiO	30,3	41,9	-
POP	26,5	33,5	37,2
PPO	18,4	31,0	34,5
SiOP	19,6	33,0	37,1
SiPO	17,9	-	40,2
PSO	25,9	40,0	41,0
PPL	-	26,5	36,0
SiSiL	-	-	35,8
Dissaturados-monossaturados			
OPO	-	-	19,6
OOP	-	-	18,5
OStO	-	20,5	23,9
OOSi	-	-	23,5
Trissaturados			
OOO	-33,7	-10,0	4,8
LLL	-	-25,3	-12,3

S=estearato, P=palmitato, O=oleato, L=linoleico



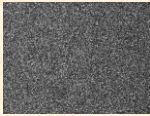
Sistema de microscopia


Luz não polarizada Luz polarizada

Observação por microscopia da cristalização a 25°C de misturas de estearina de palma e azeite de oliva (70:30)


Polimorfismo Benefat



20°C



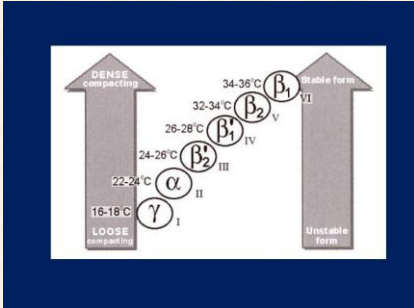
30°C



45°C

BENEFAT® has 5 Kcal/gram (US) or 6 Kcal/gram (EU) but all the functionality of a traditional fat

TRADITIONAL FAT	
Long chain fatty acids	9 Kcal/gram
BENEFAT® (SALATIN®)	
Short-Chain	5
Medium-Chain	8
Long-Chain	9
Unsaturated	10
Trans	11
Cholesterol	12
Phospholipids	13
Water	14
Other	15
Other	16
Other	17
Other	18
Other	19
Other	20
Other	21
Other	22
Other	23
Other	24
Other	25
Other	26
Other	27
Other	28
Other	29
Other	30
Other	31
Other	32
Other	33
Other	34
Other	35
Other	36
Other	37
Other	38
Other	39
Other	40
Other	41
Other	42
Other	43
Other	44
Other	45
Other	46
Other	47
Other	48
Other	49
Other	50



Formas polimórficas da manteiga de cacau

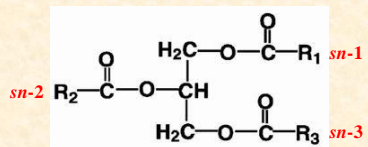
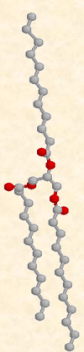
Marangoni, 2008



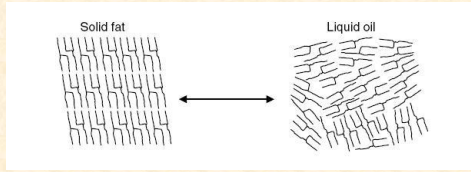
Cristalização rápida de
gordura de palmiste a 10°C



Cristalização lenta de
gordura de palmiste a 25°C
(2 h)

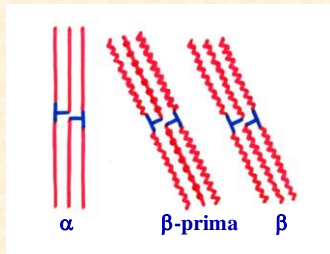


Estrutura da molécula do triacilglicerol



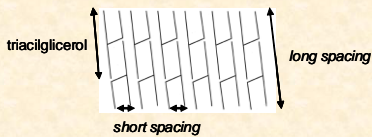
Triacilgliceróis nos estados sólido e líquido

McClements, 2005



Formas polimórficas para a triestearina

- α : cadeias verticais oscilantes
- β-prima : cadeias inclinadas com zig-zags adjacentes em planos diferentes
- β : cadeias inclinadas com todos zig-zags no mesmo plano



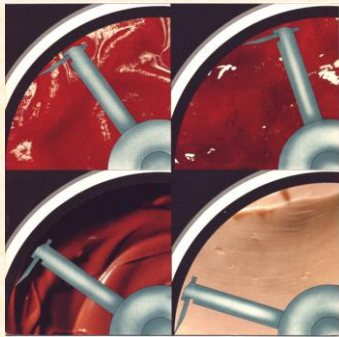
Tipos de empacotamento de cadeia referentes aos polimorfos β (triclinico), β* (ortorrômbico) e α (hexagonal)

Espaços curtos das formas α , β' e β
 Marangoni, 2008

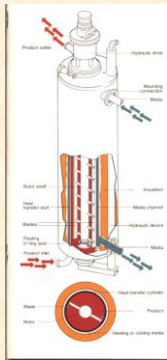
Diferentes níveis estruturais de uma gordura
 Microscopia eletrônica de transmissão criogênica (cryo-TEM)
 (Acevedo & Marangoni, 2010)

Distance between layers	4-6 nm
100%FHCO	
Cryo-TEM	$4.23 \pm 0.56 \text{ nm}$
SAXRD	4.5 nm

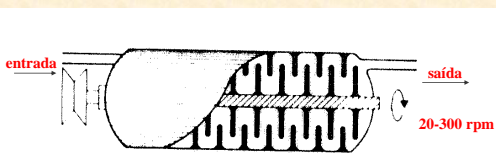
Nanoestrutura de triacilgliceróis
 Marangoni, 2012



Trocador de calor tubular de superfície raspada



Trocador de calor tubular de superfície raspada



**Cristalizador
Unidade B - agitada**



Interesterificação química

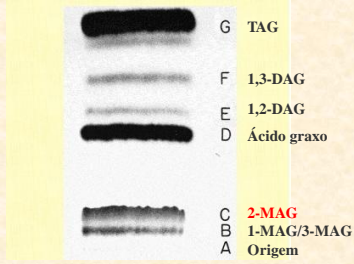
Composição em ácidos graxos de óleos e gorduras naturais

