



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

LÍCIA AMAZONAS DE ARAUJO

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS
E TERMOFÍSICAS DE ÓLEOS REGIONAIS E SUAS
MISTURAS**

**BELÉM
2008**

LÍCIA AMAZONAS DE ARAUJO

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS
E TERMOFÍSICAS DE ÓLEOS REGIONAIS E SUAS
MISTURAS**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de alimentos da Universidade Federal do Pará, para a obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ORIENTADOR:

PROF^ª. Dr^ª.: Luiza Helena Meller da Silva

CO-ORIENTADOR:

PROF^º.Dr.: Antonio Manoel da Cruz Rodrigues

BELÉM – 2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

Araújo, Lícia Amazonas de

Estudo das propriedades físicas, químicas e termofísicas de óleos regionais e suas misturas / Lícia Amazonas de Araújo; orientador, Luiza Helena Meller da Silva; co-orientador, Antonio Manoel da Cruz Rodrigues.- 2008

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2008

1. Óleos vegetais 2. Ácidos Graxos 3. Reologia 4. Buriti 5. Castanha-do-Pará 6. Patauá I. Título

CDD 22.ed. 665.3



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

LÍCIA AMAZONAS DE ARAUJO

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E
TERMOFÍSICAS DE ÓLEOS REGIONAIS E SUAS MISTURAS**

BANCA EXAMINADORA:

Luiza Helena Meller da Silva
(FEA/ITEC/UFPA – Orientador)

Antonio Manoel da Cruz Rodrigues
(FEA/ITEC/UFPA – Co-orientador)

Alessandra Santos Lopes
(FEA/ITEC/UFPA – Membro)

Sylvain Henri Darnet
(ICB/UFPA – Membro)

Marinalda da Silva Soares
(AGROPALMA – Suplente)

DEDICATÓRIA

A Deus e ao meu anjo da guarda, que sempre estiveram e estarão ao meu lado. Obrigada por ter me concedido a vida, por duas vezes.

A minha mãe porque nunca desistiu de lutar por mim e pelo meu crescimento profissional e moral até os dias de hoje.

Aos meus tios e tias, perto ou longe, até mesmo no céu, obrigada por olharem por mim e pelo incentivo na minha vida profissional.

A minha irmã do coração Telma.

Aos meus filhos (dog's) Nick e Teco pelo grande amor, paciência e carinho que me dão todos os dias, incansavelmente.

Ao meu amor Adriano: "Obrigada pelo tempo dedicado e por todo apoio incondicional durante esta etapa".

AGRADECIMENTOS

À professora Luiza Meller, por toda a ajuda, aos ensinamentos e amizade durante estes anos de universidade. Ao professor Antonio Rodrigues pelo auxílio no manuseio dos equipamentos.

Aos meus grandes amigos: Telma, Wellington e Heloísa. Obrigada pela amizade de vocês; espero continuarmos nossa trajetória profissional juntos no futuro doutorado, juntamente com nossa seriedade, algumas vezes interrompida por momentos de “diversão”, “popularidade” e “dispersão”, porém muito convenientes!!!

Aos amigos mais distantes: Renan Chisté, Sueli Nanba, Marcelo Martins, Cristiane Vasconcellos, Prof. João Quaresma e Profa. Augusta Felipe, obrigada pelo grande apoio e incentivo.

A todos os meus primos e primas.

Aos meus mais recentes e queridos amigos: Thaís Souza (minha filhotinha), Tayse, Danilo, Tayná e Allena, chegaram no momento em que eu e Wellington mais precisávamos de novas energias, vocês tornaram a minha vida inesquecível....obrigada!!

Aos colegas de laboratório que, de uma forma ou de outra, me ajudaram quando precisei: Michelle, Hiromi e Priscila Rodrigues, obrigada por toda a disposição de vocês em me ajudar.

À professora Jane Coimbra pelas valiosíssimas correções e sugestões ao meu trabalho. À professora Alessandra Lopes, verdadeiro tesouro, por sempre erguer nossas cabeças com uma palavra de incentivo. Ao prof. Sylvain pela valiosa ajuda na análise estatística. Ao professor Rosinelson pelos bons momentos de conversa que tivemos e pelos grandes ensinamentos de vida. Obrigada a todos.

Aos membros da banca: Dra. Alessandra Lopes e Dr. Sylvain Darnet pelas correções e sugestões.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade.

À AGROPALMA por ter cedido o laboratório para realização das análises físico-químicas, à Isys pelo intercâmbio com o PoGAL e ao funcionário e colaborador de minhas análises Alan Barros, muito obrigada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil-CNPq, pelo apoio financeiro.

“O saber ensoberbece, mas o amor edifica. Se alguém julga saber alguma coisa, com efeito, não aprendeu ainda como convém saber.”

(I Coríntios 8: 1 e 2)

“O sucesso num dado momento depende da sorte. O sucesso em algum momento (mais cedo ou mais tarde) depende apenas da dedicação e esforço. Assim, seja persistente o suficiente para não depender da sorte. Se ela te ajudar, ótimo; se não ajudar, vença assim mesmo.”

“Eu gostaria”

Nunca fez nada;

“Eu tentarei”

Fez grandes coisas;

“Eu farei”

Fez milagres.

Anônimo

RESUMO

A Região Amazônica, reconhecidamente em função da grande biodiversidade que apresenta, e aliada a atual tendência demonstrada pelo mercado consumidor por produtos naturais, possui um grande potencial no estudo e desenvolvimento de processos relacionados aos insumos naturais que apresentam amplas possibilidades de serem explorados comercialmente. Com a finalidade de aproveitar melhor os recursos que oferecem os sistemas agroecológicos tropicais, este trabalho visou a caracterização dos óleos de buriti (*Mauritia flexuosa*), castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), pataúá (*Oenocarpus bataua*) e suas respectivas misturas. Foram avaliadas as propriedades físico-químicas: composição em ácidos graxos, ácidos graxos livres, índice de iodo, índice de peróxido, índice de saponificação, ponto de fusão, densidade, teste de estabilidade oxidativa e cor de acordo com a metodologia oficial da AOCS (2002). O comportamento reológico foi avaliado utilizando viscosímetro Brookfield DVII+ com sistema de cilindros concêntricos acoplado a um banho termostático no intervalo de temperatura de 15 °C a 80 °C. As propriedades termofísicas condutividade e difusividade térmica foram obtidas através do equipamento KD² Analyzer na mesma faixa de temperatura. As análises físico-químicas apresentaram valores aceitáveis, indicando boa qualidade dos óleos e suas misturas. Os mesmos revelaram-se altamente insaturados, destacando-se o grupo C:18. O modelo da Lei da Potência proporcionou os melhores parâmetros estatísticos de controle em todas as faixas de temperatura. A análise reológica dos óleos e suas respectivas misturas apresentou comportamento Newtoniano na faixa de temperatura estudada. Os dados obtidos das propriedades termofísicas ficaram próximos aos encontrados na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: óleos regionais, composição em ácidos graxos, estabilidade oxidativa; reologia.

ABSTRACT

Amazon Region, a well known biodiversity source, shows up an expressive potential of development in researches and processes, especially due to the new costumer's trend of natural products consumption, which may be widely explored commercially. In order to develop a most efficient use of tropical agroecological systems, the present study aimed the characterization of Buriti (*Mauritia flexuosa*), Brazilian Nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), Pataua (*Oenocarpus bataua*) oils, and their binary and ternary mixtures. The following analyses were carried out: fat acid composition, free fat acid quantification (acidity), iodine index, peroxide index, saponification index, melting point, oxidative stability assay and colorimetric according to AOCS. Rheological behavior was evaluated using a concentric cylinders equipped Brookfield DVII+ viscosimeter connected to a thermostatic bath, at the temperature range of 15-80 °C. Thermal conductivity and thermal diffusivity were measured by a thermal properties analyzer KD², at the same range of temperature. The results of physicochemical analysis certified the good quality of the considered oils, which are highly unsaturated, specially C:18 group, data obtained from fatty acids profiles. Power Law model had the best statistical parameters, for all the temperatures values. Rheological analysis of the oils showed the Newtonian fluid at the study temperature range. Data obtained for thermal properties of the studied oils were close to those found in literature.

KEYWORDS: vegetable oil, fatty acids, thermal analysis, rheology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Triacilglicerol insaturado com radicais carboxílicos diferentes _____	19
Figura 2. Estruturas químicas dos principais carotenóides _____	31
Figura 3. Estrutura química de tocoferóis (T) e tocotrienóis (T ₃) _____	32
Figura 4. Frutos do Patauá _____	36
Figura 5. Ouriço e castanha-do-Brasil com casca _____	37
Figura 6. Frutos do Buriti _____	41
Figura 7. Curvas típicas de comportamentos reológicos _____	45
Figura 8. Classificação simples do comportamento reológico _____	46
Figura 9. Aparelho de difusividade térmica _____	56
Figura 10. Fluxograma do processo de extração dos óleos _____	58
Figura 11. Prensagem a frio dos óleos de castanha e patauá _____	59
Figura 12. Equipamento e spindle utilizado para determinação do comportamento reológico das amostras _____	62
Figura 13. Equipamento utilizado para determinação das propriedades termofísicas KD2 Analyzer _____	64
Figura 14. Óleos puros e respectivas misturas _____	68
Figura 15. Diagrama triangular da interação entre as misturas _____	72
Figura 16. Efeito da temperatura no comportamento reológico do óleo de buriti _____	73
Figura 17. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para o óleo de buriti _____	76
Figura 18. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para a mistura 4 _____	76
Figura 19. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para o óleo de buriti _____	77
Figura 20. Efeito da temperatura na viscosidade aparente para os óleos puros. _____	79
Figura 21. Efeito da temperatura na viscosidade aparente para as misturas dos óleos _____	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teor de óleo de algumas oleaginosas _____	21
Tabela 2. Grau de toxicidade de alguns solventes orgânicos usados na extração de lipídios _____	25
Tabela 3. Nomes populares do <i>O. bataua</i> _____	34
Tabela 4. Composição química da polpa e do óleo de Patauá _____	36
Tabela 5. Perfil de ácidos graxos em óleo de patauá obtidos por diferentes autores _____	37
Tabela 6. Composição química centesimal (g /100 g), teor de selênio e valor calórico de amêndoa e torta de amêndoa de castanha-do-brasil _____	40
Tabela 7. Composição química centesimal (g/100g) da polpa de buriti. _____	43
Tabela 8. Modelos reológicos para descrever o comportamento de fluidos independentes do tempo _____	47
Tabela 9. Classificação dos modelos reológicos aplicados a curvas de escoamento em ensaios estacionários _____	49
Tabela 10. Volumes de óleos puros utilizados no preparo das misturas _____	61
Tabela 11. Caracterização física e físico-química dos óleos puros _____	65
Tabela 12. Composição em ácidos graxos dos óleos de buriti, patauá e castanha-do-brasil _____	69
Tabela 13. Caracterização físico-química das misturas binárias provenientes dos óleos de buriti (B), castanha-do-brasil (C) e patauá (P) _____	70
Tabela 14. Caracterização físico-química das misturas ternárias provenientes dos óleos de buriti (B), castanha-do-brasil (C) e patauá (P) _____	70
Tabela 15. Coeficientes calculados por regressão múltipla a partir dos resultados experimentais das amostras _____	71
Tabela 16. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para o óleo de buriti (OB) ____	75
Tabela 17. Coeficientes calculados por regressão múltipla a partir dos resultados experimentais das misturas _____	75
Tabela 18. Efeito da temperatura sobre a curva de escoamento _____	78
Tabela 19. Condutividade térmica dos óleos de buriti (OB), castanha (OC), patauá (OP) e Mistura 4 _____	80
Tabela 20. Calor específico dos óleos de buriti (OB), castanha (OC), patauá (OP) e Mistura 4 _____	81

LISTA DE SÍMBOLOS

A	área superficial ou área normal ao fluxo de calor (m^2)
c_p	calor específico ($\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$)
E_a	energia de ativação (kcal gmol^{-1})
k	condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
K	coeficiente de consistência (Pa s^n)
k	condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
q	taxa do fluxo de calor (W)
R	constante universal dos gases ($1,987 \text{ cal gmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
T	temperatura (K ou $^\circ\text{C}$)
α	difusividade térmica ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$)
$\dot{\gamma}$	taxa de deformação (s^{-1})
η	viscosidade aparente (Pa s)
η_0	viscosidade limite a taxa de deformação zero (Pa s)
η_∞	viscosidade limite a taxa de deformação infinita (Pa s)
μ	viscosidade Newtoniana (Pa s)
ν	viscosidade cinemática ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$)
ρ	densidade (g cm^{-3})
τ	tensão de cisalhamento (Pa)
τ_0	tensão de cisalhamento inicial (Pa)
$\frac{\partial T}{\partial x}$	gradiente de temperatura ao longo da direção do fluxo (K m^{-1})

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	11
1 INTRODUÇÃO	16
OBJETIVOS	18
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Óleos vegetais	19
<i>2.1.1 Extração de óleos vegetais</i>	21
2.1.1.1 Extração mecânica	22
2.1.1.2 Extração por solvente	23
2.1.1.3 Métodos de extração por solvente mais utilizados	23
<i>2.1.2 Fatores que afetam a estabilidade dos óleos</i>	25
<i>2.1.3 Óleos e gorduras: sua importância na alimentação</i>	27
<i>2.1.4 Ácidos Graxos Essenciais</i>	28
2.2 Vitaminas Lipossolúveis	29
2.3 Oleaginosas da Amazônia	32
<i>2.3.1 Patauá</i>	34
2.3.1.1 Origem e distribuição	34
2.3.1.2 Descrição botânica	35
2.3.1.3 Produção e processamento	35
2.3.1.4 Utilização e importância	35
2.3.1.5 Características físicas e químicas dos frutos	36
<i>2.3.2 Castanha-do-Brasil</i>	37
2.3.2.1 Origem e distribuição	37
2.3.2.2 Descrição botânica	38
2.3.2.3 Produção e processamento	38
2.3.2.4 Utilização e importância	39
2.3.2.5 Obtenção do leite de castanha	39
2.3.2.6 Características físico- químicas dos frutos	40
<i>2.3.3 Buriti</i>	41
2.3.3.1 Origem e distribuição	41
2.3.3.2 Descrição botânica	41

2.3.3.3 Produção e processamento	42
2.3.3.4 Utilização e importância	42
2.3.3.5 Características físico- químicas dos frutos	43
2.4 REOLOGIA	43
<i>2.4.1 Definição de Reologia</i>	43
<i>2.4.2 Comportamento reológico dos fluidos</i>	44
<i>2.4.3 Modelos matemáticos utilizados na descrição do comportamento reológico</i>	45
<i>2.4.4 A Reologia na indústria alimentícia</i>	47
<i>2.4.5 Efeito da temperatura no comportamento reológico</i>	50
<i>2.4.6 Propriedades reológicas de óleos e gorduras</i>	51
2.5 PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS	52
<i>2.5.1 Condutividade térmica (k)</i>	53
<i>2.5.2 Difusividade térmica (α)</i>	55
<i>2.5.3 Calor específico (Cp)</i>	56
3 MATERIAL E MÉTODOS	57
3.1 Matéria-prima	57
3.2 Obtenção dos Óleos	57
3.3 Caracterização físico-química	59
3.4 Preparo das misturas	61
3.5 Determinação reológica	62
3.6 Ajuste dos dados experimentais aos modelos da literatura	63
3.7 Propriedades termofísicas	64
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1 Caracterização físico-química dos óleos puros	65
4.2 Caracterização físico-química das misturas	70
4.3 Comportamento reológico	72
<i>4.3.1 Efeito da temperatura nos óleos puros</i>	73
<i>4.3.2 Ajuste dos dados experimentais aos modelos da literatura</i>	74
<i>4.3.3 Propriedades termofísicas.</i>	80
5 CONCLUSÕES	82
6 REFERÊNCIAS	84
Apêndice A – Efeito da Temperatura nos óleos puros e suas misturas.	98
Apêndice B – Ajuste dos dados experimentais aos modelos da literatura	104

Apendice C – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação	120
Apêndice D – Efeito da temperatura sobre a curva de escoamento	126

1 INTRODUÇÃO

A Região Amazônica, reconhecidamente em função da sua grande biodiversidade, e aliado à atual tendência demonstrada pelo mercado consumidor por produtos naturais, possui um grande potencial no estudo e desenvolvimento de processos relacionados aos insumos naturais que apresentam amplas possibilidades de serem explorados comercialmente. Como exemplo pode-se citar as oleaginosas nativas e algumas já cultivadas comercialmente com tecnologia de manejo totalmente estabelecida, como é o caso do açaí (*Euterpe oleracea*) e o dendê (*Elaeis guineensis*), sendo que ambas constituem uma importante atividade econômica para o Estado do Pará.

