

IMPORTÂNCIA DO PROCESSO DE CRISTALIZAÇÃO E PLASTIFICAÇÃO NA ESTABILIZAÇÃO POLIMÓRFICA DO ÓLEO DE PALMA E SEU REFLEXO REOLÓGICO

Bruno Paulo de Moraes (Centro Universitário Padre Anchieta)

Claudemar José Trevizam (Centro Universitário Padre Anchieta)

Flávio Gramolleli Junior (Centro Universitário Padre Anchieta)

RESUMO

Os fenômenos físicos que regem a cristalização de gorduras vegetais são extremamente complexos, e para o seu entendimento é necessário considerar principalmente os eventos termodinâmicos relacionados à formação e estabilidade dos cristais. Comparando três tipos de cristalização na matriz lipídica óleo de palma, dois processos foram realizados de forma não controlada e um, na representação de como essa matriz lipídica deve ser industrialmente processada, através de um processo piloto de cristalização e plastificação de gorduras. Ambas as redes cristalinas formadas foram acompanhadas diariamente com resultados de análise de Calorimetria Diferencial por Scanner (DSC), permitindo as observações nas transições polimórficas, além da base de dados para o cálculo da energia livre de Gibbs, apontando dentre os cenários dos sistemas avaliados, qual dos tratamentos apresenta uma maior estabilidade termodinâmica dentro das matrizes cristalinas formadas. Tal entendimento permite a produção de gorduras com características de textura mais uniforme em sua reologia, ou seja, mais plásticas. Os aspectos reológicos estão diretamente ligados à qualidade de produtos aplicados como, por exemplo, *shortenings*, cremes vegetais e margarinas. Com a crescente demanda por alimentos, a ideia de produzir mais corrobora com produzir mais rápido e certo da primeira vez.

Palavras Chaves: cristalização de lipídeos, plastificação de lipídeos, polimorfismo de lipídeos, reologia de lipídeos e energia livre de Gibbs.

ABSTRACT

Physical phenomena which rules the crystallization of vegetable fat are extremely complex, and, for its understand it is mainly necessary to consider the thermodynamics events related to crystal formation and stability. Comparing three types of crystallization in a lipid matrix of palm oil, two process were performed in a non controled way, and one, in a representation of how this lipid matrix must be industrially processed, through a fat crystallization and plastification pilot process. Both formed crystal network were followed daily for results of Differential Scann Calorimetry analysis (DCS), allowing the observation on polymorphic transitions, and still data basis for Gibbs free energy calcule, pointing between assessd system scenario, which treatment brings the higher thermodynamic stabilty among crystal matrix formed. Such understandment allows the production of fats with more uniform texture characteristcs in its rheology, in other words, more plastic. Rheological aspects are directly linked to quality of applied products as

exemple shortening, vegetable creams and margerins. With the increasing demand for food, the ideia of producing more corroborates with producing faster and first time right.

Key Words: lipid crystallization, lipid plastification, lipid polymorphism, lipid rheology and Gibbs free energy.

1. INTRODUÇÃO

Lipídios, compostos presentes nos organismos vivos e em sua maioria insolúveis em água. Dentro dessa classificação estão incluso os óleos, gorduras, ceras, hormônios esteroides, colesterol, vitaminas lipossolúveis, e os fosfolípídeos (presentes nas membranas celulares).

A dieta humana é estritamente dependente de lipídios, uma vez que os ácidos graxos essenciais presentes nessas fontes somente podem ser introduzidos no nosso organismo através da ingestão. Além das qualidades nutricionais, sensorialmente as diferentes características físicas como ponto de fusão, condução térmica no processo de fritura e transporte de vitaminas lipossolúveis e aromas também são características muito importantes dos lipídios. Também, de encontro à essas propriedades, matrizes lipídicas podem influenciar no tempo de prateleira, sabor, aroma, textura e aparência de alimentos que as tem como ingrediente (O'BRIEN, 1998).

Propriedades físicas, por exemplo, dureza, textura, reologia e espalhamento, de bases lipídicas são em consequência dos processamentos tecnológicos de lipídios, e respectivamente das redes cristalinas formadas. Fatores internos e externos podem afetar de forma significativa o processo de cristalização de lipídios. O fator interno mais importante é o polimorfismo, que é intrínseco a composição de triglicérides e ao balanço de ácidos graxos presente nos mesmos. Em contrapartida os fatores externos de maior relevância são o tratamento térmico, aditivos, balanço de mistura solido-líquido e pressão (SATO, 2013).

Chrismono Himawan (2006), considera o estudo da cristalização de gorduras como uma valiosa atividade de entendimento e de como seus mecanismos podem possibilitar o fracionamento e o processamento de alimentos. Para ele, essa tecnologia contribui operação de forma mais eficiente e com eficácia funcional nos produtos onde as gorduras são aplicadas, sendo assim otimizados.