Ácidos graxos (%)	Óleo / Gordura					
	Soja	Milho	Manteiga de cacau	Homem	Porco	Frango
14:0	-	-	-	5,3	2,3	1,3
16:0	9,3	11,2	24,1	24,7	25,7	21,3
16:1	-	0,2	0,4	6,7	3,3	10,3
18:0	3,9	2,1	35,1	7,0	11,3	5,3
18:1	24,1	28,2	36,0	44,7	42,0	37,0
18:2	54,4	57,3	3,4	5,7	14,7	17,0
18:3	8,3	1,0	-	<1,0	<1,0	2,7
20:0	-	-	1,0	-	-	-

Distribuição de ácidos graxos em triacilgliceróis de óleos e gorduras naturais

Óleo / Gordura	Posição sn-	Ácidos graxos (%)						
		16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0
Soja	1	13,8	-	5,9	22,9	48,4	9,1	-
	2	0,9	-	0,3	21,5	69,7	7,1	-
	3	13,1	-	5,6	28,0	45,2	8,4	-
	(%)	3,2	-	2,6	29,7	42,7	28,5	-
Milho	1	17,9	0,3	3,2	27,5	49,8	1,2	-
	2	2,3	0,1	0,2	26,5	70,3	0,7	-
	3	13,5	0,1	2,8	30,6	51,6	1,0	-
	(%)	6,9	16,7	3,2	31,3	40,9	23,3	-
Manteiga de cacau	1	34,0	0,6	50,4	12,3	1,3	-	1,0
	2	1,7	0,2	2,1	87,4	8,6	-	-
	3	36,5	0,3	52,8	8,6	0,4	-	2,3
	(%)	2,4	16,7	2,0	80,9	84,3	-	-

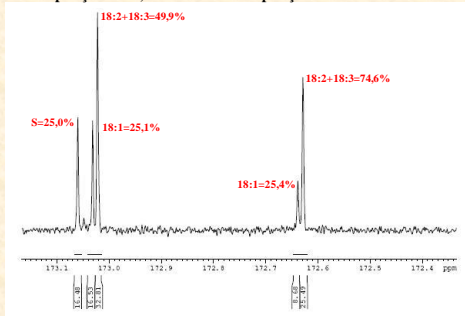
Análise regioespecífica de triacilgliceróis



Hidrólise por lipase pancreática

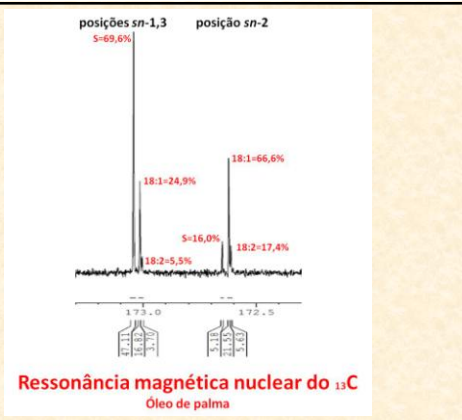
www.cyberlipid.org

posições *sn*-1,3 posição *sn*-2

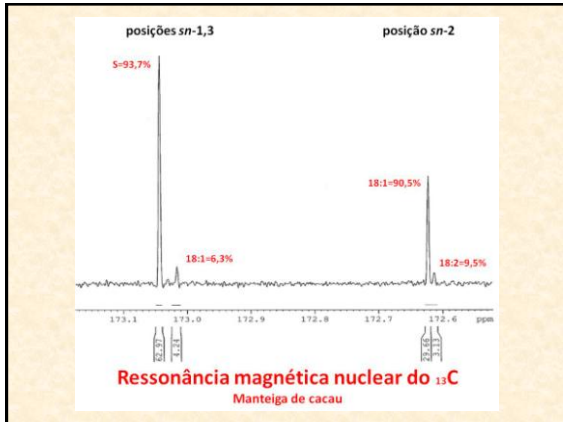


Ressonância magnética nuclear do ¹³C
Óleo de soja

posições *sn*-1,3 posição *sn*-2



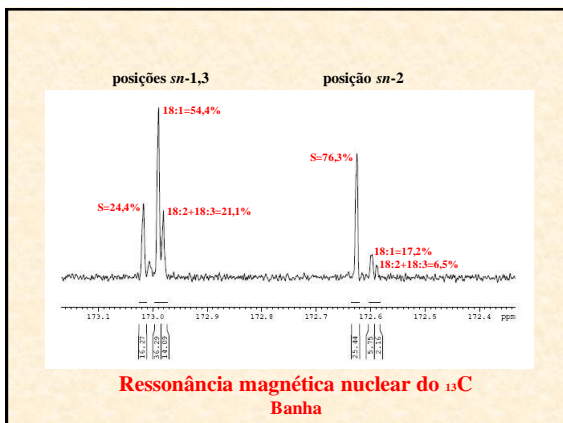
Ressonância magnética nuclear do ¹³C
Óleo de palma

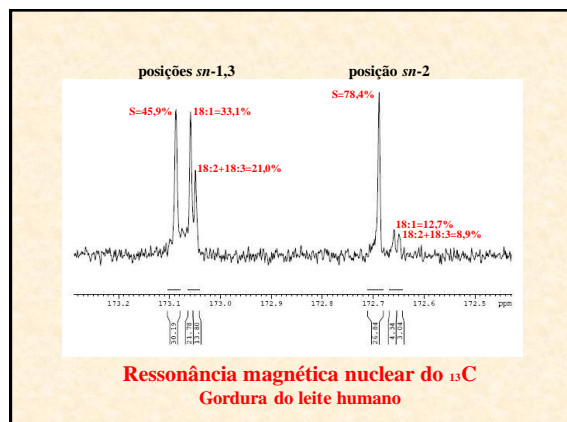


Distribuição de ácidos graxos em triacilgliceróis de óleos e gorduras naturais

Ácidos graxos (%)