Há também na região, outras palmeiras com frutos oleaginosos ricos em carotenóides e tocoferóis (vitaminas A e E), antioxidantes de origem natural que podem ser utilizados nas indústrias de fármacos e de alimentos, dentre outros. Entre as palmeiras se destacam o Tucumã (*Astrocaryum vulgare*), o Buriti (*Mauritia flexuosa*), o Patauá (*Oenocarpus bataua*), Mari (*Maximiliana regia*) e a Pupunha (*Guilelma gasipaes*) (PESCE, 1941; VILLACHICA, 1996).

Os óleos vegetais são elementos importantes na nutrição humana, devido ao seu alto teor energético e a presença de vitaminas e ácidos graxos essenciais. O óleo bruto é extraído da polpa de frutas ou de sementes/grãos oleaginosas.

Os óleos mistos ou compostos são os produtos obtidos a partir de misturas de dois ou mais óleos vegetais que se apresentam líquidos à temperatura de 25°C (ANVISA, 2005). Na formulação de produtos gordurosos, é comum a mistura de óleos e gorduras, para se alcançar as especificações do produto final. As interações que ocorrem entre os triacilgliceróis nas misturas promovem alterações nas propriedades físicas das gorduras (SIMÕES et al., 1997).

O conhecimento de suas propriedades termofísicas, como por exemplo, calor específico, condutividade e difusividade térmica, contribui para a otimização de processos, tanto na obtenção quanto na industrialização de óleos vegetais em geral. Neste sentido, a necessidade de conhecer a composição química destas espécies oleaginosas da Amazônia contribui para uma melhor compreensão do seu potencial nutricional e econômico, para que então, possam servir como uma nova fonte de alimento e serem comercializadas em escala mundial (ANDRADE et al, 1999).

Polpas de frutos das palmáceas têm sido estudadas quanto à composição em ácidos graxos e identidade do óleo, visando o seu aproveitamento ao considerar o

aspecto nutricional e rendimento que justificariam sua utilização em escala industrial (AMAYA-FARFÁN et al., 1986; BENTES et al., 1987; HIANE et al, 1989; SERRUYA et al., 1980; TAVARES et al., 1990; TRUJILLO-QUIJANO et al., 1992).

OBJETIVOS

➤ Objetivo geral

Obter e caracterizar óleos de fontes regionais que possam contribuir no desenvolvimento de novos produtos e/ou fontes nutricionais ricas em compostos nutracêuticos para utilização na alimentação ou como suplemento alimentar.

➤ Objetivos específicos

- Obtenção dos óleos regionais.
- Caracterização físico-química dos óleos puros e suas misturas.
- Caracterização reológica dos óleos puros e suas misturas em diferentes temperaturas.
- Estudo das propriedades termofísicas dos óleos puros e suas misturas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Óleos vegetais

O panorama mundial da produção de óleos vegetais mostra que o Brasil tem um papel de destaque no setor. O país é responsável por 22% da produção mundial de soja, ocupando o segundo lugar em termos de produção e exportação mundiais deste grão (ABIOVE, 2005), além de ser o segundo maior exportador de óleo de algodão (JONES & KING, 1996). No ano de 2002, a capacidade instalada de processamento de oleaginosas era de 110.560 toneladas/dia, estando concentrada principalmente na região Sul do país (ABIOVE, 2005).

Os óleos vegetais são substâncias líquidas insolúveis em água, que em seu estado bruto consistem predominantemente de triacilgliceróis e ácidos graxos. O triacilglicerol corresponde à molécula de glicerol esterificada nas três posições. A diferença básica entre óleos e gorduras está no ponto de fusão. Os óleos são líquidos, enquanto que as gorduras são sólidas a temperatura ambiente. Óleos e gorduras são ésteres; produtos da reação entre o glicerol e um ácido carboxílico graxo, isto é, ácidos de cadeias longas (POTTER, 1978; UIEARA, 2003). Cerca de 96% do seu peso total é constituído por moléculas de ácidos graxos. Por isso, e também por serem a parte reativa da molécula, os ácidos graxos têm grande influência nas propriedades dos triacilgliceróis. A estrutura química dos triacilgliceróis é representada na Figura 1 (Porção à esquerda: glicerol. Porção à direita – de cima para baixo: ácido palmítico, ácido oléico, ácido α -linolênico):

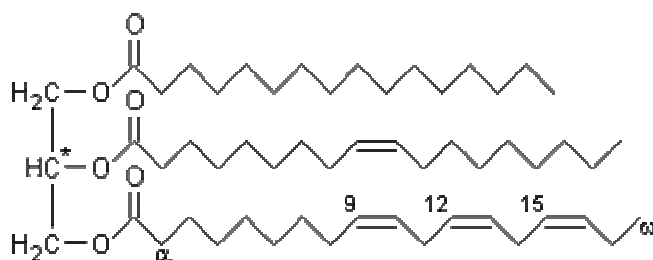


Figura 1. Triacilglicerol insaturado com radicais carboxílicos diferentes.

Os ácidos graxos são compostos orgânicos constituídos de uma longa cadeia de carbonos, em cuja extremidade está ligado um grupo carboxil. O termo ácido graxo refere-se a todos os ácidos carboxílicos alifáticos saturados e insaturados com cadeia carbônica entre C₆ e C₂₄. A qualquer ácido graxo não ligado a uma molécula

de glicerol dá-se o nome de ácido graxo livre (BROCKMANN et al., 1987). Estes compostos são freqüentemente encontrados na forma de glicerídeos (ésteres carboxílicos com glicerol).

As propriedades químicas, físicas e biológicas dos óleos e gorduras são determinadas pelo tipo de ácido graxo e sua distribuição na molécula do triacilglicerol. Dados experimentais de propriedades físicas de componentes de óleos e gorduras são bastante escassos na literatura.

Em média, os óleos vegetais brutos contêm 5% de material não-glicerídico, formado por diferentes quantidades de ácidos graxos livres, gomas (fosfatídeos), lecitinas, metais (principalmente ferro, cobre, cálcio e magnésio), peróxidos e outros produtos de reações de oxidação, pigmentos, esteróis, tocoferóis, ceras e umidade (O'BRIEN, 1998). Parte destas impurezas afetam a estabilidade do produto final em termos de cor, sabor e odor e podem gerar problemas durante o processamento, como a formação de espuma e fumaça.

Os ácidos graxos livres ocorrem naturalmente em óleos vegetais brutos e sua concentração pode aumentar durante o processamento e estocagem. O teor de ácidos graxos livres é uma boa medida da qualidade do óleo bruto, e seu valor determina o tratamento necessário para neutralizar a sua acidez (O'BRIEN, 1998). Durante o refino, o teor de ácidos graxos livres é reduzido a 0,6%, limite máximo de acidez, em massa, expresso em ácido oleico, permitido pela Legislação Brasileira (ANVISA, 2005).

A maior fonte de óleos vegetais são grãos e sementes oleaginosas como a soja, o algodão, o amendoim, o girassol, o milho e a canola. De algumas polpas de frutas, como o coco, abacate, palma e oliva, extrai-se também óleo vegetal (O'BRIEN, 1998).

Na Tabela 1 estão apresentados os teores de óleo de algumas oleaginosas.

Tabela 1. Teor de óleo de algumas oleaginosas.

Fonte	ÓLEO (%)		
	MORETTO; FETT (1998)	TURATTI (2000)	O'BRIEN (2002)
Amendoim	45-50	45-50	45-50
Canola	-	40-45	40-45
Milho	-	-	3,1-5,7
Soja	18-20	18-20	18-20
Algodão	18-20	18-20	18-20
Oliva	25-30	25-30	15-35
Gergelim	50-55	50-55	-
Palma	45-50	45-50	45-50
Coco	65-68	-	65-68
Babaçu	60-65	60-65	-
Girassol	35-45	35-45	-

2.1.1 Extração de óleos vegetais

Os procedimentos para a extração de lipídios de tecidos animais ou vegetais exigem a observação de alguns passos importantes (SHAHIDI; WANASUNDARA, 1998):

- 1) o pré-tratamento ou preparo da amostra (o qual pode incluir secagem, redução de tamanho ou hidrólise ácida);
- 2) homogeneização do tecido na presença de um solvente;
- 3) separação das fases líquida (orgânica ou aquosa) e sólida;
- 4) remoção dos contaminantes não-lipídicos;
- 5) remoção do solvente e secagem do extrato.

O preparo da amostra para extração depende do tipo do alimento e da natureza de sua composição lipídica. Para a obtenção de resultados confiáveis é recomendável o conhecimento da estrutura química e da ocorrência das principais classes lipídicas e seus constituintes. O uso de altas temperaturas deve ser evitado, e a manutenção de uma atmosfera inerte durante a preparação da amostra e a extração pode minimizar as reações de oxidação dos lipídios insaturados (GURR, 1991).

No caso de sementes, após a limpeza a maior parte é descascada. As cascas têm um baixo teor de óleo (geralmente menor que 1%), irão absorver e reter óleo na torta prensada e reduzirão a capacidade do equipamento de extração. As cascas são separadas por um aspirador, que são tratadas posteriormente para separar o óleo e a farinha (O'BRIEN, 2002).

A próxima etapa de preparação é o aquecimento das oleaginosas. A temperatura de aquecimento pode variar de acordo com o tipo e as sementes podem ir de 80 a 105 ° C. Uma boa cocção resulta na completa quebra das células, coagulação das proteínas para facilitar a separação de óleo e farinha, insolubilização dos fosfolípidios, aumento da fluidez do óleo em temperaturas mais elevadas, destruição de fungos e bactérias, inativação de enzimas, e secagem para um teor de umidade adequada (O'BRIEN, 2002).

A extração de óleos vegetais pode ser realizada por processo mecânico (prensagem contínua ou descontínua), química (com utilização de solventes), por arraste de vapor (para óleos essenciais) e outros (exemplo: extração supercrítica). A prensagem mecânica é tida como de simples operação e baixo custo. Nesse processo algumas variáveis são importantes: cozimento e aquecimento dos grãos antes da prensagem, temperatura, tempo e teor de umidade dos grãos (PIGHINELLI, et al., 2007).

2.1.1.1 Extração mecânica

A extração mecânica pode ser por prensagem hidráulica ou prensagem contínua. A prensagem hidráulica é feita por cargas, geralmente é utilizada para a extração de azeite de oliva. A prensagem contínua é feita por meio de um eixo helicoidal, tipo rosca sem fim. Este é o processo utilizado para a extração de óleo de gergelim, amendoim, mamona e outras oleaginosas (ECIRTEC, 2008).

A prensa descontínua, chamada prensa hidráulica, é formada por um cesto de compressão contendo aberturas definidas de acordo com a semente a ser processada. Dentro deste compartimento é colocada a matéria-prima a ser prensada. O sistema de compressão é formado por um pistão acionado por unidade hidráulica. A prensa descontínua pode ser manual ou motorizada, dependendo da capacidade de produção e matéria prima a ser utilizada no processamento. Para operação com sementes à temperatura ambiente (extração a frio), em pequena escala, a prensa descontínua é mais indicada por não haver aquecimento devido ao movimento/atrito entre matéria-prima e cesto de compressão (ECIRTEC, 2008).

A prensa contínua consiste basicamente de um cesto formado por barras de aço com aberturas definidas de acordo com a semente a ser processada. Dentro deste compartimento de compressão gira um eixo helicoidal com passo e diâmetro variável. A prensa contínua pode ser para operar com sementes à temperatura

ambiente (extração a frio) ou considerando um pré-tratamento térmico (com cozimento). Em geral existem dois tipos de prensa continua: as que operam como "prensagem final" e as que retiram parcialmente o óleo (denominada pré-prensa) preparando a matéria prima para posterior extração por solvente.

2.1.1.2 Extração por solvente

A extração por solvente do óleo é o método mais eficiente, entretanto, sua aplicação apresenta algumas desvantagens industriais tais como custo operacional elevado e a baixa qualidade do óleo obtido devido à utilização de elevadas temperaturas no processo de extração (ZÚÑIGA et al., 2003).

A insolubilidade dos lipídios em água torna possível sua separação das proteínas, carboidratos e da água nos tecidos. Como os lipídios têm uma grande faixa de relativa hidrofobicidade, é praticamente inviável a utilização de um único solvente universal para a extração dos lipídios (SHAHIDI; WANASUNDARA, 1998). Lipídios neutros estão ligados covalentemente e podem ser extraídos dos tecidos por solventes apolares, enquanto lipídios polares, os quais estão ligados por forças eletrostáticas e pontes de hidrogênio, requerem solventes polares capazes de quebrar tais ligações e liberá-los.