Desta forma, o presente trabalho traz os conceitos relacionados a importância do processo de cristalização e plastificação, que materializa a ideia do controle sobre os eventos externos para a estabilização da rede cristalina, assim como o reflexo desse controle na reologia

da matriz lipídica cristalizada. A ideia em questão vai de encontro com a necessidade de produzir mais em menos tempo, contribuindo assim com a crescente demanda por alimentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Óleos e Gorduras Vegetais

A principal composição de bases lipídicas vegetais, óleos e gorduras, são moléculas chamadas de triglicerídeos ou triacilgliceróis (TAGs), além de uma pequena parcela de outros componentes como vitaminas, esteróis, fosfolipídios que são chamados de “*minor*” componentes, por se apresentarem uma concentração consideravelmente menor. Um TAG é uma molécula que apresenta três grupos funcionais ésteres (triéster) numa molécula base de glicerol. Ligados ao glicerol pela função éster, três moléculas de ácidos graxos com diferentes tamanhos e insaturações concluem a composição química da molécula de TAG ilustrado na figura 1.

Os ácidos graxos por sua vez, são formados por cadeias orgânicas de carbono e hidrogênio com um grupo de ácido carboxílico na extremidade. O tamanho ou comprimento dos hidrocarbonetos, ou ácidos graxos, pode variar de 4 a 30 carbonos (sendo mais comum entre 12 e 24) nesses compostos. É mais comum nas cadeias o número par de carbonos. Quanto menor a presença de insaturação nas mesmas, mais linear elas se apresentam. Os átomos de carbono dessa cadeia “linear” são arranjados em “ziguezague”, e exercem forte influência no empacotamento dos cristais, assim como estabilidade dos mesmos. As propriedades físicas dos TAGs são fortemente dependentes de suas composições de ácidos graxos (SMALL, 1986).

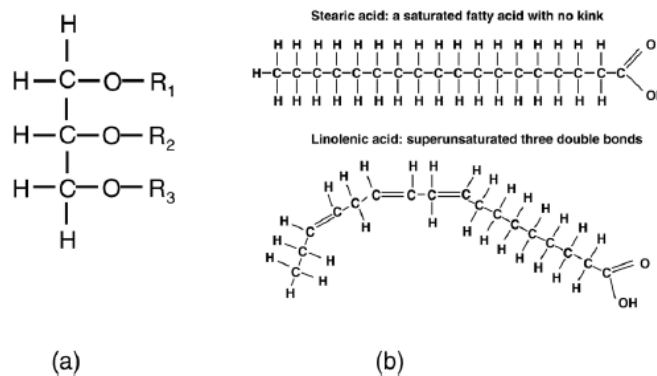


Figura 1. (a) Estrutura genérica de um TAG (R₁, R₂ e R₃ podem ou não ser diferentes tamanhos, com diferentes níveis de insaturações de ácidos graxos). (b) A estrutura química de um ácido graxo saturado e insaturado (GHOTRA, 2002).

Óleos e gorduras também podem ser usados em indústrias não alimentícias como matriz de transporte para substâncias lipossolúveis. As propriedades físicas, tais como o derretimento, morfologia, reologia e textura de fases lipídicas de produtos sólidos (por exemplo chocolates, cremes, e “shortening”) são diretamente influenciados pelo polimorfismo de cristais lipídicos e seu processo de cristalização. Para maior entendimento e domínio das propriedades físicas das gorduras, grande parte das pesquisas tem como principal objetivo no detalhamento e nas respostas de determinação das estruturas moleculares e cristalinas, assim como os fatores que contribuem de forma externa na transformação de redes cristalinas (SATO, 2001).

2.2. Óleo de Palma

O óleo de dendê, mais popularmente conhecido nas regiões norte e nordeste por essa terminologia, é tecnicamente o óleo de palma bruto (*Elaeis guineensis* Jacq.). Dentre as oleaginosas, o dendezeiro de onde o óleo de palma é extraído é segundo Lody (2019), o destaque pela maior produção por unidade de área.

Esse fruto foi trazido ao Brasil para a região da Bahia junto ao tráfico de escravos africanos, no final do século XVI. Com condições de temperatura e umidade muito parecidas com as da África, de onde foram trazidos, o cultivo do dendezeiro pôde facilmente prosperar no nordeste e logo em seguida à região norte (VENTURIERI et al., 2009).

Os principais ácidos graxos presente nos triacilgliceróis que compõem o óleo de palma são o palmítico, oleico e linoleico. De forma global, aproximadamente 90% do óleo de palma é usado para fins comestíveis (FEROLDI, 2014) . A composição de ácidos graxos presente no óleo de palma é genericamente apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Perfil de ácidos graxos do óleo de palma.

Ac. Graxo	%	
	Sambanthamurthi et al. (2000)	Rogério et al. (2012)
12:0	0,3	-
14:0	1,1	0,5
16:0	43,5	34,0
16:1	0,2	0,1
18:0	4,3	8,2
18:1	39,8	44,3
18:2	10,2	11,8
18:3	0,3	0,3
20:0	0,2	0,4

Fonte: (FEROLDI, 2014) .

Nos últimos anos, a palma tem ocupado um lugar de destaque na produção global de óleos e gorduras. Segundo FAO (2011) (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) a produção de palma no Brasil foi de 265 mil toneladas, levando o país em 2009, à décima posição do ranking global de produção.

Em termos de cristalização, tende a estabilizar na forma polimórfica beta-prima (melhor explorado no capítulo 3, item 4 deste trabalho) propriedade muito desejada em aplicações que dependem desse arranjo polimórfico (BASIRON, 2002).

2.3. Processo de Cristalização e Plastificação

O processo de cristalização de gorduras vegetais possui uma grande similaridade na grande maioria das indústrias de óleos e gorduras vegetais, de acordo com o esquema representado pela figura 2.