Óleo / Gordura	Posição sn	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3
Homem	1	4	39	5	10	33	3	<1
	2	11	10	11	2	50	9	<1
	3	1	25	4	9	51	5	<1
	(%)	69,2	13,5	54,7	9,5	37,3	52,6	-
Porco	1	2	16	3	21	44	12	<1
	2	4	59	4	3	17	8	<1
	3	<1	2	3	10	65	24	<1
	(%)	58,0	76,5	40,4	8,9	13,5	18,1	-
Frango	1	2	25	12	6	33	14	2
	2	1	15	7	4	43	23	3
	3	1	24	12	6	35	14	3
	(%)	25,6	23,5	22,7	25,2	38,7	45,1	37,0





Estereoespecificidade dos principais triacilgliceróis de óleos e gorduras naturais

Óleo / Gordura vegetal	Principais triacilgliceróis		
Canola	OOO	LOO	OOLa
Manteiga de cacau	POSt	StOSi	POP
Coco	LaLaLa	CLaLa	CLaM
Milho	LLL	LOL	LLP
Algodão	PLL	POL	LLL
Oliva	OOO	OOP	OLO
Palmeite	LaLaLa	MOLa	OLaO
Palma	POP	POO	POL
Amendoina	OOL	POL	OLL
Soja	LLL	LLO	LLP
Girassol	LLL	OLL	LOO
Gordura animal			
Manteiga	PPB	PPC	POP
Banha	SPO	OPL	OPO
Selho	POO	POP	POSt

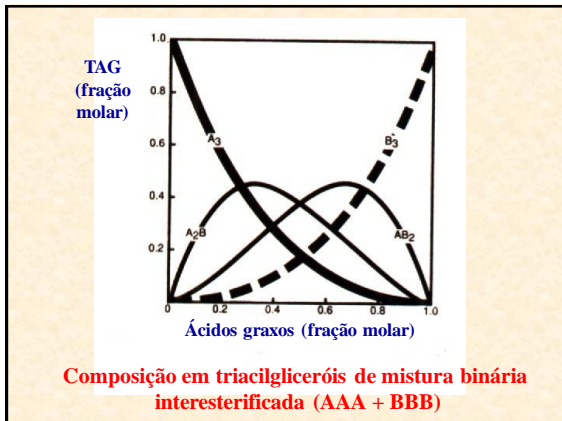
P = palmítico; O = oleico; St = esteárico; La = láurico; C = cáprico; M = mirístico; L = linoléico; La = linolénico; B = butírico

Karupalah & Sundram, Nutrition & Metabolism, v.4, n.16, p.1-17, 2007

Número estatístico de triacilgliceróis diferentes em função do número de ácidos graxos diferentes

Ácidos graxos (n)	Sem distinção de isômeros $(n^3+3n^2+2n)/6$	Sem distinção de isômeros ópticos $(n^3+n^2)/2$	Todos os isômeros n^3
1	1	1	1
2	4	6	8
3	10	18	27
4	20	40	64
5	35	75	125
10	220	550	1000





Distribuição de ácidos graxos em triacilgliceróis de óleos e gorduras interesterificados

		Ácidos graxos (%)						
Oleo / Gordura	Posição sn	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0
Soja	1	9,3	-	3,9	24,1	54,4	8,3	-
	2	9,3	-	3,9	24,1	54,4	8,3	-
	3	9,3	-	3,9	24,1	54,4	8,3	-
	(%)	33,3	-	33,3	33,3	33,3	33,3	-
Milho	1	11,2	0,2	2,1	28,2	57,3	1,0	-
	2	11,2	0,2	2,1	28,2	57,3	1,0	-
	3	11,2	0,2	2,1	28,2	57,3	1,0	-
	(%)	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	-
Manteiga de cacau	1	24,1	0,4	35,1	36,0	3,4	-	1,0
	2	24,1	0,4	35,1	36,0	3,4	-	1,0
	3	24,1	0,4	35,1	36,0	3,4	-	1,0
	(%)	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	-	33,3

**Composição em triacilgliceróis de óleo de soja
e manteiga de cacau,
naturais e interesterificados**

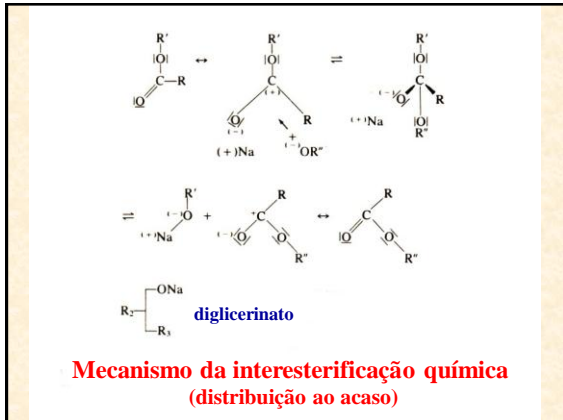
	Triacilglicerol (%)					
	SSS	SSI	SIS	SII	ISI	III
Óleo de soja						
natural	0,0	1,0	4,0	35,0	3,0	57,0
interesterificado	0,4	4,4	2,2	22,6	11,3	59,2
Manteiga de cacau						
natural	2,2	4,1	74,2	8,6	0,1	0,6
interesterificada	18,8	28,1	14,0	20,9	10,4	7,8

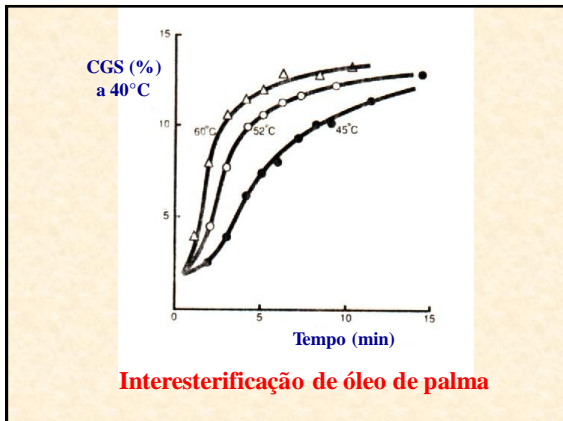
Catalisadores para interesterificação

Catalisadores	(%)	Temperatura (°C)	Tempo (min)
Alquilatos			
metálicos (metóxido de sódio)	0,1-1,0	50-120	5-120
Metais			
alcalinos (Na, K, liga Na/K)	0,1-1,0	25-270	3-120
Hidróxidos alcalinos	0,05-0,1		
+		60-160	30-45
Glicerol	0,1-0,2		