A liberação de triacilglicerídeos dos tecidos da estrutura celular é geralmente considerada um transporte extrativo ligado a uma parte sólida. Para isso, considera-se como pré-requisito a completa desintegração do material antes da extração. No processo de liberação extrativa, leva-se em conta três etapas principais: (1) a penetração do solvente no tecido, (2) a formação de uma micela intracelular e (3) difusão do extrato na micela externa (SCHNEIDER, 1980).

2.1.1.3 Métodos de extração por solvente mais utilizados

O método clássico de Soxhlet (1879) é sem dúvida a técnica mais antiga e difundida para a extração de lipídios em amostras de alimentos, sendo uma das principais metodologias adotadas como referência de eficiência da extração.

O primeiro aparelho foi desenvolvido por Franz Von Soxhlet em 1879, que ressaltou a importância do grau de trituração da amostra quanto a duração e eficácia do processo. Consiste no tratamento sucessivo e intermitente da amostra imersa em um solvente puro (éter de petróleo, éter dietílico e *n*-hexano), graças a sifonagem e

subseqüente condensação do solvente aquecido dentro do balão que está na base do aparelho.

As mais notáveis vantagens que método de Soxhlet apresentadas são: a amostra está sempre em contato com o solvente, havendo a sua constante renovação; a temperatura do sistema mantém-se relativamente alta, visto que o calor aplicado para o processo de evaporação é constante; é uma metodologia muito simples, visto que não requer treinamento especializado e que possibilita a extração de uma quantidade maior de óleo em relação a outros métodos, sem a necessidade de filtração da miscela após o término da extração, pois a amostra deve estar envolta em um cartucho durante todo o procedimento (LUQUE DE CASTRO; GARCIA AYUSO, 1998).

Os principais inconvenientes que o método de soxhlet apresenta são: o longo tempo requerido para a extração e o grande volume de solvente utilizado, o qual não é somente de alto custo, mas também pode ser nocivo à saúde e ao meio-ambiente. Quando amostras que contém elementos termolábeis são analisadas, deve-se levar em consideração que um longo período de extração pode causar a sua decomposição térmica. Devido ao grande volume de solvente utilizado, a etapa de evaporação ou concentração é geralmente obrigatório ao final do processo para a recuperação da fração lipídica (LUQUE DE CASTRO; GARCIA AYUSO, 1998).

Os métodos Aa 4-38 da American Oil chemists' Society (AOCS, 1997), para produtos de origem vegetal, 960.39 para carnes e produtos cárneos e 920.85, para cereais, ambos da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995), utilizados para a determinação do teor de óleo destes alimentos, recomendam o uso de um aparelho semelhante ao Soxhlet, sem, no entanto, a presença do sifão, e com éter de petróleo como solvente de extração. Denominado de Aparelho de Butt, a diferença desta metodologia é que o solvente é aquecido e evaporado diretamente pela câmara de extração e, condensado, goteja sobre a parte superior do cartucho, percolando a amostra e lixiviando a fração lipídica dissolvida para o balão. A diferença entre os dois sistemas reside nos processos ocorrerem por percolação, no caso de Butt, e por imersão no solvente, no caso de soxhlet.

Apesar de algumas desvantagens, o método de Folch et al. (1957) e Bligh e Dyer (1959) são largamente utilizados, tanto como propostos originalmente, quanto modificados (CHRISTIE, 1982). Entre as desvantagens podem ser citadas a toxidez do solvente utilizado e a indesejável extração dos contaminantes não lipídicos da

fase orgânica. Este problema está relacionado com a quantidade de água do tecido do qual se está extraindo o lipídeo e, conseqüentemente, a proporção de água adicionada. Além disso, as lavagens são fatores importantes na eficiência da extração. Alguns solventes utilizados para extração de lipídios estão listados na Tabela 2.

Tabela 2. Grau de toxicidade de alguns solventes orgânicos usados na extração de lipídios.

Solvente	Toxidade
Clorofórmio	Média
Benzeno	Alta
Tolueno	Alta
Xileno	Média
Tetracloroeto de carbono	Abaixo da média
Metanol	Alta
Ácido acético	Concentrado, alta; diluído, baixa
Éter dietílico	Média
Álcool etílico	Abaixo da média
Hidrocarbonetos clorados	Média para alta
Hidrocarbonetos aromáticos	Média para alta

FONTE: Nelson, 1991.

2.1.2 Fatores que afetam a estabilidade dos óleos

Os óleos brutos contêm muitas impurezas tais como ácidos graxos livres, pigmentos, tocoferóis, fosfatídeos, graxas, proteínas, açúcares, gomas, pesticidas, metais e outros, e necessitam de processos de refino para removê-las. Porém, a retirada total dessas impurezas é crítica e causa efeitos indesejáveis, como menor ponto de fumaça do óleo pela presença de ácidos graxos livres, efeito pró-oxidante do metal e precipitação e escurecimento do óleo pelos fosfatídeos (MOTHÉ et al., 2004).

A oxidação lipídica é um fenômeno espontâneo e inevitável, com uma implicação direta no valor comercial quer das gorduras, quer de todos os produtos que a partir deles são formulados (alimentos, cosméticos, medicamentos) (BORGES et al., 1999).

A peroxidação lipídica constitui a principal causa de deterioração dos ácidos graxos. Afastados do seu contexto de proteção natural, os ácidos graxos sofrem, no decurso de processos de transformação e armazenamento, alterações do tipo oxidativa, as quais têm como principal conseqüência a modificação do sabor original e o aparecimento de odores característicos do ranço, o qual representa para o

consumidor, ou para a indústria, uma importante causa de depreciação ou rejeição (BORGES et al., 1999).

A preocupação constante de proporcionar aos consumidores produtos de alta qualidade levou à adoção de medidas que permitem limitar o fenômeno de oxidação durante as fases de processamento e armazenagem dos produtos (escolha de processos que limitem as operações de arejamento e o tratamento térmico; utilização de matérias-primas refinadas, com baixos teores de água e isentas de pró-oxidantes; armazenamento a baixas temperaturas e em atmosfera inerte; adição de compostos antioxidantes; utilização de embalagens com barreira à radiação UV, etc.). Deste conjunto de ações, a adição de compostos antioxidantes é, sem dúvida, uma prática corrente, razão que justifica o interesse pela pesquisa de novos compostos com capacidade antioxidante. O baixo custo de obtenção, facilidade de emprego, eficácia, termo-resistência, "neutralidade" sensorial e ausência reconhecida de toxicidade, são premissas para a sua seleção e utilização em nível industrial (BORGES et al., 1999).

A degradação de óleos vegetais depende da maior ou menor presença de ácidos graxos insaturados em sua composição. Óleos vegetais que possuem uma grande quantidade de ácidos graxos poliinsaturados estão mais sujeitos à oxidação do que óleos que possuem maior quantidade de ácidos graxos saturados (LOLOS et al., 1999).

São susceptíveis a diversos tipos de transformações químicas que se processam ao longo da fase de extração, durante o transporte ou na estocagem. As reações hidrolíticas são catalisadas pelas enzimas lípases ou pela ação de calor e umidade, com formação de ácidos graxos livres. A oxidação por via enzimática ocorre pela ação das enzimas lipoxigenases que atuam sobre os ácidos graxos poliinsaturados, catalisando a adição de oxigênio à cadeia hidrocarbonada poliinsaturada. O resultado é a formação de peróxidos e hidroperóxidos com duplas ligações conjugadas que podem envolver-se em diferentes reações degradativas (FILHO, 2006).

Neste contexto, torna-se necessário, por um lado controlar a qualidade dos ácidos graxos, através da determinação do seu grau de oxidação e, por outro, avaliar a capacidade antioxidante de novos compostos. A grande diversidade de métodos analíticos (químicos, físicos e/ou físico-químicos) propostos na literatura

para a avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante coloca, na prática, algumas dificuldades de seleção (BORGES et al., 1999).

2.1.3 Óleos e gorduras: sua importância na alimentação

A ingestão de gorduras saturadas tais como a de côco, da manteiga ou dos óleos industrialmente “endurecidos” (transformados do estado líquido para semi-sólido através do processo de hidrogenação), pode aumentar o nível de colesterol do sangue de acordo com a opinião de muitos especialistas, e promover a aterosclerose dos vasos sangüíneos (SCHURGERS et al., 1999). Do contrário, o uso de óleos vegetais contendo alta quantidade de poliinsaturados consumidos *in natura* na culinária vem aumentando entre a população, que busca atualmente, hábitos alimentares mais saudáveis (REDA; CARNEIRO, 2007).

As gorduras têm importantes funções no organismo vivo e as principais são:

- Fornecer energia à biossíntese (que varia de 38 a 39 kJ por grama de gordura);
- Agem como veículo para as vitaminas lipossolúveis, como A, D, E e K;
- São fontes de ácidos graxos essenciais como o linoleico, linolênico e araquidônico e,
- Contribuem para a palatabilidade dos alimentos (CASTRO et al., 2003).

Os óleos vegetais poliinsaturados utilizados nos alimentos são bons para organismo, mas quando submetidos a processos oxidativos, como a foto-oxidação e a termo-oxidação, suas ligações duplas são alvos fáceis na decomposição desses óleos, transformando-os em uma série de produtos secundários prejudiciais ao organismo (REDA; CARNEIRO, 2007).

Os óleos estão constituídos quase exclusivamente por triglicerídeos, contendo quantidades pequenas de diglicerídeos, lipídios polares, insaponificáveis, ácidos graxos livres, etc. (PADLEY; COL, 1994). Os ácidos graxos mais freqüentes que se encontram formando estes triglicérides são: palmítico, esteárico, oléico, linoléico e linolênico, há outros que se encontram somente em alguns óleos como o palmitoléico (macadâmia e um pouco no azeite de oliva) e ácidos graxos saturados de comprimento de cadeia média, como o láurico e o mirístico. Este último é o saturado mais negativo para a saúde e encontra-se presente em quantidades importantes nas gorduras animais, e nas vegetais palmiste e côco (ENRIQUE MARTINEZ et al., 2007).

2.1.4 Ácidos Graxos Essenciais

O ser humano, assim como os demais mamíferos, é capaz de sintetizar certos ácidos graxos saturados e insaturados, porém essa capacidade é limitada quando se trata de ácidos graxos poliinsaturados (AGP), sem os quais nosso organismo não funciona adequadamente. Por essa razão, estes ácidos graxos são chamados de “essenciais” e devem ser incluídos na dieta alimentar (TAKAHASHI, 2005).

Os ácidos graxos poliinsaturados, destacando as séries ômega 3 e 6, são encontrados em peixes de água fria (salmão, atum, sardinha, bacalhau), óleos vegetais, sementes de linhaça, nozes e alguns tipos de vegetais. Um ácido graxo é chamado de ômega 3 quando a primeira dupla ligação está localizada no carbono 3 a partir do radical metil (CH_3), e ômega 6 quando a dupla ligação está no sexto carbono da cadeia a partir do mesmo radical (COLLA; MORAES, 2006).

Os principais ácidos graxos da família ômega 3 são o alfa-linolênico (C18:3 – 18 carbonos e 3 insaturações), o eicosapentanóico-EPA (C20:5 – 20 carbonos e 5 insaturações) e o docosahehexanóico-DHA (C22:6 – 22 carbonos e 6 insaturações). Os ácidos graxos da família ômega 6 mais importantes são o linoléico (C18:2 – 18 carbonos e 2 insaturações) e o araquidônico (C20:4 – 20 carbonos e 4 insaturações) (PIMENTEL, et al., 2005).

Os ácidos graxos de cadeia longa da família ômega 3 (EPA e DHA) são sintetizados nos seres humanos a partir do ácido linolênico. Este ácido graxo é também o precursor primordial das prostaglandinas, leucotrienos e tromboxanos com atividade antiinflamatória, anticoagulante, vasodilatadora e antiagregante (RODRÍGUEZ, et al., 2003; PIMENTEL, et al., 2005). Algas marinhas são capazes de sintetizar os ácidos graxos DHA e EPA, os quais entram na cadeia alimentar marinha. Apesar das controvérsias, o consumo adicional de ácidos graxos ômega 3 (DHA e EPA) na dieta está sendo discutido e recomendado. Estudos epidemiológicos têm demonstrado que a ingestão de peixes regularmente na dieta tem efeito favorável sobre os níveis de triglicerídeos, pressão sanguínea, mecanismo de coagulação e ritmo cardíaco, na prevenção do câncer (mama, próstata e cólon) e redução da incidência de aterosclerose (SOUZA, et al., 2003). Os ácidos graxos ômega 3 são também indispensáveis para os recém-nascidos por representarem um terço da estrutura de lipídeos no cérebro, carências destas substâncias podem ocasionar redução da produção de enzimas relacionadas às

funções do aprendizado. O suprimento adequado de DHA na alimentação dos bebês é fundamental para o desenvolvimento da retina (COLLA; MORAES, 2006).

Além de seu papel nutricional na dieta, os ácidos graxos ômega 3 podem ajudar a prevenir ou tratar uma variedade de doenças, incluindo doenças do coração, câncer, artrite, depressão e mal de Alzheimer entre outros. Os ácidos graxos ômega 3 devem ser consumidos numa proporção equilibrada com os ácidos graxos ômega 6 (COLLA; MORAES, 2006).

O ácido linoléico, presente no óleo de girassol, pertencente ao grupo dos ácidos graxos ômega 6, é transformado pelo organismo humano no ácido araquidônico e em outros ácidos graxos poliinsaturados. Os ômega 6 derivados do ácido linoléico exercem importante papel fisiológico: participam da estrutura de membranas celulares, influenciando a viscosidade sangüínea, permeabilidade dos vasos, ação antiagregadora, pressão arterial, reação inflamatória e funções plaquetárias. Estudos mostram os efeitos causados pela substituição de gordura saturada por gordura monoinsaturada na dieta, com a redução nos níveis de colesterol total e de LDL (Lipoproteína de Baixa Densidade) , sem alterar significativamente os níveis de HDL (Lipoproteína de Alta Densidade). O azeite de oliva é um dos óleos ricos em ácido oléico, contendo de 55 a 83 % em sua composição (COLLA; MORAES, 2006).

2.2 Vitaminas Lipossolúveis

As lesões causadas pelos radicais livres nas células podem ser prevenidas ou reduzidas por meio da atividade de antioxidantes, sendo estes encontrados em muitos alimentos. Os antioxidantes podem agir diretamente na neutralização da ação dos radicais livres ou participar indiretamente de sistemas enzimáticos com essa função. Dentre os antioxidantes mais conhecidos estão a vitamina C, a glutatona, o ácido úrico, a vitamina E e os carotenóides (SHAMI; MOREIRA, 2004).