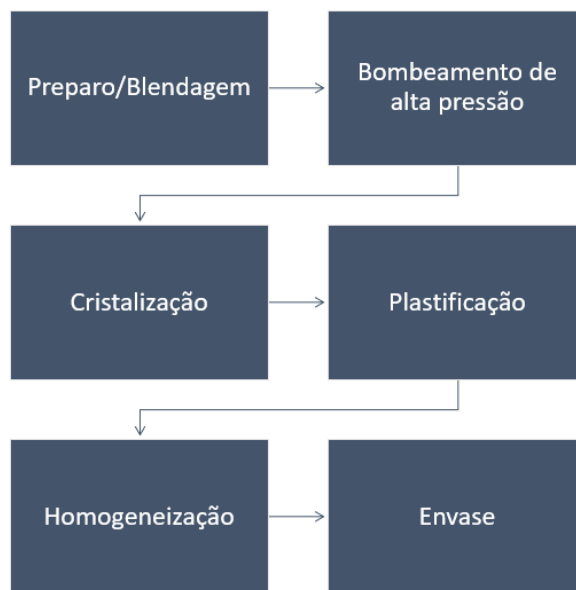


Figura 2. Diagrama de blocos simplificado do processo de cristalização e plastificação de gorduras.

Fonte: Autores

Segundo o Manual Técnico de Operações e segurança da fabricante CAVALARI FOOD MACHINERY (2018) o produto, podendo ser um óleo ou uma mistura de diferentes fontes de gorduras, é preparado de acordo com suas respectivas proporções e abastecidos nos tanques preparo/blendagem à uma temperatura de no mínimo 10° C acima do seu ponto de fusão. Em seguida, uma bomba de alta pressão, muito comumente do tipo pistão, força a passagem do produto pelos trocadores de calor tipo superfície raspada. Na rota da cristalização a gordura é

plastificada. O produto passará por um sistema de *pin rotors*, que aplica uma força mecânica para a dispersão e homogeneização dos cristais estáveis formados, assim como a destruição dos cristais instáveis.

Na saída do processo é ajustada a contrapressão com uma válvula homogeneizadora (~20 bar). Se a textura e aspecto da gordura não é o esperado, ou aconteça alguma avaria durante o processo, o mesmo não será armazenado em baldes ou caixa, e sim reencaminhado para o tanque de preparo/blendagem após a fusão completa da gordura.

A figura 3, traz tecnicamente o esquema do processo envolvendo as transformações sequenciais na cristalização, plastificação e estocagem de gorduras. A nucleação, ou formação de núcleos cristalinos ocorre nos estágios iniciais do processo, e influencia diretamente na distribuição desses núcleos e seus tamanhos, que por sua vez irão influenciar na textura final do produto. Considerando o fato de que nossa língua detecta algumas dezenas de microns, cristais com tamanhos acima dessa medida podem trazer aspectos indesejáveis para produtos mais macios. O trabalho mecânico realizado com os *pin rotors* contribui com a destruição de cristais instáveis, distribuição e homogeneização dos cristais nas fases sólido-líquido do sistema. Com o aumento na fração sólida, é de extrema importância o controle do número de núcleos cristalinos formados, pois em um determinado ponto do processo os cristais individuais começam a se tocar e as interações entre eles é o que vai reger a interação da rede cristalina. Esse processo se relaciona também ao diagrama da figura 2.