**Inativação de catalisadores de
interesterificação**

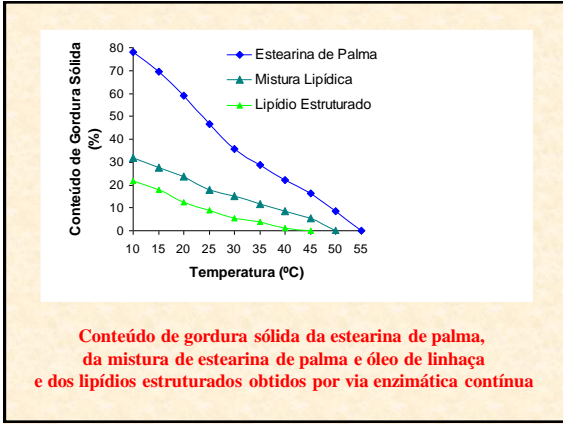
Tipo	Veneno Nível	Catalisador inativado (kg / 1000 kg óleo)		
		Na	NaOCH ₃	NaOH
Água	0,01 %	0,13	0,3	-
Ácidos graxos livres (em ácido oléico)	0,05 %	0,04	0,1	0,07
Peróxido	1,0 (meq O ₂ /kg)	0,023	0,054	0,04
Total		0,193	0,454	0,11

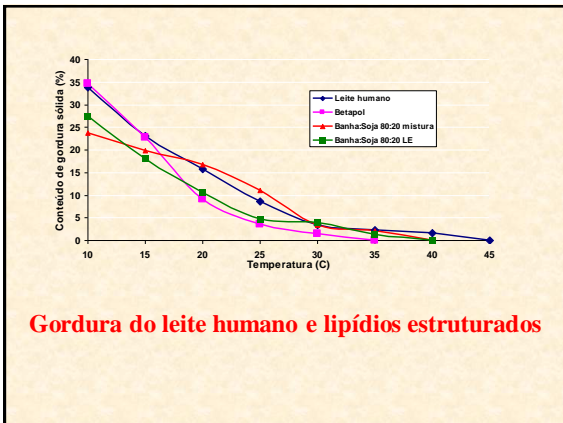


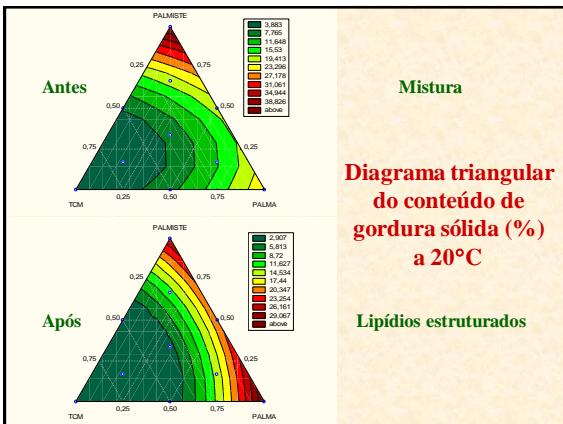


**Alterações no ponto de fusão devidas à
interesterificação**

Óleo / Gordura	Ponto de fusão (°C)	
	Antes	Após
Soja	-7,0	5,5
Algodão	10,5	34,0
Coco	26,0	28,2
Palma	39,8	47,0
Banha	43,0	43,0
Sebo	46,2	44,6
Manteiga de cacau	34,4	52,2
25% óleo de palma hidrogenado + 75% óleo de palmiste hidrogenado	50,2	40,3
25% triestearina + 75% óleo de soja	60,0	32,2










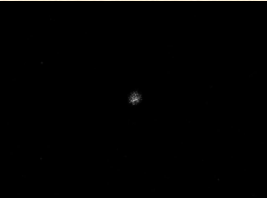
Mistura Lipídios estruturados
 Química Enzimática

Estrutura cristalina a 20°C de lipídios estruturados a partir de óleo de peixe e gordura de palmiste (20:80)

Cristalização de gordura do leite a 30°C



Cristalização de gordura do leite interesterificada a 30°C



Cristalização da mistura de gordura do leite e óleo de girassol (70:30) a 20°C

Ponto de amolecimento (°C) = 31,3
 Conteúdo de gordura sólida (%) = 11,1
 Consistência (gf/cm²) = 207,5

Cristalização da mistura interesterificada de gordura do leite e óleo de girassol (70:30) a 20°C

Ponto de amolecimento (°C) = 32,0
 Conteúdo de gordura sólida (%) = 11,6
 Consistência (gf/cm²) = 509,1

Cristalização da mistura de gordura do leite e óleo de girassol (60:40) a 20°C

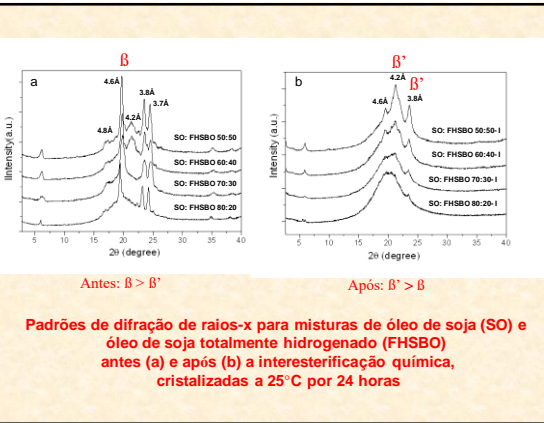
Ponto de amolecimento (°C) = 30,7
Conteúdo de gordura sólida (%) = 8,3
Consistência (g/cm²) = 0



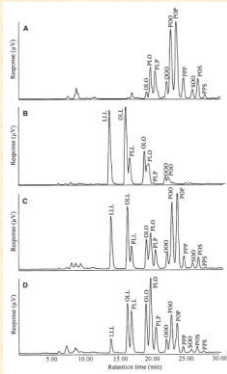
Cristalização da mistura interesterificada de gordura do leite e óleo de girassol (60:40) a 20°C