Os carotenóides estão presentes em alimentos com pigmentação amarela, laranja ou vermelha (tomate, abóbora, pimentão, laranja). Seus principais representantes são os carotenos, precursores da vitamina A e o licopeno (GAZZONI, 2003). As xantofilas são sintetizadas a partir dos carotenos, por meio de reações de hidroxilação e epoxidação. O β -caroteno e o licopeno são exemplos de carotenos, enquanto a luteína e a zeaxantina são xantofilas. Dos mais de 600 carotenóides conhecidos, aproximadamente 50 são precursores da vitamina A. O carotenóide

precursor possui pelo menos um anel de β -ionona não substituído, com cadeia lateral poliênica com um mínimo de 11 carbonos. Entre os carotenóides, o β -caroteno é o mais abundante em alimentos e o que apresenta a maior atividade de vitamina A. Tanto os carotenóides precursores de vitamina A como os não precursores, como a luteína, a zeaxantina e o licopeno, parecem apresentar ação protetora contra o câncer, sendo que os possíveis mecanismos de proteção são por intermédio do seqüestro de radicais livres, modulação do metabolismo do carcinoma, inibição da proliferação celular, aumento da diferenciação celular via retinóides, estimulação da comunicação entre as células e aumento da resposta imune. O β -caroteno é um potente antioxidante com ação protetora contra doenças cardiovasculares. A oxidação do LDL (Lipoproteína de Baixa Densidade) é fator crucial para o desenvolvimento da aterosclerose e o β -caroteno atua inibindo o processo de oxidação da lipoproteína. Estudos apontam que a luteína e a zeaxantina, que são amplamente encontradas em vegetais verde-escuros, parecem exercer uma ação protetora contra degeneração macular e catarata (AMBRÓSIO, et al., 2006).

Segundo Stahl e Sies (2003) os carotenóides fazem parte do sistema de defesa antioxidante em humanos e animais. Devido à sua estrutura atuam protegendo as estruturas lipídicas da oxidação ou por seqüestro de radicais livres gerados no processo foto-oxidativo. A Figura 2 apresenta as estruturas dos principais carotenóides.

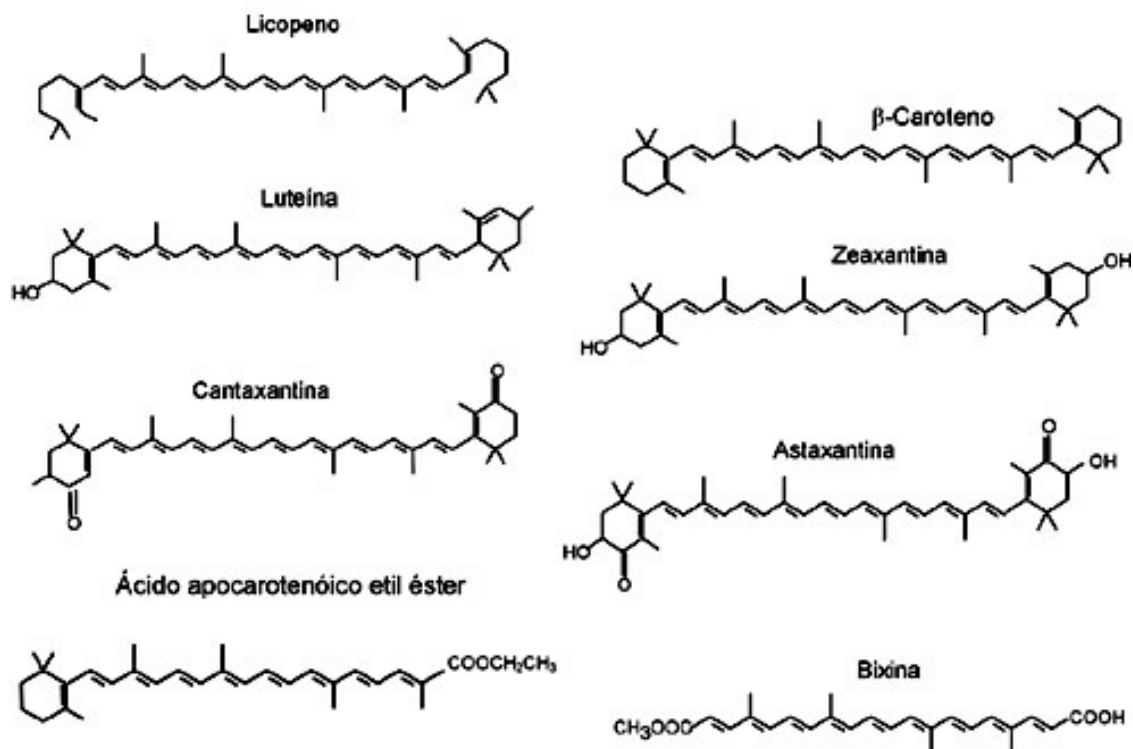


Figura 2. Estruturas químicas dos principais carotenóides. Fonte: Abidi (2000).

A vitamina E é a principal vitamina antioxidante transportada na corrente sangüínea pela fase lipídica das partículas lipoprotéicas. Junto com o beta-caroteno e outros antioxidantes naturais, chamados ubiquinonas, a vitamina E protege os lipídios da peroxidação. A ingestão de vitamina E em quantidades acima das recomendações correntes (10 mg/dia) pode reduzir o risco de doenças cardiovasculares, melhorar a condição imune e modular condições degenerativas importantes associadas com envelhecimento (SOUZA, et al., 2003).

A vitamina E é um componente dos óleos vegetais encontrada na natureza em quatro formas diferentes α , β , γ e δ -tocoferol, sendo o α -tocoferol a forma antioxidante amplamente distribuída nos tecidos e no plasma. Os quatro isômeros dos tocotrienóis (α -T3, β -T3, γ -T3 e δ -T3) são estruturalmente relacionados aos seus correspondentes homólogos dos tocoferóis (α -T, β -T, γ -T e δ -T), mas diferem nas suas cadeias laterais nos quais os isômeros contêm três duplas ligações. A vitamina E encontra-se em grande quantidade nos lipídeos, e evidências recentes sugerem que essa vitamina impede ou minimiza os danos provocados pelos radicais livres associados com doenças específicas, incluindo o câncer, artrite, catarata e o

envelhecimento. A vitamina E tem a capacidade de impedir a propagação das reações em cadeia induzidas pelos radicais livres nas membranas biológicas. Os danos oxidativos podem ser inibidos pela ação antioxidante dessa vitamina, juntamente com a glutathiona, a vitamina C e os carotenóides, constituindo um dos principais mecanismos da defesa endógena do organismo (BIANCHI; ANTUNES, 1999). A Figura 3 apresenta a estrutura química de tocoferóis e tocotrienóis.

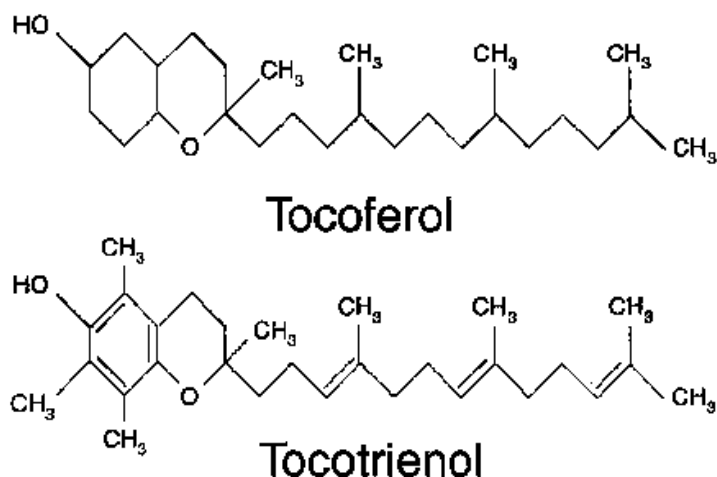


Figura 3. Estrutura química de tocoferóis (T) e tocotrienóis (T₃). Fonte: Abidi (2000).

2.3 Oleaginosas da Amazônia

Nos últimos anos tem se observado uma tendência cada vez maior de uso de matérias-primas de origem natural em produtos farmacêuticos e cosméticos. Isto tem causado uma corrida aos óleos extraídos de plantas nativas da Amazônia, causando uma expansão rápida e significativa do mercado nacional e internacional destes produtos. Algumas das "espécies vedetes" do momento são a "copaíba" (*Copaifera multijuga*), "andiroba" (*Carapa guianensis*), o "murumuru" (*Astrocaryum ulei*), o buriti (*Mauritia flexuosa*) e o Patauá (*Oenocarpus bataua*) (FERREIRA et al., 2005).

Embora esta nova fase de exploração de óleos amazônicos seja relativamente recente, tendo se iniciado a cerca de 10 anos atrás, a história da extração e comercialização de óleos vegetais na região remonta ao início do século XX. Naquela época a importância da atividade era muito maior tanto sob o ponto de vista econômico quanto social. Apesar de menor na atualidade, o potencial do mercado é grande o suficiente para atrair algumas empresas multinacionais (FERREIRA et al., 2005).

No início do século XX e durante a segunda guerra mundial o Brasil exportou cerca de 40 tipos diferentes de óleos vegetais extraídos de plantas nativas da Amazônia. A síntese da diversidade de espécies exploradas pode ser estudada no livro "Oleaginosas da Amazônia", publicado em 1941 pelo brasileiro Celestino Pesce. Este livro ainda é considerado a melhor referência sobre o assunto e em 1986 foi traduzido e publicado em inglês nos EUA. Neste livro Pesce apresenta uma extensa lista com as características dos óleos de mais de 100 espécies oleaginosas nativas que haviam sido estudadas no Museu Emílio Goeldi (PESCE, 1941).

No auge da exploração de óleos nativos, o processamento das sementes e a extração do óleo eram feitos em indústrias localizadas na cidade de Belém e o produto final exportado para São Paulo, Europa e Estados Unidos. A atividade era realizada de forma muito precária em razão das dificuldades para a coleta, o transporte e a conservação das sementes. Era difícil coletar grandes quantidades de sementes na floresta porque havia escassez de mão-de-obra, os meios de transporte eram lentos e caros, e não existiam tecnologias e sistemas de armazenamento adequados para a conservação das sementes por longos períodos (FERREIRA et al., 2005).

Após a Segunda Guerra, a demanda por óleos vegetais produzidos na Amazônia caiu vertiginosamente até a completa extinção do complexo industrial existente em Belém. Contribuíram para esse fato, a massificação do uso de energia elétrica e o cultivo em larga escala de espécies oleaginosas anuais como o milho, a soja e o girassol, e de espécies perenes, principalmente o dendê. Esta tendência se manteve inalterada até o final do século XX, quando se verificou um crescente interesse pelos óleos vegetais provenientes de sistemas de extração e produção que causassem baixos impactos ambientais, a chamada exploração sustentável (ALMEIDA, 2004).

Nos últimos anos o uso de óleos "exóticos" extraídos de espécies florestais nativas para a elaboração de produtos cosméticos reforçou esta tendência e tem levado a um crescente interesse tanto por espécies oleaginosas que tiveram um "auge comercial" no passado, quantas por outras menos conhecidas e mais usadas de forma doméstica por todo o interior da Amazônia (ALMEIDA, 2004).

Apesar de o Brasil possuir uma ampla diversidade de espécies oleaginosas nativas, apenas um número reduzido delas é explorado. Isto acontece porque se sabe pouco sobre as mesmas. Este panorama, entretanto, está mudando

lentamente na medida em que algumas pesquisas são realizadas e novas informações sobre algumas espécies divulgadas. Entre as espécies mais exploradas para obtenção de óleos e gorduras podem ser citadas: andiroba (*Carapa guianensis*), babaçu (*Orbignya martiana*), buriti (*Mauritia flexuosa*), castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*), copaíba (*Copaifera* spp.), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), maracujá (*Passiflora* sp.), murumuru (*Astrocaryum murumuru*), pequi (*Caryocar brasiliensis*), ucuuba (*Virola* sp.) e patauí (*Oenocarpus bataua*) (FERREIRA et al., 2005).

2.3.1 Patauí

2.3.1.1 Origem e distribuição

O patauí (*Oenocarpus bataua* M.) é de origem amazônica e está distribuída por toda bacia Amazônica, na parte ocidental da Colômbia, no Equador, na bacia do Orenoco, em Trinidad e nas Guianas. No Brasil, ocorre em toda a Amazônia, podendo alcançar a parte sul da região central. As maiores concentrações ocorrem principalmente em regiões de alta pluviosidade, mas também pode ser encontrado nas regiões onde os períodos de seca são mais prolongados (porção central do Brasil). (GOMES-SILVA et al, 2004).

Pela ampla distribuição, o patauí recebe nomes diferentes e uma infinidade de sinônimos dados por indígenas e outros grupos lingüísticos. Alguns nomes vulgares encontrados na literatura estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Nomes populares do *O. bataua*.

Localidade	Nome popular
Amazônia brasileira	Patauí, Patoá, patuá
Kaxinawá, Iwanawá e Acre	Isa
Suriname	Jagua, majo, colaboca, komboe
Colômbia	Milpesos, seje, seje grande, palma de leche, palma milpé, consá, jornana, trupa, bataua, coroba, urola, sacarrong, cuperi, obango aricaguá, corne, oxaé
Equador	Chapil
Guiana Inglesa	Patawá, patauí, tparoo, turu
Guiana Francesa	Palma palavona, patawa
Caribe	Batawa
Peru	Unguraui, ungurahui, sacumana
Trinidad	Jagua, yagya, yagua
Venezuela	Palma seje, seje jagua, aricagua, palma real, curuba

Fonte: GOMES-SILVA et al., 2004.

2.3.1.2 Descrição botânica

O patauá (*Oenocarpus batauí* Mart.) pertence à família botânica *Arecaceae* e gênero *Oenocarpus*. A palavra *Oenocarpus* é de origem grega e significa: oeno = vinho e carpus = fruto, ou seja, “vinho do fruto”, demonstrando a importância do suco elaborado a partir da polpa do fruto (GOMES-SILVA et al., 2004). Os frutos apresentam uma forma redondo-ovalada, cor de púrpura escura quando maduros recobertos por uma camada cerosa esbranquiçada (GOMES-SILVA et al., 2004).

2.3.1.3 Produção e processamento

Pouco se sabe sobre seu potencial produtivo com base em uma exploração sustentável do ponto de vista ecológico e econômico (GOMES-SILVA et al, 2004). A produção e proporção de óleo na polpa é extremamente variável e conflitante de acordo com algumas fontes encontradas na literatura (BEZERRA et al.,1983; GOMES-SILVA et al, 2004; DAISY et al, 2007).

Para a produção de óleo de patauá no sistema tradicional, as limitações tecnológicas prejudicam os níveis de produtividades. O processo de extração deve ser avaliado com o objetivo de identificar formas para aperfeiçoamento tecnológico que possam ser introduzidas também na produção local (GOMES-SILVA et al., 2004).