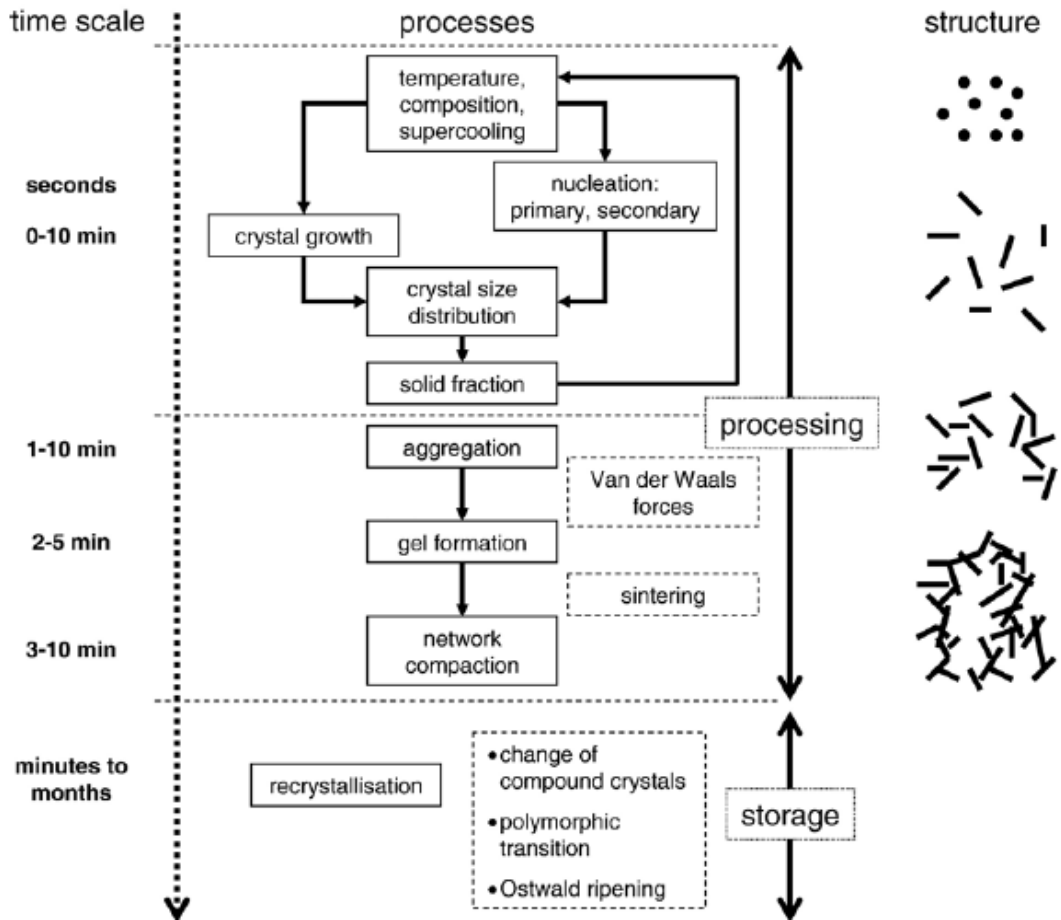


Figura 3. Representação esquemática do processo envolvendo a cristalização de lipídeos (HIMAWAN,2006).

Na sequência, temos o período de maturação que ocorre na estocagem do material. Um número considerável de pós cristalizações ocorrem, e são fortemente influenciadas por uma estabilização inicial da rede cristalina induzida pelos processos anteriores. Quanto mais estável essa indução, menor será o período necessário para a maturação, que também é influenciado pela matriz lipídica processada (HIMAWAN, 2006).

2.4. Polimorfismo

Moléculas de triacilglicerol se organizam em diferentes morfologias cristalinas ou polimorfismos, os quais apresentam significativa diferença nos pontos de fusão (HAGEMANN, 1988). O polimorfismo da maioria das gorduras é baseado em torno de três principais formas: α , β' , e β . Entretanto, algumas gorduras apresentam mais forma polimórficas que essas (LARSSON, 1966).

A estabilidade relativa de dois estados polimórficos, e a força motora para as suas respectivas possíveis transformações, a constante temperatura e pressão são determinadas pela energia livre de Gibbs (G) - levando em consideração que o polimorfo que apresenta a menor energia livre de Gibbs é o mais estável. Como detalhado por Himawan (2006), é através dos diagramas de energia livre de Gibbs que os mapeamentos termodinâmicos da estabilidade de cristais formados são realizados. Na figura 4, as principais formas polimórficas (α , β' e β) são elucidadas de acordo com a ideia de estabilidade intrínsecas as respectivas taxas de energia livre de Gibbs ao longo de diferentes temperaturas, assim como os caminhos de transição entre as formas polimórficas. O diagrama de energia livre de Gibbs é apresentado em função da entalpia (H), entropia (S) e temperatura (T), como determinado por sua equação:

$$G = H - TS \quad (I)$$

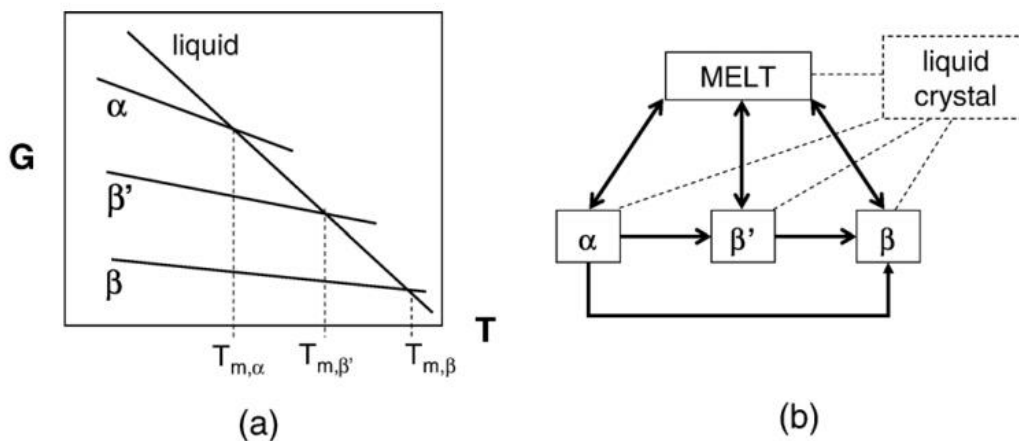


Figura 4. (a) Relação da energia livre de Gibbs em função da temperatura para as 3 principais formas polimórficas de lipídeos; (b) Possíveis caminhos para as transições polimórficas dos principais TAGs (Himawan 2006).

2.5.Reologia

Reologia é o estudo da fluidez da matéria, de forma primária em gases ou líquidos, mas também grandemente difundida em “sólidos moles” ou sólidos sobre aspectos nos quais podem responder com fluidez plástica ao invés de deformar elasticamente em resposta à uma determinada força aplicada. Sendo um braço da física/mecânica, lida com matérias e suas respectivas deformações e fluidez, englobando os diferentes estados da matéria (SCHOWALTER 1978).