Ponto de amolecimento (°C) = 31,0
Conteúdo de gordura sólida (%) = 8,1
Consistência (g/cm²) = 176,5





Composição em triacilgliceróis - HPLC



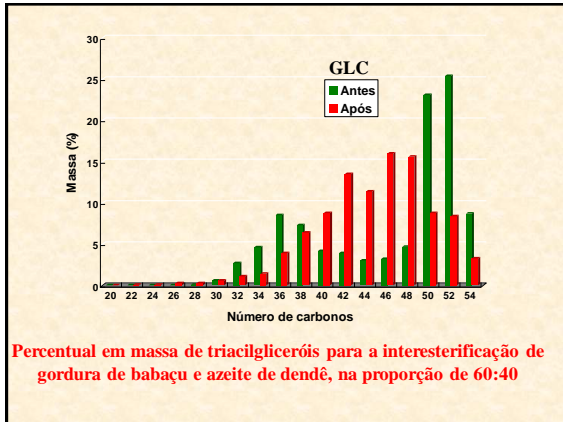
Óleo de palma

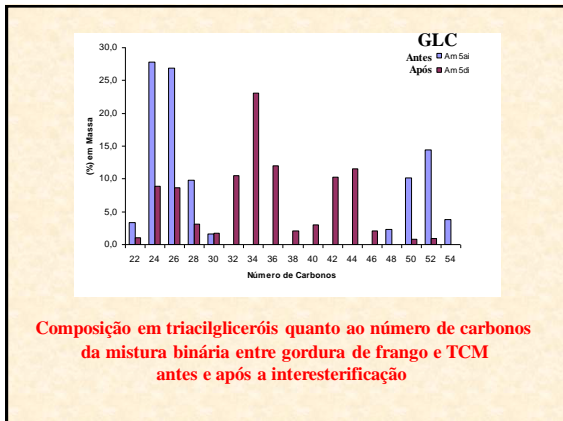
Óleo de girassol

Mistura 1:1

Mistura 1:1 após interesterificação química

Noor Lida *et al.*, 2002

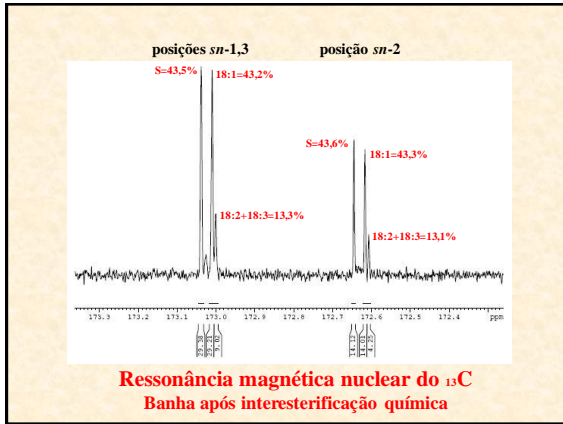


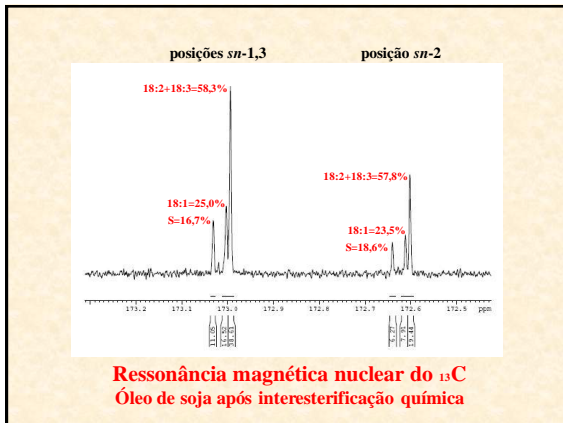


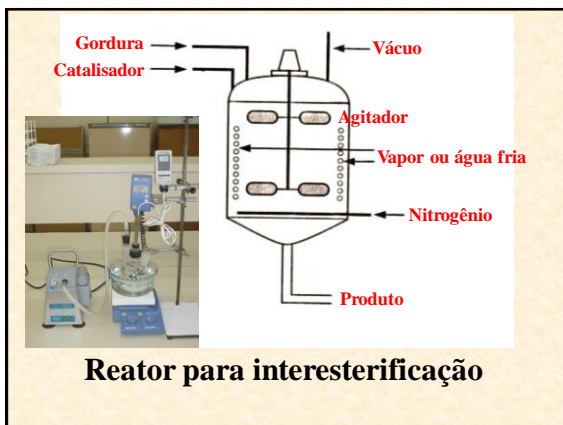
Composição da banha antes e após a interesterificação

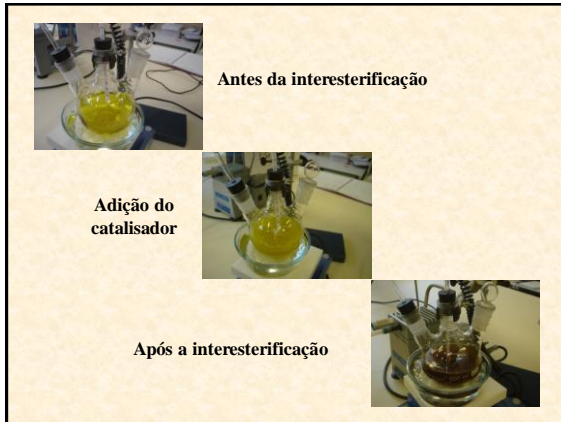
Ácido graxo	Antes (%)		Após (%)	
	Total	Posição <i>sn-2</i>	Total	Posição <i>sn-2</i>
	16:0	24,8	63,6	23,8
16:1	3,1	6,4	2,9	3,3
18:0	12,6	3,0	12,2	12,0
18:1	45,0	16,5	47,2	47,4
18:2	9,8	5,1	9,5	9,8
Outros	4,7	5,4	4,4	3,3