2.3.1.4 Utilização e importância

O consumo *in natura* de frutos de patauá não é expressivo por não ter sabor agradável. No entanto, a bebida à base de água conhecida popularmente como “vinho de patauá” é muito apreciada na região norte. Fruto nativo da região norte do Brasil assemelha-se ao açaí e sua polpa é usada para obtenção de suco podendo ser encontrada no comércio informal de sucos em determinadas épocas do ano, entretanto, o maior consumo ocorre nas comunidades extrativistas e ribeirinhas (GOMES-SILVA et al., 2004).

Na culinária, o óleo de patauá é usado principalmente em saladas e frituras com características semelhantes ao azeite de oliva (BALICK, 1988; REHM; ESPIG, 1991) sendo altamente insaturado e rico em aminoácidos (BALICK; GERSHOFF, 1981); na medicina popular, é utilizado como laxante, para tuberculose, asma e outros problemas respiratórios (VILLACHICA, 1996; ANDERSON, 1997; BALICK,

2000). Como cosméticos é considerado um tônico capilar, sendo indicado para a queda de cabelo (BALICK, 1988).

O óleo de patauá já demonstrou eficiência como combustível alternativo ao óleo diesel, sendo também indicado seu emprego nas composições enlatadas (sardinha e outros peixes), na medicina como calmante hepático (tornando-se necessário efetuar dosagens de fitosterol) e em composições farmacêuticas como pomadas, bálsamos, ungüentos e ceratos (CALZAVARA et al.,1978).

2.3.1.5 Características físicas e químicas dos frutos

O patauá apresenta casca escura, de textura macia e lisa, possui leve odor característico. A Figura 4 apresenta uma foto dos frutos.



Figura 4. Frutos do Patauá.

A Tabela 4 apresenta a caracterização físico-química da polpa e do óleo de patauá.

Tabela 4. Composição química da polpa e do óleo de Patauá.

Teores	Polpa
Umidade (%)	35,6
Proteínas (%)	3,3
Gorduras (%)	12,8
Carboidratos (%)	47,2
Cinzas (%)	1,1
Fibras (%)	31,5
Carotenóides (µg/g)	1300
Zinco (mg/100g)	0,41
	Óleo
Densidade (g/cm ³)	0,914
Índice de saponificação (mg KOH/g)	192
Índice de iodo (Hübl)	84
Índice de refração	1,468
Insaponificáveis	1,3
Acidez (% oléico)	2

Fonte: SOUZA et al. (1996); BAHIA (1982).

Assim como algumas palmeiras oleíferas, o óleo de patauá é altamente insaturado, com 78% de ácidos graxos monoinsaturados e 3% de poliinsaturados, sendo de fácil absorção pelo organismo (Tabela 5). O patauá é rico em diversos aminoácidos, o que o torna comparável à carne animal ou ao leite humano, estando o triptofano e a lisina presentes em menor quantidade, (FAO/WHO, 1973; BALICK; GERSHOFF, 1981).

Tabela 5. Perfil de ácidos graxos em óleo de patauá obtidos por diferentes autores.

Perfil de Ácidos graxos	Óleo de Patauá			
	Autores			
	Pinto (1951)	Balick; Gershoff (1981)	Jamieson (1943) citado por Balick <i>et al.</i> (1988)	Lleras; Coradin (1988)
Oléico	72,9	77 ± 3,1	76,5	81,4
Linoléico	5,2	2,7 ± 1,0	3,4	3,5
Linolênico	-	0,6 ± 0,4	-	0,2–4,5
Palmítico	7,1	13,2 ± 2,1	6,8	-
Palmitoléico	-	0,6 ± 0,2	-	-
Esteárico	8,8	3,6 ± 1,1	5,8	5,9
Radical glicérico	4,9	-	-	-

FONTE: GOMES-SILVA et al., 2004.

2.3.2 Castanha-do-Brasil

2.3.2.1 Origem e distribuição

A castanha-do-Brasil (*Bertholletia esculsa* H.B.K.), também denominada castanha-do-Pará, ocorre nos Estados brasileiros do Acre, Amazonas, Pará, Roraima, e Rondônia, bem como em boa parte do Maranhão, Tocantins e do Mato Grosso (LOUREIRO et al., 1979). A Figura 5 apresenta uma foto do fruto.



Figura 5. Ouriço e castanha-do-Brasil com casca.

É uma espécie encontrada principalmente em solos pobres, bem estruturados e drenados, argilosos ou argilo-arenosos. Não é encontrada em áreas com drenagem deficiente, dando-se bem em terras firmes e altas. Vegeta naturalmente em clima quente e úmido. Ocorre em áreas onde a precipitação média varia de 1400 a 2800 mm/ano, e onde existe um déficit de balanço de água por 2-5 meses (Clement, 2002).

2.3.2.2 Descrição botânica

A castanha-do-brasil é uma árvore de grande porte, copa emergente, frequentemente atingindo de 50 a 60 m de altura. O tronco é ausente de galhos até perto da copa, ereto e cilíndrico, medindo até 2,5 m de diâmetro à altura do peito e é revertido com uma casca áspera de cor cinza amarronzada com fissuras longitudinais. As folhas são simples e arranjadas alternadamente nos galhos (REVILLA, 2002).

2.3.2.3 Produção e processamento

No que se refere à produção de frutos, a castanha-do-brasil tem importância social muito grande na região amazônica, já que a quase totalidade da produção é exportada, principalmente para Estados Unidos, Alemanha e Inglaterra. (VILLACHICA, 1996).

Devido ao desconhecimento da população nacional de seu potencial, tanto nutricional quanto industrial, e ao elevado valor comercial das amêndoas, mais da metade da produção de castanha brasileira destina-se, ao consumo no mercado internacional, onde tem boa aceitação pelo conhecimento que a população possui de seu valor nutritivo e sua utilidade (GLÓRIA; REGITANO-D'ARCE, 2000). Entre as razões para o reduzido consumo, podem estar a baixa qualidade de conservação das castanhas e a dificuldade de se quebrar a casca. O ranço parece ser o principal motivo da rejeição (RIBEIRO et al., 1993). A dificuldade maior no beneficiamento da castanha ocorre durante a secagem do produto, pois esta etapa não oferece garantias quanto às condições de armazenamento e transporte destes e, se não forem adequadas, há o risco de se re-umedecerem e também de desenvolverem um processo de rancidez. Portanto, as condições de secagem e estocagem devem ser as mais ideais possíveis (SILVA, 2002). A ausência de aflatoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂

indica que o produto encontra-se próprio para o consumo humano, em relação aos metabólitos tóxicos analisados. Tais substâncias podem ser encontradas em vários grupos de alimentos, especialmente oleaginosas como a castanha-do-brasil *in natura* e processada, amendoim e outros alimentos. De acordo com Santúrio (2007), das micotoxinas conhecidas, as aflatoxinas são as mais tóxicas, principalmente a aflatoxina B₁.

2.3.2.4 Utilização e importância

A amêndoa se constitui em alimento grandemente apreciado não só pelo seu sabor, como também pelas suas qualidades nutritivas, devido à qualidade e quantidade de aminoácidos que apresenta. Diversos estudos mostram que a castanha-do-Brasil apresenta de 60 a 70% de lipídios e de 15 a 20% de proteína de boa qualidade biológica, além de vitaminas e minerais (CARDARELLI; OLIVEIRA, 2000, NASCIMENTO, 1984). A amêndoa do fruto, quando prensada, produz um óleo claro, de cor e aroma agradáveis, rico em ácidos graxos insaturados e apesar de comestível na região amazônica, ainda não é largamente utilizado (FLORES PAYTÁN, 1997). Quanto aos minerais, pode ser citada a presença de Ba, Br, Ca, Co, Cs, Mg, Ni, Rb, Sr e Se, sendo este último elemento o de maior destaque entre os outros. Em relação ao teor vitamínico, destacam-se as vitaminas do grupo B, principalmente, B1 e B3, pró-vitamina A e vitamina E (ROGEZ, 1995).

2.3.2.5 Obtenção do leite de castanha

A obtenção dos produtos derivados da castanha-do-brasil já vem sendo estudada há muitos anos, embora poucos sejam os trabalhos encontrados na literatura referentes ao assunto (SIQUEIRA; REGITANO D'ARCE, 1993).

A metodologia utilizada para obtenção do leite é resultado de testes prévios e adaptações dos trabalhos de Souza et al. (1987) e Siqueira e Regitano D'Arce (1993).

As castanhas despelculadas são prensadas em prensas hidráulicas, tendo um rendimento de aproximadamente 34%, em peso de castanha (torta), sendo o restante de óleo bruto. Para a obtenção do leite, a torta é homogeneizada em liquidificador juntamente com água filtrada na proporção de duas partes de água para uma parte de torta, até a obtenção de consistência homogênea. O produto

obtido é então centrifugado em aparelho doméstico, obtendo-se o leite e a farinha úmida. O leite obtido é levado para o aquecimento até a coagulação da sua fração protéica (temperatura de 85 °C). Após a coagulação da fração protéica, retira-se do aquecimento e adiciona-se carboximetilcelulose (CMC) na proporção de 0,3% p/v e homogeneiza-se novamente em liquidificador. Adicionam-se às porções do leite, então, os conservantes correspondentes a cada tratamento (CARDARELLI; OLIVEIRA, 2000).

O processo tecnológico de obtenção do leite de castanha-do-brasil leva a um produto com um teor de proteína significativo de 21,19 % sobre a matéria-seca, lipídio baixo, em torno de 5 %, pouco superior ao do leite bovino integral. Consiste assim, em alternativa viável para a complementação energético-protéica de dietas, podendo até ser utilizado em programas de merenda escolar nas regiões produtoras, onde há abundância da matéria-prima (CARDARELLI; OLIVEIRA, 2000).

2.3.2.6 Características físico- químicas dos frutos

A Tabela 6 apresenta os resultados das análises de selênio, composição centesimal e valor calórico da amêndoa e torta de castanha-do-brasil.

Tabela 6. Composição química centesimal (g /100 g), teor de selênio e valor calórico de amêndoa e torta de amêndoa de castanha-do-brasil.

Componente	Amêndoa	Torta
Umidade (%)	3,13 ± 0,01	6,7 ± 0,0
Cinzas (%)	3,84 ± 0,01	8,85 ± 0,0
Lipídios (%)	67,3 ± 0,02	25,13 ± 0,0
Proteínas (%)	14,29 ± 0,0	40,23 ± 0,03
Carboidratos (%)	3,42 ± 0,06	3,37 ± 0,04
Fibra total (%)	8,02 ± 0,02	15,72 ± 0,02
Fibra insolúvel (%)	4,89 ± 0,03	12,67 ± 0,09
Fibra solúvel (%)	3,12 ± 0,01	3,04 ± 0,07
Valor calórico (kcal)	676,56 ± 0,18	400,6 ± 0,09
Selênio (mg/kg)	2,04 ± 0,01	7,13 ± 0,04

Fonte: MENEZES e SOUZA (2004).

Os principais consumidores de castanha-do-brasil estão nos Estados Unidos e Europa: especialmente Reino Unido, Alemanha e Itália. O mercado interno é um percentual muito pequeno do mercado consumidor total influenciado pelos preços internacionais e níveis de renda local (LOCATELLI et al., 2007).

2.3.3 Buriti

2.3.3.1 Origem e distribuição

Na Amazônia a palmeira recebe várias denominações. No entanto os nomes mais usuais são Buriti e Miriti, designações originárias do tupi que significam “árvore que emite líquido”. Em alguns países da bacia amazônica incluem-se ainda denominações como Aguaje ou Achual (Perú), Moriche (Venezuela) e Bache (Guiana Francesa) (CAVALCANTE, 1996; FILHO & LIMA, 2001).

O buriti é a segunda palmeira americana (LLERAS; CORADIN, 1988) em termos de área coberta, sendo superado abaixo apenas pelo babaçu (*Orbignya martiana*). A palmeira do buriti ocorre exclusivamente em áreas alagadas ou brejosas, como em beira de rios, igapós, lagos e igarapés, onde comumente é encontrada em grandes concentrações na forma de populações homogêneas, formando os chamados “buritizais”. Geralmente, partes do tronco ficam imersas na água por longos períodos, sem que isso lhe cause danos, portanto, é provável que a água concorra para a maior dispersão dos frutos (CAVALCANTE, 1991). A Figura 6 mostra o fruto do buriti.



Figura 6. Fruto do Buriti.

2.3.3.2 Descrição botânica

O Buritizeiro é uma palmeira arborecente de um só talo, sem espinhos, que alcança de 25 a 30 m de altura. Cresce em solos úmidos ou com má drenagem. O fruto é uma drupa de forma elíptica com comprimento de 5 a 7 cm e diâmetro entre 4 e 5 cm. A casca é escamosa, de cor “vinho” ou roxo escuro. O mesocarpo, a única parte comestível, de 4 a 6 mm de espessura, é suave, sabor agridoce e de cor laranja, representando somente 12 a 13 % do peso seco do fruto. O endocarpo é

suave e rico em celulose. A floração e frutificação se distribuem irregularmente durante o ano. Os frutos maduros se encontram todo ano em abundância no primeiro semestre (Peru e Amazônia), ou no segundo semestre (Colômbia, Venezuela e Amazônia central do Brasil) (VILLACHICA, 1996).

2.3.3.3 Produção e processamento

O óleo bruto extraído do mesocarpo dos frutos de buriti é muito rico em ácido oléico e é equivalente em termos de composição dos ácidos dos azeites das sementes oleaginosas tradicionais. Os ácidos láurico e mirístico estão presentes principalmente no fruto verde e podem ser utilizados na indústria farmacêutica (VILLACHICA, 1996).

Além disso, o óleo obtido da polpa de buriti é uma excelente fonte de caroteno (pró-Vitamina A). A matéria corante do buriti é na quase totalidade constituída de carotenos. Em adição às suas propriedades corantes, β -caroteno e outros carotenóides são nutricionalmente importantes como pró-vitamina A, sendo a principal fonte dietética dessa vitamina (BRITTON, 1991).

2.3.3.4 Utilização e importância

A região Amazônica possui enormes reservas nativas de oleaginosas que fornecem frutos com alto teor de pró-vitamina A, dentre as quais se destaca a palmeira Buriti, cujos frutos são portadores do maior potencial pró-vitamínico A que se conhece (AGUIAR et al., 1980).

Inúmeros produtos do buritizeiro são aproveitados pela população ribeirinha em suas necessidades diárias: a polpa (mesocarpo) que envolve o caroço do fruto pode ser consumida *in natura* ou mesmo usada para fabricação de doces, sendo também utilizada no preparo de uma espécie de vinho caseiro. O óleo comestível da polpa é usado na fritura, mas também serve para produzir sabão caseiro e, atualmente, está sendo utilizado na indústria de cosméticos. No Ceará, as sementes são utilizadas para alimentação de suínos (CAVALCANTE, 1991).