As propriedades reológicas de um sistema lipídico dependem intensamente do estado físico da matriz cristalina formada. Estando diretamente ligadas à organização da fase sólida, e da sua capacidade de organizar, ou encapsular a fase líquida de forma estável e estruturada. Como consequência, a performance mecânica durante os processamentos de alimento que utilizam gordura como ingrediente são extremamente dependentes da qualidade dos cristais, e sua respectiva estabilidade (GONZALEZ-GUTIERREZ ; MARTIN, 2012).

Com o intuito de consolidar uma única metodologia, devido aos inúmeros métodos de determinação reológica partindo dos princípios de viscosidade, yield value e módulo elástico A. J. Haighton desenvolveu, em 1958 a metodologia de yield value (por ser relativamente mais simples em relação à determinação de viscosidade) através de um penetrômetro por cone. Por se tratar de uma simples execução, porém muito robusta reprodutibilidade, a técnica é ainda utilizada como referência para metodologia oficial da renomada *American Oil Chemists Society* (AOCS), método Cc16_60.

3. METODOLOGIA

Para a avaliação, uma amostra de óleo de palma comercial foi fundida à 328 K, e dividida pra aplicação dos diferentes processos de cristalização. As avaliações (DSC e Yield Value) iniciaram somente após os processos de preparos descritos no item 3.1 deste capítulo.

3.1. Processo de preparo

3.1.1. Teste 1 - Cristalização não controlada – refrigeração 256 K

Para o “Teste 1” a amostra de óleo de palma fundida, separada em 3 recipientes, foi levada à um freezer, e mantida sob temperatura de 256 K por 24 horas. Na sequência, duas das amostras foram levadas à uma estufa com temperatura controlada de 293 K. A amostra “Teste 1, Dia 0” é a da sequência de 24 horas de freezer à 256 K. A amostra “Teste 1, Dia 1” é a da sequência de 24 horas na estufa à 293 K. A amostra “Teste 1, Dia 2” é a da sequência de 48 horas na estufa à 293 K.

3.1.2. Teste 2 - Cristalização não controlada - temperatura ambiente

Para o “Teste 2” a amostra de óleo de palma fundida, separada em 3 recipientes, foi levada à uma estufa, e mantida sob temperatura de 293 K por 24 horas. Na sequência, duas das amostras foram mantidas na estufa à 293 K. Considerando as primeiras 24 horas na estufa como o processo de cristalização temos: A amostra “Teste 2, Dia 0” é a da sequência de 24 horas na

estufa à 293 K. A amostra “Teste 2, Dia 1” é a da sequência de 48 horas na estufa à 293 K. A amostra “Teste 2, Dia 2” é a da sequência de 72 horas na estufa à 293 K.

3.1.3. Teste 3 - Cristalização controlada – Processo de Cristalização e Plastificação

Para o “Teste 3” a amostra de óleo de palma fundida foi cristalizada e plastificada na planta piloto CAVALARI segundo os seguintes parâmetros:

- Tempo de residência cristalizadores: 3 minutos;
- Temperatura dos cristalizadores (1): 296 K; (2): 290 K;
- Rotação dos cristalizadores: 250 rpm
- Tempo de residência Plastificadores: 3 minutos
- Rotação dos Plastificadores: 150 rpm
- Contrapressão antes do envase: 10 bar

As amostras foram coletadas no ponto de envase da planta piloto, após a cristalização induzida e separadas em 3 recipientes. Na sequência, duas das amostras foram mantidas na estufa à 293 K. A amostra “Teste 3, Dia 0” é a da saída do processo piloto. A amostra “Teste 3, Dia 1” é a da sequência de 24 horas na estufa à 293 K. A amostra “Teste 3, Dia 2” é a da sequência de 48 horas na estufa à 293 K.

3.2. Análise de Calorimetria Diferencial por Scanner (DSC)

As análises de DSC foram realizadas através de um equipamento da empresa Shimadzu do Brasil, modelo “DSC-60 Plus”. O material de referência foi um cadinho de alumínio vazio, selado hermeticamente. Cerca de 50mg de amostra foram pesadas em um cadinho de alumínio, também selado hermeticamente. Para as leituras, a temperatura do programa foi ajustada para se manter isotermicamente à 293 K durante 5 minutos, e aquecida na sequência à uma taxa de 10 K/min até 343 °C (também mantido isotermicamente por 5 minutos).

3.3. Reologia

Para reologia, foi utilizado um equipamento de texturometria da empresa Extralab, modelo “TA.XT Plus”. A metodologia foi baseada numa adaptação da metodologia oficial da AOCS Cc16_60, para consistência ou profundidade de penetração de um cone na amostra cristalizada. As superfícies das amostras foram mantidas perfeitamente planas e macias para

aplicação da análise, assim como as temperaturas mantidas após cada processo. Os parâmetros para o programa foram:

- Peso do cone: 75 gramas;
- Ângulo do cone: 45°;
- Tempo de penetração: 5 segundos.

3.3.1. Yield Value

Com os dados obtidos na análise de profundidade de penetração, segundo Heighton (1958), podemos calcular o yield value seguindo as indicações da figura 5:

$C = KW/p^n$ in which = yield value in g/cm^2
W= weight of cone and all parts belonging to it (=total cone weight in g.)
N=1.6 (for margarine, butter, shortenings)
P= penetration depth in 0,1 mm.
K= fator dependente on the cone angle

Figura 5. Informações para o cálculo de yield value através da análise de texturometria de consistência (HEIGHTON, 1958).