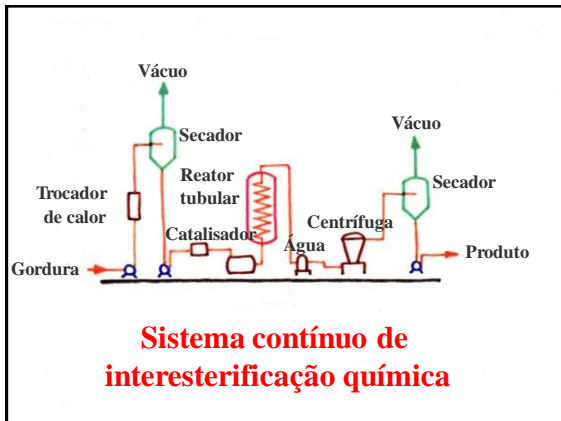
Hidrólise por lipase pancreática











Interesterificação química

Caprenina (Procter and Gamble)

- Composição em ácidos graxos (m/m):
8:0 = 22%; 10:0 = 27%; 22:0 = 51%
- Composição em triacilgliceróis:
C38 (8-8-22, ~ 22%); C40 (8-10-22, ~ 48%); C42 (10-10-22, ~ 24%)
- Gordura de baixo valor calórico (cerca de 5 kcal/g) com propriedades funcionais similares às da manteiga de cacau e utilizada em doces e coberturas para nozes, frutas e biscoitos

Interesterificação química

Salatrim (Nabisco), Benefat (Cultor)

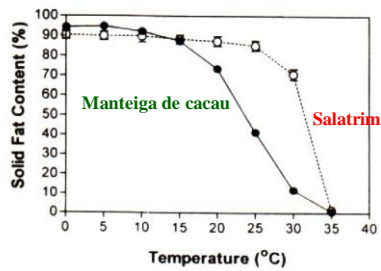
Short and long acyl triglyceride molecule

- Composição:

Ácidos graxos de cadeia curta: 2:0; 3:0; 4:0

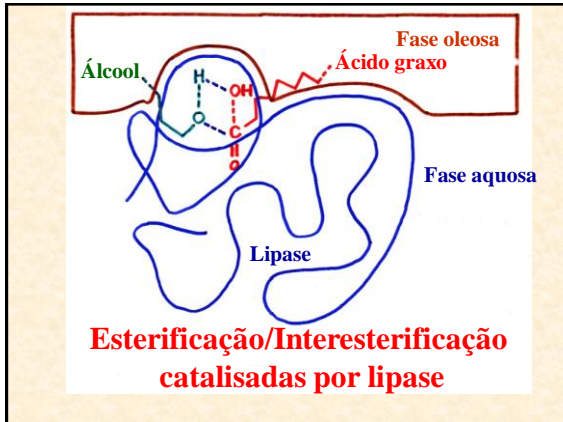
Ácidos graxos de cadeia longa: 16:0; 18:0

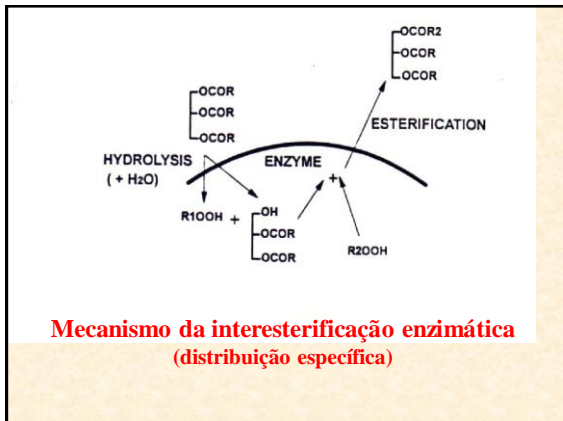
- Gordura de baixo valor calórico (cerca de 5 kcal/g), usada em chocolates (coberturas e recheios), laticínios, sorvetes e "snacks"

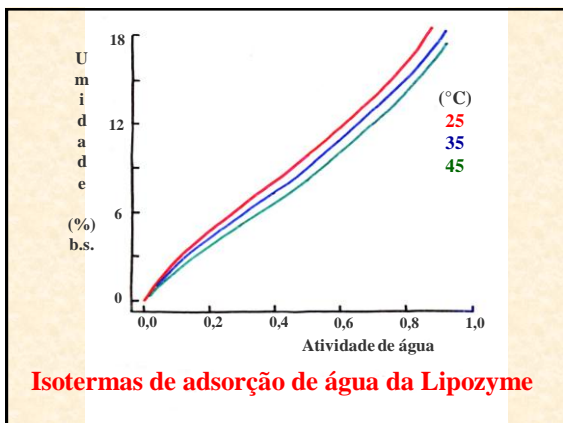


Curvas de sólidos de manteiga de cacau e Salatrim

Interesterificação enzimática







Processos descontínuos e contínuos

Enzimas mais utilizadas:

Lipozyme TL IM (lipase imobilizada de *Thermomyces lanuginosa*)

Lipozyme RM IM (lipase imobilizada de *Rhizomucor miehei*)

Novozyme 435 (lipase imobilizada de *Candida antarctica*)

Temperaturas: 45 - 90°C

Quantidade de enzima (descontínuos): 2 - 30%

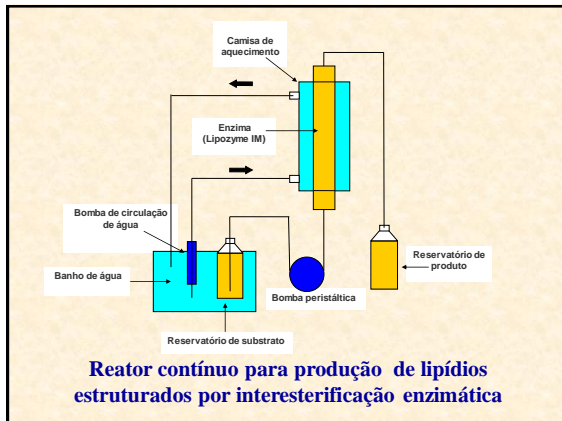
Solventes:

Descontínuos: nenhum (maioria) ou n-hexano

Contínuos: nenhum

Tempo de processos descontínuos: 1 - 72h

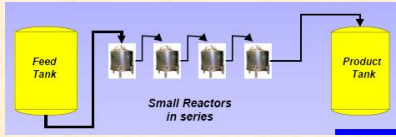
Tempos de residência (contínuos): 15 - 468 min



Reator contínuo para produção de lipídios estruturados por interesterificação enzimática



Reator contínuo para produção de lipídios estruturados por interesterificação enzimática



Reatores de leito fixo em série

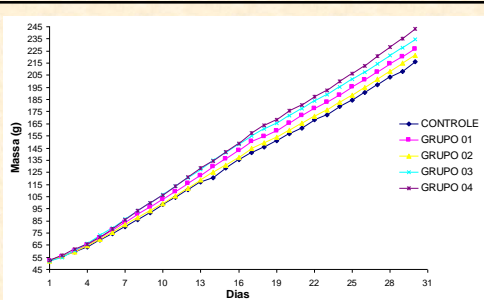
Efeito guarda no primeiro reator

Produtividade média: 1-2 kg óleo interesterificado/kg enzima.h

Produção de 2500-4000 kg óleo interesterificado/kg enzima (> 2500 h)

A atividade da enzima diminui em função do tempo

Wim De Greyt, De Smet Group, 2004



Ganho de peso dos ratos Wistar em função do tempo,
de acordo com a ração oferecida
(estearina de palma/óleo de linhaça 50:50)

Interesterificação enzimática

CBE (equivalente de manteiga de cacau)

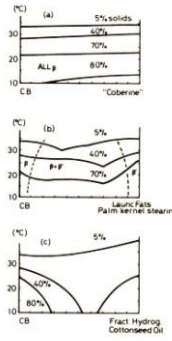
lipase *sn*-1,3

POP + St → POP + POS_t + StO St

POP = fração intermediária do óleo de palma

St = ácido esteárico

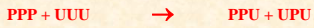
Compatibilidade de manteiga de cacau com outras gorduras



Interesterificação enzimática

Betapol

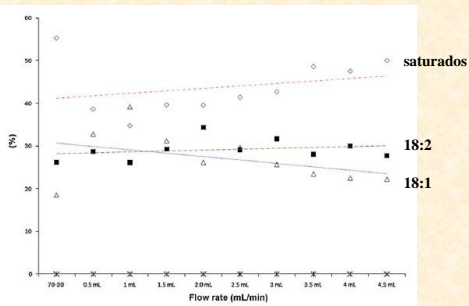
lipase *sn*-1,3



PPP = tripalmitina

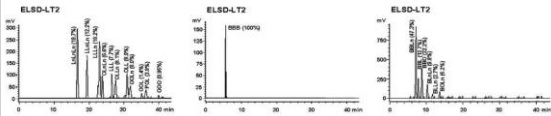
UUU = fonte de ácido oléico (óleo de girassol alto oléico) ou de ácido linoléico (óleo de soja)

Imita a distribuição dos ácidos graxos do leite humano para uso em fórmulas para crianças



Ácidos graxos na posição *sn*-2 de lipídios estruturados obtidos a partir de interesterificação enzimática contínua (Lipozyme TL IM) de banha e óleo de soja (70:30)

Interesterificação enzimática



Óleo de linhaça

Tributirina

Lípidios estruturados

Lípidios estruturados de óleo de linhaça e tributirina
Ação quimiopreventiva na hepatocarcinogênese

Comparação de custos

Custo (US\$ /ton)	Interesterificação	Interesterificação	Hidrogenação
	Química	Enzimática	
Investimento	6,5	3,7	9,0
Operação	21,0	34,7	48,7
Perdas de óleo	10,5	2,3	0,7
Custo total	38,0	40,7	58,4

Wim De Greyt, De Smet Group, 2004

Comparação

Interesterificação

Química

Enzimática

Vantagens

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Menor custo • Rápida • Fácil de aumentar a escala • Melhor adaptada para processos descontínuos | <ul style="list-style-type: none"> • Especificidade (por posições do glicerol e por ácidos graxos) • Reutilização de lipases imobilizadas • Condições de reação brandas • Melhor adaptada para processos contínuos • Refinação posterior mais simples • Menor formação de sub-produtos |
|--|--|

Comparação

Interesterificação

Química	Enzimática
Desvantagens	
<ul style="list-style-type: none"> • Não tem especificidade • Escurecimento do óleo • Maiores perdas de óleo (mín. 1,5%) • Catalisador tóxico (olhos, pele, vias respiratórias) • Formação de sub-produtos (ésteres metílicos, sabões, mono e diacilgliceróis) • Maiores perdas de tocoferóis 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo das lipases • Mudanças de matéria-prima em processos contínuos • Difícil de aumentar a escala • Lenta • Migração acil (processos descontínuos lentos)

Identificação de gorduras modificadas

Gordura parcialmente hidrogenada:

Ácidos graxos *trans* (mesmo em misturas)

Gordura interesterificada:

Composição em triacilgliceróis
Análise regioespecífica ou estereoespecífica
Misturas?

Sociedade Brasileira de Cardiologia

Santos R.D., Gagliardi A.C.M., Xavier H.T., Magnoni C.D., Cassani R., Lottenberg A.M. et al. I Diretriz sobre o consumo de gorduras e saúde cardiovascular. Arq. Bras. Cardiol., v. 100, n.1, Supl.3, p.1-40, 2013.

Não há evidências científicas que permitam concluir o efeito do rearranjo de ácidos graxos na gordura interesterificada sobre parâmetros metabólicos e de desenvolvimento da aterosclerose e desfecho cardiovascular. Contudo, cabe ressaltar que há grande predominância de ácidos graxos saturados na gordura interesterificada de utilização industrial.

Recomendação: o consumo de gordura interesterificada pode alterar lípidos plasmáticos, e mais estudos são necessários para conclusões da ação dessa gordura sobre metabolismo dos humanos.