2.3.3.5 Características físico- químicas dos frutos

Um fruto fresco contém 69,6% de água, e é composto de 23% de casca, 21% de polpa e 56% de semente. A Tabela 7 apresenta a composição química encontrada para cada 100g de polpa fresca de buriti.

Tabela 7. Composição química centesimal (g/100g) da polpa de buriti.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Energia	145 kcal
Umidade (%)	69,6
Proteína (%)	1,8
Lipídios (%)	8,1
Carboidratos (%)	19,8
Fibras (%)	9,6
Cinzas (%)	0,7
Vitamina A (µg)	4104

Fonte: MARIATH et al (1989).

2.4 REOLOGIA

2.4.1 Definição de Reologia

Reologia é o estudo da relação que existe entre as forças externas que atuam sobre um corpo e a deformação ou escoamento que as mesmas produzem (STEFFE, 1996). A importância do estudo desta relação se justifica pelo fato de que diferentes materiais respondem de forma diferente às forças externas a que são submetidos.

A importância do estudo da reologia, além de estritamente tecnológica, é econômica e comercial em relação aos efeitos do transporte e da manipulação na integridade física dos alimentos (tanto os que vão ser consumidos frescos ou que serão processados), seu comportamento durante o processo de fabricação e a qualidade da textura do produto acabado dependem, em grande parte, da sua resposta frente à aplicação de forças externas (COSTELL et al 1997).

O primeiro uso da palavra "reologia" é creditado a Eugene C. Bingham. Todos os materiais têm propriedades reológicas e a área é relevante em muitos campos de estudo. Pode-se pensar em reologia de alimentos como matéria da ciência dos alimentos (STEFFE, 1996). Há numerosas áreas onde dados reológicos são necessários na indústria alimentícia:

- a) Processos de engenharia envolvendo cálculos a uma vasta gama de equipamentos tais como oleodutos, bombas, extrusores, misturadores, permutadores de calor, homogeneizadores, e na linha de viscosímetros;
- b) Determinar a funcionalidade de um ingrediente no desenvolvimento do produto;
- c) Intermediar o controle de qualidade do produto final;
- d) Testar a vida de prateleira;
- e) Avaliação da textura dos alimentos por correlação de dados sensitivos;
- f) Análise de equações reológicas de estado ou equações constitutivas.

Equações preditivas das propriedades reológicas, aplicáveis em uma ampla faixa de temperatura e concentração, são um dos principais subsídios para a otimização das operações de bombeamento e troca térmica. As propriedades reológicas de alguns alimentos líquidos podem ser encontradas na literatura (VITALI; RAO, 1984; IBARZ et al., 1996; TELIS-ROMERO et al., 2001), as quais são determinadas a partir de diversas equações empíricas, como os modelos de Ostwald-de Waele ou Lei da Potência, Herschel-Bulkley, Bingham, entre muitos outros.

2.4.2 Comportamento reológico dos fluidos

O comportamento elástico para muitos fluidos alimentícios é pequeno ou pode ser desprezado (massas são exceção) deixando a viscosidade funcionar como a principal área de interesse. Esta função envolve tensão de cisalhamento e taxa de deformação: a relação entre os dois é estabelecida a partir de dados experimentais.

O comportamento é visualizado como a relação da tensão de cisalhamento versus taxa de deformação, bem como a curva resultante é matematicamente modelada utilizando diferentes relações entre equações (STEFFE, 1996). O tipo mais simples a considerar é o de fluidos Newtonianos (Equação 1) onde a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação:

$$\sigma = \mu \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

Com μ sendo a constante de proporcionalidade adequada para um fluido Newtoniano. Usando unidades de N, m², m, m/s para força, área, comprimento e velocidade, resulta na unidade de viscosidade Pa.s. A viscosidade dinâmica e o coeficiente de viscosidade são sinônimos para o termo "viscosidade", referindo-se

aos fluidos newtonianos. Fluidos newtonianos também podem ser descritos em termos da sua viscosidade cinemática (ν), que é igual à viscosidade dinâmica dividida pela densidade (μ/ρ). Esta é uma prática comum para materiais não alimentares, nomeadamente óleos lubrificantes.

Pela observação das curvas de escoamento obtidas experimentalmente, foram estabelecidas equações matemáticas, denominadas equações constitutivas, que descrevem matematicamente o comportamento reológico da maioria dos fluidos, algumas curvas estão apresentadas na Figura 7.

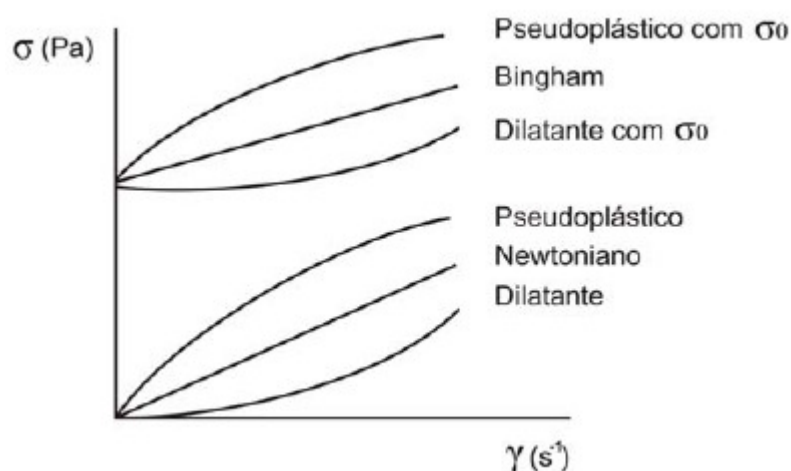


Figura 7. Curvas típicas de comportamentos reológicos (STEFFE, 1996).

2.4.3 Modelos matemáticos utilizados na descrição do comportamento reológico

A principal utilidade dos modelos reológicos é a representação matemática entre os valores experimentais de tensão de cisalhamento e de taxa de deformação, a qual se baseia em aspectos fenomenológicos ou teóricos relacionados com a estrutura dos fluidos. Os sucos de frutas clarificados, por exemplo, os quais são isentos de sólidos em suspensão, apresentam comportamento Newtoniano (SARAVACOS, 1970; IBARZ et al., 1989; IBARZ et al., 1992; IBARZ et al., 1994; GINER et al., 1996) e de maneira geral, os gases e líquidos de baixa massa molecular são Newtonianos, visto que a energia nestes materiais é dissipada pela colisão de moléculas relativamente pequenas.

Fluidos Newtonianos, por definição, têm uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento interceptando no zero. Todos os fluidos, que não apresentam esse comportamento podem ser chamados não-Newtonianos. Uma

equação geral para descrever o comportamento de fluidos não newtonianos, com comportamento independente do tempo, é o modelo de Herschel-Bulkley (HB). Tal modelo é particularmente interessante uma vez que pode ser considerado um modelo geral que se aplica à maioria dos fluidos. Os fluidos newtonianos, os da Lei da Potência, que possuem $\tau_0 = 0$ e $0 < n < 1$ (pseudoplástico) ou $\tau_0 = 0$ e $0 > n > 1$ (dilatante), ou ainda os plásticos de Bingham, que possuem $\tau_0 > 0$, $k > 0$ e $n = 1$; podem ser considerados casos especiais do modelo HB (STEFFE, 1996).

A Figura 8 apresenta a classificação do comportamento reológico de fluidos (STEFFE, 1996).

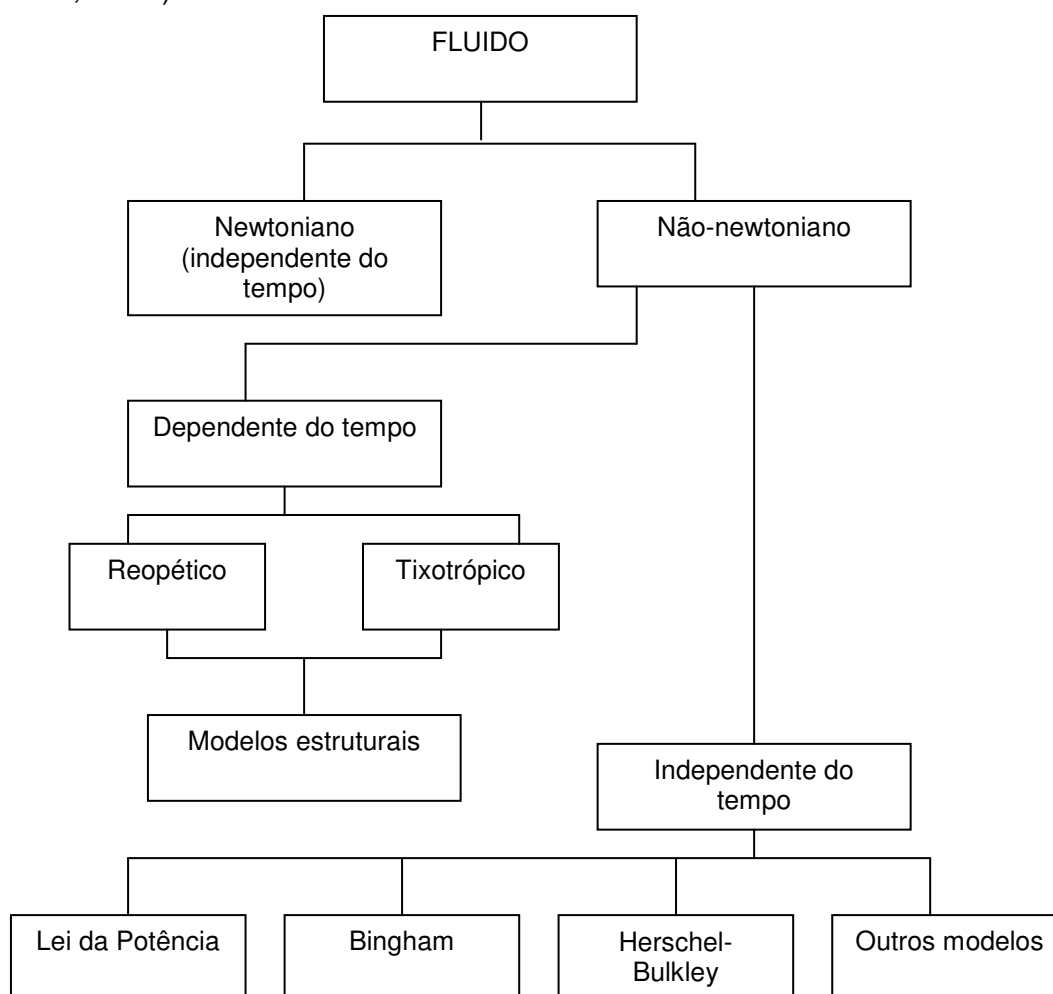


Figura 8. Classificação simples do comportamento reológico (STEFFE, 1996).

A Tabela 8 apresenta alguns dos modelos reológicos mais comumente encontrados na literatura.

Tabela 8. Modelos reológicos para descrever o comportamento de fluidos independentes do tempo.

Modelo (origem)	Equação*
Casson (Casson, 1959)	$\tau^{0,5} = (\tau_0)^{0,5} + K_1 \left(\dot{\gamma} \right)^{0,5}$
Casson modificado (Mizhari e Berk, 1972)	$\tau^{0,5} = (\tau_0)^{0,5} + K_1 \left(\dot{\gamma} \right)^{n_1}$
Ellis (Ellis, 1927)	$\dot{\gamma} = K_1 \tau + K_2 (\tau)^{n_1}$
Herschel-Bulkley generalizado (Ofoli et al., 1987)	$\tau^{n_1} = (\tau_0)^{n_1} + K_1 \left(\dot{\gamma} \right)^{n_2}$
Vocadlo (Parzonka and Vocadlo, 1968)	$\tau = \left((\tau_0)^{1/n_1} + K_1 \dot{\gamma} \right)^{n_1}$
Power Series (Whorlow, 1992)	$\dot{\gamma} = K_1 \tau + K_2 (\tau)^3 + K_3 (\tau)^5 \dots$ $\tau = K_1 \dot{\gamma} + K_2 (\dot{\gamma})^3 + K_3 (\dot{\gamma})^5 \dots$
Carreau (Carreau, 1968)	$\eta = \eta_\infty + (\eta_0 - \eta_\infty) \left[1 + \left(K_1 \dot{\gamma} \right)^2 \right]^{n-1/2}$
Cross (Cross, 1965)	$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{1 + K_1 \left(\dot{\gamma} \right)^n}$
Van Wazer (Van Wazer, 1963)	$\eta = \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{1 + K_1 \dot{\gamma} + K_2 \left(\dot{\gamma} \right)^{n_1}}$
Powell-Eyring (Powell e Eyring, 1944)	$\tau = K_1 \dot{\gamma} + \left(\frac{1}{K_2} \right) \sinh^{-1} \left(K_3 \dot{\gamma} \right)$
Reiner-Philippoff (Philippoff, 1935)	$\tau = \left(\eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{1 + \left((\sigma)^2 / K_1 \right)} \right) \dot{\gamma}$

*K₁, K₂, K₃ e n₁, n₂ são constantes e índices arbitrários, respectivamente, determinados a partir de dados experimentais (STEFFE, 1996).

2.4.4 A Reologia na indústria alimentícia

Muitas bebidas como chá, café, cerveja, vinhos, refrigerantes e leite são normalmente caracterizados pelo modelo de Newton, assim como as soluções de sacarose e diversos tipos de xarope e mel (RAO, 1977). O modelo da Lei da

Potência é um dos mais extensivamente empregados para descrever o comportamento reológico dos sucos de frutas naturais e das polpas de frutas (RAO et al., 1984), os quais normalmente apresentam substâncias pécticas e polpa. Este modelo também foi inicialmente proposto como uma expressão empírica, porém uma simples teoria molecular leva a função potência para altas taxas de deformação com $n = 1/3$ (BIRD et al., 2002), onde n é o índice de comportamento do fluido. O modelo da Lei da Potência é geralmente suficiente para propostas industriais e proporciona uma representação razoável de muitos fluidos pseudoplásticos, ou *shear-thinning* ($n < 1$) e dilatantes, ou *shear-thickening* ($n > 1$), sendo usualmente preferido por apresentar apenas dois parâmetros, o índice de consistência (K em Pa.s^n) e o índice de comportamento (n , adimensional).

Além disso, é um modelo realmente conveniente, pois além de ser simples, ele tem sido amplamente empregado em estudos de mecânica dos fluidos e de transferência de calor, assim, o número de informações disponíveis na literatura relacionada a este modelo é consideravelmente vasto.

A equação de Casson foi adotada pelo International Office of Cocoa and Chocolate para interpretar o fluxo do comportamento de chocolates. Os modelos de Casson e plástico de Bingham são semelhantes, pois ambos têm uma tensão inicial. Cada um, no entanto, dará diferentes valores dos parâmetros de fluido dependendo dos dados utilizados na análise matemática (STEFFE, 1996).