O fator referente ao ângulo do cone, ainda no artigo publicado por Heighton (1958) é de 4700.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Energia Livre de Gibbs e Estabilidade Polimórfica

Com intuito de determinar qual o processo mais efetivo para estabilização polimórfica, três processos de cristalização foram conduzidos e avaliados, assim como seus respectivos tempos de maturação. Como observado na figura 6 (a) e considerando correto os apontamentos de Kawamura (1980) para o comportamento da palma nas condições avaliadas e representadas no termograma, o Teste 1 mostra uma quantidade relativamente maior de cristais β_2 no dia 0 devido às baixas temperaturas que suportam os processos de transição polimórfica (processo exotérmico) da rede cristalina formada. Contudo nos dias 1 e 2, expostos à uma temperatura mais próxima à ambiente (293 K), devido à grande número transições de cristais menos estáveis para a forma β'_1 é possível notar que essa matriz volta à um processo de estabilização, o qual

não é alcançado dentro do tempo avaliado, considerando a representação dos cristais β_2 (forma mais estabilizada).

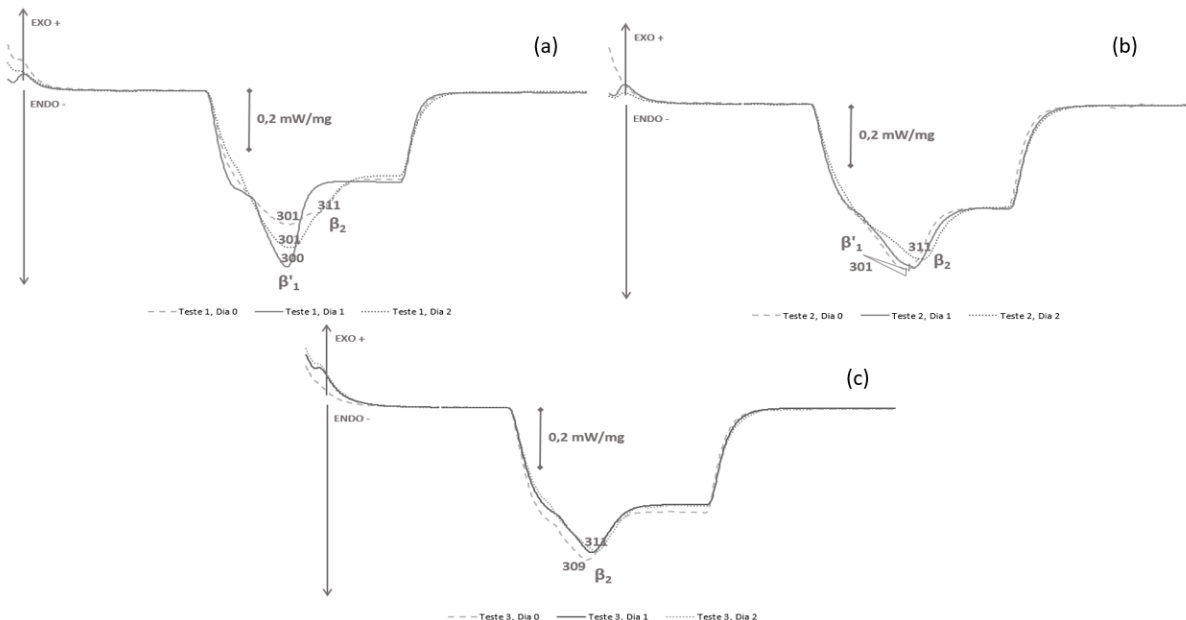


Figura 6. Termogramas obtidos através do processo de cristalização em - Teste 1: freezer à 256 K (a); Teste 2: estufa à 296 K (b) e Teste 3: processo piloto (c), assim como seus respectivos tempos de maturação. Fonte: Os autores.

Na avaliação do Teste 2, o período de estabilização é alcançado após 72h do produto nas condições avaliadas, pela indicação da presença dos cristais β_2 à 311 K.

Para o Teste 3, após 24 horas do processo de cristalização é possível identificar a uma estabilidade relativa aos outros testes muito maiores, com representação de apenas cristais β_2 no termograma. Mesmo após o processo piloto no dia 0, é notável a pequena diferença no perfil do termograma e suas respectivas intensidades, o que reforça a ideia de baixa transição polimórfica e uma consequente maior estabilidade.

Como complemento aos dados dos termogramas, a Figura 7 reitera a maior estabilidade da rede cristalina proveniente do Teste 3 pela representação do diagrama de energia livre de Gibbs. Os dados dos termogramas acima foram utilizados, juntos à dados de entropia baseados em um calor específico para a gordura de 3405 J/mg.K (LIPICO, 2018). Dessa forma, de acordo com Himawan (2006), quanto menor a energia livre de Gibbs para uma estrutura polimórfica maior a estabilidade da mesma.