Metabolismo

Dados nutricionais mostram redução no consumo de ácidos graxos *trans* e leve aumento no consumo de ácidos palmítico e esteárico na última década.

A quantidade de gorduras interesterificadas consumida pela população é desconhecida.

É desconhecido quanto do consumo de ácidos palmítico e esteárico é proveniente de gorduras interesterificadas.

A maioria dos estudos não sugere que o consumo de gorduras interesterificadas tenha efeitos adversos no perfil das lipoproteínas.

Estudos que incorporam menos de 50% de gordura interesterificada em relação à gordura total normalmente não detectam efeitos adversos.

A avaliação pós-prandial de uma única refeição é muito menos informativa que a exposição dos indivíduos à gordura teste por 2-4 semanas, que permite adaptação às alterações na dieta.

Gorduras vegetais interesterificadas, com maior proporção de ácidos graxos saturados de cadeia longa na posição *sn-2*, são mais bem absorvidas por animais e crianças, mas não por adultos humanos.

A influência da gordura da dieta no metabolismo de glicose e insulina é afetada pelos indivíduos sob estudo: pessoas saudáveis são menos afetadas que aquelas com hiperlipidemia ou diabetes; jovens são menos afetados que idosos, mais sujeitos ao sobrepeso e diabetes.

A interpretação dos resultados é complicada pelas diferenças na quantidade de gordura na dieta, duração do período da dieta (máximo 4 semanas), pequena população envolvida e escolha do estudo metabólico.

É necessário investigar os efeitos de gorduras com diferentes composições posicionais, mas com características físicas similares, a fim de distinguir entre efeitos da composição posicional (proporção de ácidos palmítico e esteárico na posição *sn-2*) e das propriedades físicas.

É provável que diferenças nas características físicas de gorduras resultantes da interesterificação sejam os fatores determinantes do nível de lipemia pós-prandial, ao invés da posição dos ácidos graxos nos triacilgliceróis.

Pesquisa adicional é necessária para esclarecer os efeitos à saúde em longos períodos de gorduras interesterificadas usadas comercialmente.

Conclusão

A interesterificação química ou enzimática apresenta-se como 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 aos outros métodos de modificação existentes, como a mistura, o fracionamento e a hidrogenação.

Bibliografia

- BERRY, S.E.E. Triacylglycerol structure and interesterification of palmitic and stearic acid-rich fats: an overview and implications for cardiovascular disease. *Nutrition Research Reviews*, v. 22, p. 3-17, 2009.
- GIOELLI, L.A. Lípidios estruturados. In: CIRI, R., POMPEIA, C., MIYASAKA, C.K., PROCÓPIO, J., eds. *Entendendo a gordura: os ácidos graxos*. São Paulo: Mamak, 2002, p. 457-465.
- MU, H., PORSGAARD, T. The metabolism of structured triacylglycerols. *Progress Lipid Research*, v. 44, p. 430-448, 2005.
- RIBEIRO, A.P.R., BASSO, R.C., GRIMALDI, R., GIOELLI, L.A., GONÇALVES, L.A.G. Instrumental methods for the evaluation of interesterified fats. *Food Analytical Methods*, v. 2, n. 4, p. 282-302, 2009.
- RODRIGUES, J.N., GIOELLI, L.A. Chemical interesterification of milkfat-corn oil blends. *Food Research International*, v. 36, n. 2, p. 149-159, 2003.
- SILVA, R.C., SOARES, F.A.S.M., LOURENÇO, M.B., SOARES, F.A.S.M., SILVA, K.C.G., GONÇALVES, M.L.A., GIOELLI, L.A. Structured lipids obtained by chemical interesterification of olive oil and palm stearin. *LWT - Food Science and Technology*, v. 43, n. 5, p. 752-758, 2010.
- SILVA, R.C., SOARES, F.A.S.M., HAZZAN, M., CAPACIA, I.R., GONÇALVES, M.L.A., GIOELLI, L.A. Continuous enzymatic interesterification of lard and soybean oil blend: effects of different flow rates on physical properties and acyl migration. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v. 76, n.1, p.23-28, 2012.
- SILVA, R.C., SOARES, F.A.S.M., FERNANDES, T.G., CASTELLS, A.L.D., SILVA, K.C.G., GONÇALVES, M.L.A., CHU, C.M., GONÇALVES, L.A.G., GIOELLI, L.A. Interesterification of lard and soybean oil blends catalyzed by immobilized lipase in a continuous packed bed reactor. *Journal American Oil Chemists' Society*, v. 88, n. 12, p. 1925-1933, 2011.
- SILVA, R.C., RIBEIRO, A.P.B., SOARES, F.A.S.M., CAPACIA, I.R., HAZZAN, M., SANTOS, A.O., CARDOSO, L.P., GIOELLI, L.A. Microstructure and thermal profile of structured lipids produced by continuous enzymatic interesterification. *Journal American Oil Chemists' Society*, v. 90, n. 5, p. 631-639, 2013.
- SOARES, F.A.S.M., SILVA, R.C., SILVA, K.C.G., LOURENÇO, M.B., SOARES, D.F., GIOELLI, L.A. Effect of chemical interesterification on physicochemical properties of blends of palm stearin and palm olein. *Food Research International*, v. 42, n. 9, p. 1287-1294, 2009.
- SOARES, F.A.S.M., SILVA, R.C., HAZZAN, M., CAPACIA, I.R., VICCOLA, E.R., MARUYAMA, J.M., GIOELLI, L.A. Chemical interesterification of blends of palm stearin, coconut oil, and camola oil: physicochemical properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 60, n. 6, p. 1461-1469, 2012.
- SOARES, F.A.S.M., OSÓRIO, N.M., SILVA, R.C., GIOELLI, L.A., FERREIRA-DIAS, S. Batch and continuous lipase-catalyzed interesterification of blends containing olive oil for *trans*-free margarine. *European Journal Lipid Science Technology*, v. 115, n. 4, p. 413-428, 2013.



www.fcf.usp.br

lagio@usp.br