Na Tabela 9, tem-se as equações constitutivas de cada uma das classificações reológicas descritas acima com exemplos de alimentos que apresentam tais comportamentos.

Tabela 9. Classificação dos modelos reológicos aplicados a curvas de escoamento em ensaios estacionários.

Classificação do fluido	Equação constitutiva	τ_0	k	N	Exemplos típicos
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + k \left(\dot{\gamma} \right)^n$	>0	>0	$0 < n < \infty$	Pasta de peixe picado, pasta de uva passa.
Newtoniano	$\tau = k \left(\dot{\gamma} \right)$	0	>0	1	Água, leite, mel, suco de fruta clarificado.
Pseudoplástico	$\tau = k \left(\dot{\gamma} \right)^n$	0	>0	$0 < n < 1$	Purê de banana, suco concentrado de laranja.
Dilatante	$\tau = k \left(\dot{\gamma} \right)^n$	0	>0	$1 < n < \infty$	Suspensão 40% de amido de milho
Plástico de Bingham	$\tau = \tau_0 + k \left(\dot{\gamma} \right)$	>0	>0	1	Pasta de dente, purê de tomate.
Casson	$(\tau)^{0,5} = \tau_0 + k \left(\dot{\gamma} \right)^{0,5}$	>0	>0	0,5	Suspensões de partículas em meio newtoniano, como chocolate.

FONTE: STEFFE, 1996

Quando os sucos de frutas são concentrados, pode surgir uma resistência adicional ao escoamento que é representada pela tensão de cisalhamento residual (*yield-stress*), τ_0 (Pa), nos modelos de Bingham e de Herschel-Bulkley (BARBOSA; CANOVAS; PELEG, 1983; SARAVALCOS; KOSTAROPOULOS, 1995). O comportamento físico desses fluidos é geralmente explicado em termos de uma estrutura tridimensional, a qual é capaz de impedir o movimento quando o valor do tensor τ_{rz} é menor do que a tensão residual τ_0 . Assim, para valores abaixo da tensão de cisalhamento residual requerida para o início do escoamento, o material exibe características de um sólido (STEFFE, 1996). Vale lembrar que a precisão do modelo de Herschel-Bulkley, diminui a altas taxas de deformação quando $n < 1$, pois neste caso, a viscosidade aparente predita pelo modelo tende a zero e não a um valor finito (CHILTON; STAINSBY, 1998).

Muitas pesquisas evidenciam a influência de fatores como a concentração e a temperatura nos parâmetros reológicos de diversos alimentos líquidos, como é o caso do suco de laranja (RAO et al., 1984; CRANDALL et al., 1982; TELIS-ROMERO et al., 1999), das polpas de frutas (GUERRERO; ALZAMORRA, 1998), dos sucos de frutas clarificados (KHALIL et al., 1989; IBARZ et al., 1992; IBARZ et

al., 1994), do leite concentrado (VÉLEZ-RUIZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 1998), do extrato de café (TELIS-ROMERO et al., 2001), do açúcar líquido invertido (GRATÃO et al., 2004) e de misturas binárias de triglicerídeos (GOODRUM; GELLER, 2000).

Estes estudos foram úteis para compreender a forma como estes compostos interagem uns com os outros e como o comprimento da cadeia de triglicerídeos afeta as propriedades físicas de óleos vegetais. Estas informações são necessárias ao delineamento e avaliação de equipamentos utilizados para o processamento químico de óleos contendo baixo peso molecular de triglicerídeos saturados para aplicações cosméticas e farmacêuticas (GOODRUM; GELLER, 2000).

2.4.5 Efeito da temperatura no comportamento reológico

Em geral, a viscosidade dos líquidos diminui com o aumento da temperatura e uma medida da influência da temperatura nos parâmetros reológicos é normalmente dada por uma equação análoga à relação de Arrhenius (SARAVACOS, 1970; BERTO et al., 2003), a qual envolve a temperatura absoluta, a constante universal dos gases e a energia de ativação. Para fluidos HB pseudoplásticos, um aumento da temperatura resulta numa diminuição dos valores de tensão inicial e índice de consistência, enquanto o índice de comportamento sofre normalmente um ligeiro aumento, que em muitos casos, é imperceptível. Comportamento semelhante ocorre para os índices de consistência e de comportamento dos fluidos da Lei da Potência do tipo pseudoplásticos (GRATÃO, 2006).

O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente pode ser descrito mediante uma equação (2) análoga à de Arrhenius (BEZERRA, 2000; FERREIRA et al., 2002; RAO, 1977; VIDAL et al., 2000).

$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{E_{at}}{RT}\right) \quad (2)$$

onde η é a viscosidade aparente (Pa.s), η_0 é uma constante (Pa.s), E_{at} é a energia de ativação para escoamento viscoso (kcal.gmol⁻¹), R é a constante dos gases (1,987 cal/(gmol.K)) e T é a temperatura absoluta (K). De um modo geral, quanto maior for a energia de ativação, maior será o efeito da temperatura sobre a viscosidade (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1986).

2.4.6 Propriedades reológicas de óleos e gorduras

As análises térmicas e reológicas podem definir a qualidade do óleo e fornecer informações úteis necessárias para projetar as etapas de purificação do mesmo (SATHIVEL, 2005). Propriedades físicas de óleos vegetais são importantes parâmetros da engenharia. O componente predominante de ambos os resíduos das gorduras é o ácido oléico. A variação significativa ocorre nas frações palmítica e linoleica. Elas são essenciais para projetar equipamentos de transformação, como a utilizada para a transferência de calor, tubos, desodorização, cristalização e assim por diante (WANG; BRIGGS, 2002).

O conhecimento das propriedades reológicas ajuda a resolver os problemas relacionados com a transferência ou circulação de grandes quantidades de líquidos. A baixas temperaturas, as impurezas de um óleo bruto tendem a precipitar nas paredes das tubulações. Algumas partículas sólidas no fluxo em massa aumentam a viscosidade do óleo, provocando um aumento da pressão na queda do oleoduto. Como resultado do aumento da viscosidade, as propriedades do fluxo de óleo apresentam comportamento não-Newtoniano. O processo de refino do óleo, tais como degomagem, neutralização, branqueamento e desodorização removem impurezas como umidade, pigmentos e compostos voláteis, são seqüencialmente removidos do óleo. A remoção das mesmas pode alterar as suas propriedades de fluxo (SATHIVEL, 2005).

Os óleos que contêm ácidos graxos de baixo peso molecular são ligeiramente menos viscosos que os com alto peso molecular, mas como em outros líquidos, nos óleos, também a viscosidade diminui com o aumento da temperatura, havendo uma relação linear entre o logaritmo da viscosidade e o da temperatura. Segundo Castro (1999), ao estudar a viscosidade do óleo de babaçu verificou as viscosidades decrescerem consideravelmente a altas temperaturas.

O óleo bruto pode ser considerado como um sistema disperso estruturado porque a complexa mistura de líquidos derivados de hidrocarbonetos atua como meio de dispersão e as impurezas agregadas compõem a fase dispersa. As impurezas de óleos brutos influenciam as características do fluxo e determinam suas propriedades não-newtonianas. O modelo da Lei da Potência tem sido utilizado para descrever as propriedades de fluxo de líquidos à base de produtos alimentícios (SATHIVEL et al., 2003).

2.5 PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS

Os modelos para descrição das propriedades térmicas de alimentos líquidos são diretamente aplicados por engenheiros e projetistas engajados em processos tanto na indústria de alimentos, como no ensino e na pesquisa. As variações na composição e na estrutura são os principais fatores na avaliação das propriedades térmicas dos alimentos, os quais são geralmente substâncias não-homogêneas e cujas propriedades químicas, físicas e, conseqüentemente, térmicas, variam fortemente com as condições de processo, como a temperatura (GRATÃO, 2006).

Ao longo dos anos, coletâneas de valores das propriedades térmicas dos alimentos e revisões abrangentes das mais variadas equações empíricas propostas foram realizadas (LAMB, 1976; MILES et al., 1983; ASHRAE, 1985; SWEAT, 1995), bem como exames minuciosos dos vários métodos existentes para efetuar as medições das propriedades térmicas (REIDY; RIPPEN, 1971; MOHSENIN, 1980; SINGH, 1982; OHLSSON, 1983). O rigor e a precisão das medidas são importantes fatores a serem considerados quando um método está sendo avaliado. Para a maioria dos cálculos de engenharia, uma precisão entre 2,0 a 5,0 % é normalmente suficiente (SWEAT, 1995).

Os tratamentos térmicos necessários para eliminar microrganismos contaminantes, inativar enzimas naturais e retardar processos metabólicos e microbiológicos em condições de estocagem têm utilidade ainda nos projetos de equipamentos aquecedores, resfriadores, evaporadores, separadores e embaladores dos produtos. Em todos esses casos são necessários conhecimentos das propriedades termofísicas das matérias-primas, a fim de se calcular cargas térmicas, dispêndios energéticos, dimensionamento dos equipamentos, etc. (FIGUEIRÊDO et al., 2004).

O uso das equações de transferência de calor e massa é condicionado à disponibilidade de dados sobre as características intrínsecas dos materiais envolvidos, em particular das propriedades termofísicas. Estimativas de dispêndios e trocas energéticas podem ser realizadas a partir dos valores de massa específica, difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica dos materiais (FIGUEIRÊDO et al., 2004).

2.5.1 Condutividade térmica (k)

A condutividade térmica é uma propriedade do material que descreve a taxa com que o fluxo de calor escoar sob a influência de um gradiente de temperatura e pode ser predita pela Lei de Fourier da condução de calor, conforme segue (RAHMAN, 1995):

$$q = -k \times A \times \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3)$$

Onde:

q = taxa do fluxo de calor (W)

A = área superficial ou área normal ao fluxo de calor (m^2)

k = constante de proporcionalidade conhecida como condutividade térmica (W/m.K)

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = gradiente de temperatura ao longo da direção do fluxo (K/m)

A condutividade térmica é uma das propriedades mais importantes quando se analisa o processamento térmico de um alimento, uma vez que os tratamentos de aquecimento ou resfriamento podem causar mudanças na estrutura e nas propriedades físicas e químicas do produto (SWEAT, 1986). O efeito resultante da temperatura sobre a condutividade térmica não é facilmente estabelecido pelo emprego do conhecimento básico dos mecanismos de transferência de calor em sólidos, líquidos e gases. Assim, a condutividade térmica de alimentos depende tanto da sua composição, como de qualquer fator que afeta o fluxo de calor através do material como: a porosidade, o arranjo dos poros, a orientação das fibras em carnes congeladas (PARK et al., 1999), densidade, temperatura e teor de umidade (MOHSENIN, 1980).

A condutividade térmica depende principalmente da composição do produto, incluindo a presença de espaços vazios e do grau de homogeneidade estrutural. A condutividade térmica de um material, de acordo com Rao e Rizvi (1994), é a medida da sua capacidade para conduzir calor. No caso de condução unidimensional de calor, a equação proposta por Fourier (ÖZISIK, 1977) e conhecida como a equação fundamental de transferência de calor exprime a relação da condutividade térmica com a transferência de calor e a temperatura.

No entanto, para a obtenção de correlações empíricas confiáveis para os coeficientes convectivos de troca térmica é fundamental obter valores altamente precisos das propriedades térmicas e reológicas dos óleos em questão.

Para a análise de transferência de calor durante o aquecimento ou resfriamento de produtos alimentícios, eram utilizados valores constantes ou aproximados das propriedades térmicas, as quais eram imprecisas ou simplificadas. Atualmente as técnicas permitem determiná-las com maior precisão (MONZÓN DÁVILA, 2007).

Existem numerosas técnicas para determinar a condutividade térmica de produtos alimentícios que podem ser divididas em dois grandes grupos: as técnicas de medição em regime permanente e as técnicas em regime transiente (MONZÓN DÁVILA, 2007).

No regime permanente, o perfil de temperaturas independe do tempo, ou seja, apresentam soluções matemáticas simples, sendo que o controle de variáveis é bastante preciso. Em desvantagens, demora-se um longo tempo para atingir o regime permanente. É necessária uma geometria definida da amostra e, no caso de alimentos com alto conteúdo de água, há presença do mecanismo de convecção. Sweat (1973) usou este método para a medição de condutividade térmica de amostras de carnes, gorduras e géis de gelatina, mas necessitou de 1 a 2 dias para realizar a medida.

Os métodos em regime transiente são baseados na obtenção de dados do perfil de temperaturas, em um intervalo de tempo t . Entre os estudos em regime transiente se destacam os método de Fitch; método da fonte linear de aquecimento proposto por Dickerson (1965), método da resposta da frequência e o método de análise de camada conjunta (MOHSENIN, 1980). Entre os métodos de medição, o método da sonda linear tem sido amplamente utilizado para produtos alimentícios, devido a sua *conveniência* – a instrumentação é de fácil transporte; *rapidez* – em pouco tempo é obtida uma medida confiável e com boa precisão; *baixo custo* – quando comparado a outros métodos que requerem equipamentos mais sofisticados e *adequado para pequenas amostras* – é possível dimensionar a sonda de acordo com o tamanho da amostra e não adequar a amostra ao aparelho (RAHMAN, 1995; PARK *et al.*, 1997).

Assim sendo, o método da sonda linear tornou-se o mais adequado para ser desenvolvido no presente trabalho.

2.5.2 Difusividade térmica (α)

A relação entre a habilidade de conduzir e armazenar energia de um material é conhecida como difusividade térmica. Materiais com alto valor de difusividade térmica respondem rapidamente a mudanças térmicas em seu ambiente, enquanto materiais de pequenos valores de difusividade respondem mais lentamente, demorando a alcançar um novo estado de equilíbrio (INCROPERA, 1996):

$$\alpha = \frac{k}{\rho \times c_p} \quad (4)$$

Onde:

α = difusividade térmica (m^2/s)

c_p = calor específico (J/kg K)

k = condutividade térmica (W/m K)

ρ = densidade (kg/m^3)

A difusividade térmica é uma importante propriedade de transporte que é necessária na modelagem e nos cálculos de transferência de calor transiente em operações básicas de processamento de alimentos, como a secagem, o processamento térmico, o resfriamento e o congelamento (QUEIROZ, 2001).

A difusividade térmica de um material é influenciada pelo conteúdo de água, pela temperatura, pela composição e pela porosidade. Como em muitos processos, o conteúdo de água e a temperatura de um produto podem variar consideravelmente, o valor da difusividade térmica também pode variar. Além disso, muitos produtos alimentícios não são homogêneos e a difusividade térmica pode variar de um local para outro dentro do mesmo produto. Vários modelos empíricos úteis na predição da difusividade térmica de alimentos existem na literatura. A maioria desses modelos é específica ao produto estudado (QUEIROZ, 2001).