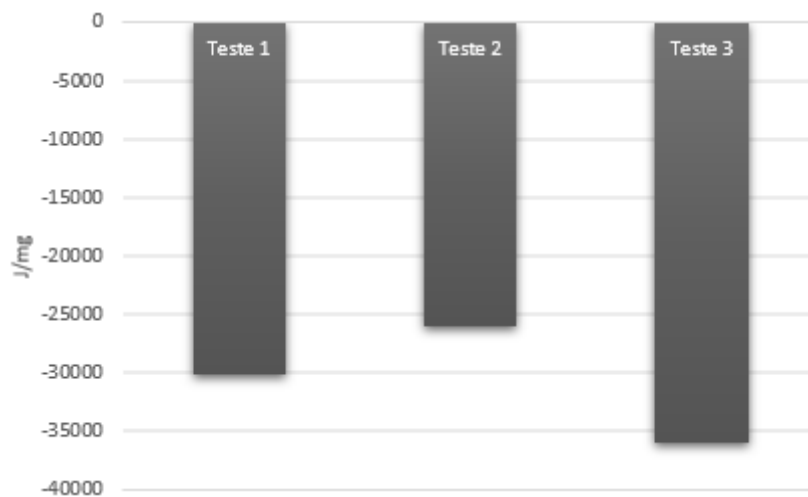


Figura 7. Diagrama de energia livre de Gibbs – Dia 3. Fonte: Os autores.

Segundo os dados do diagrama, ao fim do período avaliado temos uma diferença que varia de aproximadamente 6 a 10kJ/mg dos Testes 1 e 2 em comparação ao Teste 3, o qual apresenta a rede cristalina mais estável.

4.3. Reologia

Os dados de reologia obtidos através da análise por penetrômetro foram calculados segundo a fórmula de yield value e representados na figura 8. Seguindo os valores indicados por Heighton (1958), na tabela que apresenta um grande número de avaliações realizadas através do tato por pressão exercida pelo dedo da mão em margarinas e *shortenings*, relacionando os valores de yield value obtidos, para o Teste 1 a classificação da textura se enquadra na descrição de “Muito dura”. No caso do teste 2, apesar de obter resultados relativamente positivos em relação à estabilidade polimórfica da rede cristalina, o conteúdo de sólidos formados e conseqüentemente a robustez da rede em relação à estrutura mecânica se encontra numa classificação de “Muito mole, não espalhável”. Ainda, para o teste 3, em contraste aos valores de estabilidade polimórfica, os resultados obtidos pela avaliação de textura na rede cristalina se enquadram na classificação de “Satisfatoriamente plástica e espalhável”.

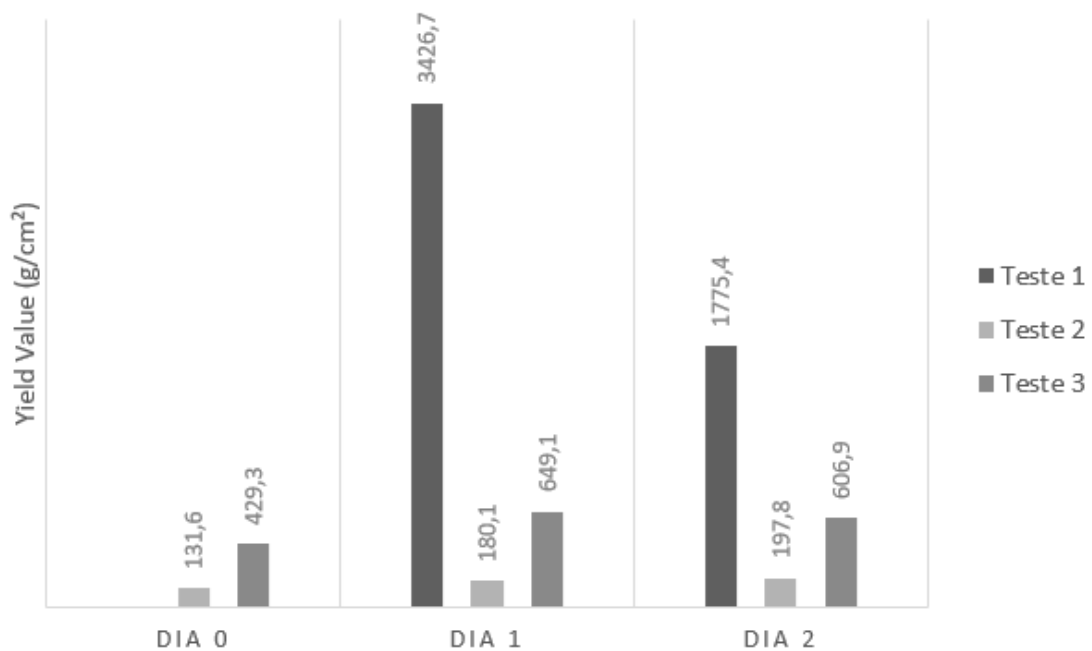


Figura 8. Yield Value obtidos através da análise por penetrômetro. *Obs.: Teste 1 dia 0 não plotado devido à magnitude do resultado (623738,1 g/cm²).*

Desta forma é válido considerar os seguintes pontos principais:

- O Teste 3 induz a formação de cristais e mantém a rede cristalina estruturada e estável desde que não seja exposta à temperatura ambiente, por sua vez, influencia na transição polimórfica de cristais menos estáveis para cristais mais estáveis contribuindo negativamente, também, na reologia da rede cristalina.
- O Teste 2 apresenta resultados relativamente positivos em relação à estabilidade polimórfica a partir do tempo de 48 horas de isoterma em 293 K segundo os termogramas e temperaturas dos polimorfos representados. Contudo, os valores de energia livre de Gibbs indicam, em comparação aos resultados dos outros testes, uma menor estabilidade na rede que pode ser justificada pela energia fornecida pelo processo “espontâneo” de cristalização. Também, como consequência a esses fatores, robustez da rede, mecanicamente, não é adequada.
- O Teste 3 apresenta valores concretos de estabilidade polimórfica devido a presença de formas polimórficas mais estáveis na representação do termograma

(β_2). A rede cristalina estável é também elucidada pela pequena diferença entre os dias avaliados e os resultados de energia livre de Gibbs, que se apresentaram no menor valor para o teste. Todo esse contexto traz também uma boa avaliação reológica, pelos valores expressos nos resultados de Yield Value e as suas respectivas avaliações na tabela apresentada por Heighton (1958).

5. CONCLUSÃO

O processo de cristalização e plastificação de gorduras, representado pelo processo piloto do trabalho em questão apresenta forte influência na qualidade dos parâmetros mais importantes para uma gordura do tipo *shortening*. Valores de estabilidade polimórfica, energia livre de Gibbs e reologia avaliada através do Yield Value, reforçam a grande influência do processo em se obter uma gordura com alta estabilidade polimórfica, baixa energia livre de Gibbs e textura satisfatoriamente plástica e espalhável. O controle desses parâmetros pode ser aplicado em diferentes bases lipídicas segundo suas respectivas finalidades de aplicação, e ainda servindo de ferramentas direcionais para o propósito de produzir mais em menos tempo evitando os riscos de reprocesso ou mesmo de reclamação de clientes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASIRON, Yusof. **Palm Oil and Its Global Supply and Demand Prospects**. OIL PALM INDUSTRY ECONOMIC JOURNAL, [S. l.], p. 7, 31 dez. 2002.

FEROLDI, Michael; CREMONEZ, Paulo André; ESTEVAM, Andressa. **Dendê: do cultivo da palma à produção de biodiesel**. 13. ed. Santa Maria: REMOA, 2014.

FOOD and Agriculture Organization of the United Nations: **Global Vegetable Oil Production**. [S. l.], 1 jun. 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/statistics/en/>. Acesso em: 20 out. 2020.

GOH, E.M. Formulation of lauric oil-containing food products and their performance. In: **Proceedings of the World Conference on Lauric Oils: Sources, Processing and Applications**, p.98-103, 1994.

Gonzalez-Gutierrez, Joamin & Scanlon, Martin. (2012). **Rheology and Mechanical Properties of Fats**. 10.1016/B978-0-12-814041-3.00005-8.

HAGEMANN JW. In: Garti N, Sato K, editors. **Crystallization and polymorphism of fats and fatty acids**. New York: Marcel Dekker; 1988.

HAIGHTON, A. J. **The Measurement of the Hardness of Margarine and Fats with Cone Penetrometer**. The Journal of the American Oil Chemists' Society, [s. l.], 22 dez. 1958.

HIMAWAN C, STAROV VM. **Thermodynamic and kinetic aspects of fat crystallization**. Advances in Colloid and Interface Science 122, Elsevier, p. 3 – 33, 2006.

KAWAMURA, K. **The DSC Thermal Analysis of Crystallization Behavior in Palm Oil, II**. JAOCS, New Jersey, v. 428, p. 48 - 52, 1 jan. 1980.

LAVIGNE F, Bourgaux C, Ollivon M. **J Phys** (Paris) 1993;3:137.

LIPICO: **Technical References - Palm Oil Properties**. [S. l.], 2018. Disponível em: http://www.lipico.com/technical_references_palm_oil_properties.html. Acesso em: 30 out. 2020.

LODY, R. G. da M. **Dendê: símbolo e sabor da Bahia**. Editora Senac São Paulo, 2009. 149p.
MANUAL Técnico de Operação e Segurança: **Planta Piloto de Cristalização e Plastificação de Gorduras**. São Paulo: Cavalari Food Machinery, 2018. Data-book.

O'BRIEN, R.D. Fats and Oils Formulation. In: **Fats and Oils – Formulating and Processing for Applications**. Ed. O'BRIEN, R.D. Technomic Publishing Company, Lancaster, Pennsylvania, p. 251- 326, 1998.

POKU, K. **Small-scale palm oil processing in Africa**. FAO Agricultural Services Bulletin, 148, 2002.

SATO, K. Crystallization behavior of fats and lipids: a review. **Chemical Engineering Science**.v.56, n.7, p.2255-2265, 2001.

SATO, Kiyotaka. **External factors affecting polymorphic crystallization of lipids**. Eur. J. Lipid Sci. Technol., [S. l.], p. 1224-1238, 31 dez. 2013.

SMALL, DM. In: Hanahan DJ, editor. **The physical chemistry of lipids, from alkanes to phospholipids, handbook of lipid research series**. New York:Plenum Press; 1986. p. 475.

VENTURIERI, A.; FERNANDES, W. R.; BOARI, A. de J.; VASCONCELOS, M. A. **Relação entre ocorrência do amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) e variáveis ambientais no estado do Pará**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, p.523-530. 2009.

W. R. Schowalter (1978) **Mechanics of Non-Newtonian Fluids Pergamon** ISBN 0-08-021778-8.

WESDORP LH, **Liquid-Multiple Solid Phase Equilibria in Fats**, PhD dissertation, Delft University of Technology; 1990.