DICKERSON (1965) descreveu um equipamento que permite a determinação da difusividade térmica de alimentos, ilustrado na Figura 9. O método foi baseado na transferência de calor transiente em que as temperaturas da amostra aumentam linearmente com o tempo.

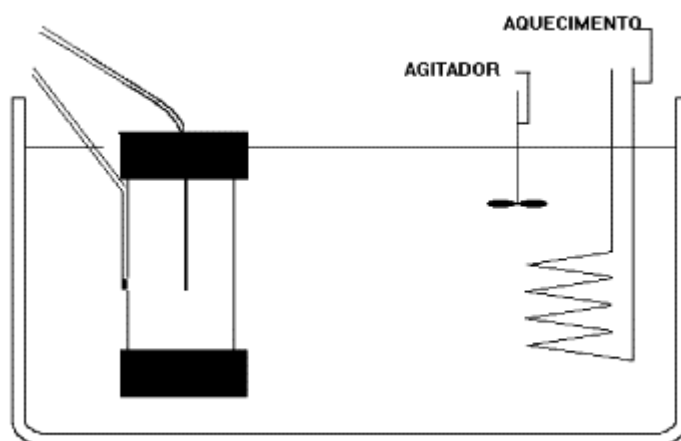


Figura 9. Aparelho de difusividade térmica usado por DICKERSON em 1965.

Dincer e Yildiz (1996) desenvolveram um modelo para a determinação da umidade e da difusividade térmica de objetos cilíndricos submetidos à fritura. A transferência de calor em frituras ocorre de fora para dentro do alimento, e ao mesmo tempo a água contida no alimento vaporiza no interior assim como na superfície do alimento e escapa através do meio de fritura. Várias mudanças físicas e térmicas ocorrem no alimento submetido ao processo de fritura: evaporação da água, elevação da temperatura do alimento ao nível desejado, elevação da temperatura da superfície para dourar e ficar crocante, mudanças nas dimensões do alimento sendo frito, remoção do óleo de fritura do sistema como um componente absorvido pelo alimento frito, reposição do óleo para compensar o óleo que foi removido e mudanças na densidade do alimento durante o processo de fritura que o mantém flutuando ou submerso (DINCER; YILDIZ, 1996).

2.5.3 Calor específico (C_p)

O calor específico que indica a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um material, geralmente é medido por meio de um calorímetro (RIEDEL, 1951), que constitui uma técnica simples, embora o instrumento requeira uma calibração cuidadosa em consequência da capacidade calorífica do mesmo. O calorímetro diferencial de varredura DSC (do inglês *differential scanning calorimeter*), brevemente discutido por Mohsenin (1980) e em maiores detalhes por Lund (1983) é a melhor alternativa para determinar experimentalmente o calor específico dos alimentos. É um método direto e que demanda pequenas quantidades de amostra,

em torno de 20 mL, o que não representa dificuldades no caso de materiais puros. No entanto, para amostras heterogêneas, esta pequena quantidade exigida pode ser um problema em relação à superfície de contato do aparelho, o qual requer amostras homogêneas e que não tenham sido aquecidas ou resfriadas, de modo que nenhuma transição irreversível tenha ocorrido no material (LUND, 1983).

Os estudos mostram que há uma forte relação entre o calor específico e o conteúdo de água de um produto, visto que a água apresenta o maior calor específico em relação a todos os outros componentes do alimento. Na verdade, devido às características únicas das ligações de hidrogênio, a água apresenta um calor específico bastante elevado em relação a outras substâncias, consequentemente, o calor específico de um produto alimentício é significativamente afetado pela quantidade de água presente e o seu estado físico (LEWIS, 1987). Assim, o calor específico tem sido normalmente descrito por funções lineares em relação ao conteúdo de água e nestes casos, a água é tratada como um componente único e uniforme do produto. Os estudos também evidenciam um ligeiro aumento no calor específico da maioria das substâncias com a elevação de temperatura.

O calor específico pode ser obtido de forma indireta, através da equação 3, bastando para isso ter os valores de difusividade e condutividade térmica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

Foram selecionados para este estudo os frutos de buriti, patauá e castanha-do-brasil. O óleo de buriti foi doado pela empresa Beraca, já no caso da castanha-do-brasil e do patauá os óleos foram extraídos no Laboratório de Operações de Separação da Universidade Federal do Pará.

3.2 Obtenção dos Óleos

Os frutos do patauá foram coletados no município do Acará e encaminhados ao Laboratório de Separações (LAOS) onde foram despulpados. Em seguida as polpas passaram por processo de secagem a 60 °C em estufa com circulação de ar (FABBE 170) por 24 h até atingirem uma umidade próxima a 5 % e melhorar o rendimento da extração. As amêndoas de castanha-do-brasil foram doadas pela

empresa MUTRAN e passaram pelo mesmo processo e condições de secagem utilizados para o patauá. Os óleos de patauá e castanha-do-brasil foram extraídos da polpa/amêndoa dos frutos por prensagem a frio (prensa MARCON, MPH-15) (Figura 11). Após o processo de extração, os óleos brutos foram centrifugados (3000 rpm/2 min;) e filtrados (filtração à vácuo) para separação das impurezas e em seguida, as amostras foram envasadas em frascos âmbar de 1 L e armazenadas sob refrigeração à 2,5 °C até o momento das análises. A Figura 10 apresenta um fluxograma do processo de extração utilizado para obtenção dos óleos de castanha e patauá.

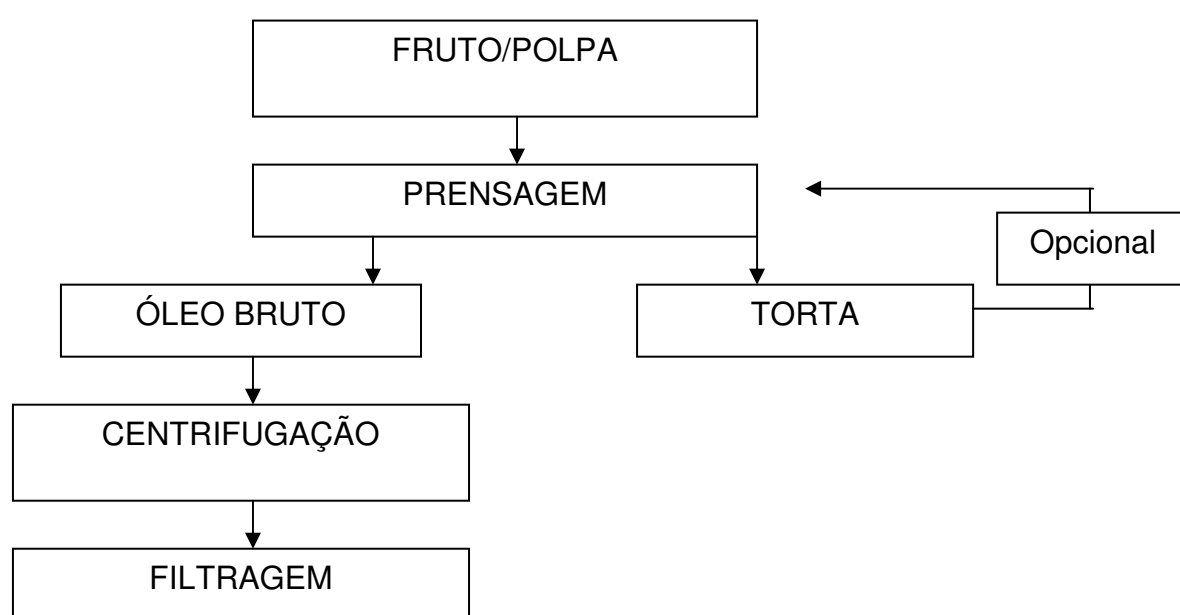


Figura 10. Fluxograma do processo de extração dos óleos.

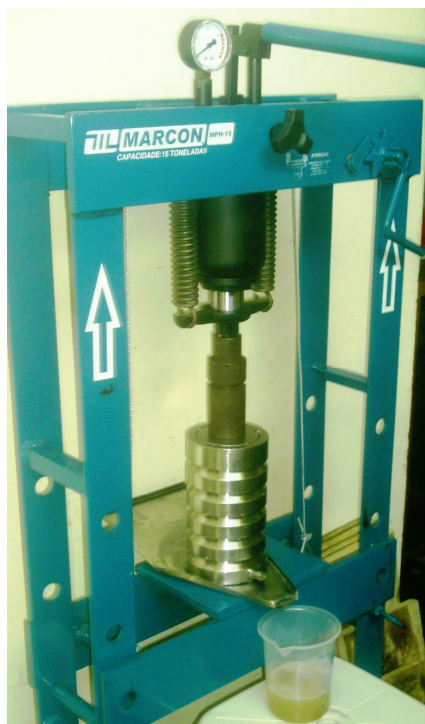


Figura 11. Prensagem a frio dos óleos de castanha e patauá.

3.3 Caracterização físico-química

A caracterização físico-química dos óleos brutos (puros e suas misturas) foi efetuada no laboratório de Controle de Qualidade da AGROPALMA utilizando os procedimentos estabelecidos pelos métodos da AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY (AOCS, 2002). Foram determinadas as seguintes propriedades:

- Ácidos graxos livres (AGL) (Ca5a-40, 2002) – é a porcentagem em peso de um ácido graxo específico (por exemplo, o ácido oléico), enquanto que a acidez é definida como a massa, em mg, de KOH necessária para neutralizar os ácidos livres presentes em 1 g de óleo ou gordura;
- Índice de Iodo (Cd1-25, 2002) – é o número de gramas de iodo absorvido por 100 g de gordura ou óleo e proporciona a medida do grau de insaturação dos ácidos graxos presentes na gordura;
- Índice de Peróxidos (Cd8-53, 2002) – Peróxidos são os principais produtos iniciais da oxidação de lipídios e podem ser medidos através de técnicas fundamentadas na habilidade de liberar iodo a partir de iodeto de potássio, na oxidação de ferro a íons férrico, ou ainda,

através de reações enzimáticas, métodos físicos ou técnicas cromatográficas;

- Índice de saponificação (Cd3-25, 2002) – é definido como o número de (mg) de hidróxido de potássio, necessários para saponificar os ácidos graxos, resultantes da hidrólise de um grama de amostra;
- Teste de rancidez (Cd12-57, 2002) – nas seguintes condições: 3 g de amostra, $T = 131\text{ }^{\circ}\text{C}$ e vazão de ar = 20 L/h. Este método mede o tempo (em horas) para que uma amostra de óleo ou gordura atinja um nível de oxidação sobre as condições do teste, tal que os produtos de oxidação formados altere a condutividade elétrica da água deionizada;
- Ponto de Fusão (Cc3-25, 2002);
- Cor (Cc13e-92, 2002 – LOVIBOND PFX880 tintometer) – as medidas de cor foram obtidas através do equipamento Lovibond, cujas variáveis são as cores primárias R (vermelho), Y (amarelo), B (azul) e N (neutro). A combinação destas variáveis indica a predominância de cor do óleo e conseqüentemente podem indicar os componentes que se apresentam em maior concentração, ou seja, valores altos de leitura R (vermelho) e ou Y (amarelo) sugerem altas concentrações de carotenóides. No caso de óleos refinados existe um padrão na legislação que define que todos os óleos, independente da origem devem estar dentro deste limite, uma vez que aparência do óleo é uma das primeiras barreiras para a aceitação do produto pelos consumidores (LAWSON, 1995).;
- Densidade (Densímetro digital DA-130N, KEM Kyoto Electronics)
- Perfil de ácidos graxos (AOCS, 2002) – Foi realizada em um cromatógrafo a gás marca VARIAN, modelo CP-3380, equipado com detector de ionização de chama (Flame Ionization Detector - FID) e coluna capilar de sílica fundida modelo CP-Sil 88 (60m x 0,25mm). Foram injetados 1 μL de amostra em sistema split, na razão 1:50, utilizando-se o hélio como gás de arraste numa vazão de 1 mL/min. A temperatura do injetor foi de $245\text{ }^{\circ}\text{C}$ e do detector de $280\text{ }^{\circ}\text{C}$. O tempo total das análises foi de 45 minutos.

Estas duas últimas análises foram determinadas no Laboratório de Operações e Separação (LAOS) da UFPA. Todas foram realizadas em triplicata.

3.4 Preparo das misturas

A Tabela 10 apresenta as concentrações das misturas binárias e ternárias dos óleos, os volumes utilizados para cada um, representados por x_1 , x_2 e x_3 , sendo buriti, castanha-do-brasil e patauá respectivamente. Selecionou-se um total de sete misturas, sendo três binárias e quatro ternárias. As misturas foram obtidas através da adição dos volumes pré-determinados de cada óleo puro. Preparou-se um volume total de 120 mL de cada mistura.

Tabela 10. Volumes de óleos puros utilizados no preparo das misturas.

Amostras	Volume utilizado (mL)		
	X_1	X_2	X_3
1 (óleo de buriti)	1	0	0
2 (óleo de castanha-)	0	1	0
3 (óleo de patauá)	0	0	1
Mistura 1	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$
Mistura 2	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Mistura 3	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
Mistura 4	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
Mistura 5	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{2}{3}$
Mistura 6	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$
Mistura 7	$\frac{1}{6}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{6}$

Com as amostras dos óleos puros e suas respectivas misturas, foi realizado um planejamento experimental centróide simplex em rede, um ponto central correspondendo à mistura ternária em partes iguais, $(x_1, x_2, x_3) = (1/3, 1/3, 1/3)$. Aplicaram-se a estes um modelo de regressão múltipla, do tipo cúbico especial, representado pela seguinte equação:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 \quad (5)$$

Onde:

y = resposta

β = coeficientes gerados por regressão múltipla (Tabelas 15 e 17).

x = proporção dos componentes (Tabela 10).

Na análise estatística utilizou-se o programa MINITAB 14, que gerou os coeficientes para o modelo, além de apresentar seus níveis de significância, coeficientes de determinação e análise de variância.

3.5 Determinação reológica

As medidas de taxa de deformação (s^{-1}), tensão de cisalhamento (Pa) e viscosidade (cP) para os óleos foram obtidas em diferentes temperaturas (15 °C, 20 °C, 30 °C, 40°C, 50 °C, 60°C, 70 °C e 80°C), utilizando um viscosímetro Brookfield DV-II⁺ com sistema de cilindros concêntricos acoplado a um banho termostático (HAAKE). A faixa de temperatura estudada utilizou como referência os dados de ponto de fusão dos óleos puros (12 °C do buriti mínima) e a de refino (máxima 80°C). Antes de iniciar os ensaios adotou-se o tempo de 10 min para estabilização do equipamento e somente após esse tempo iniciou-se a leitura das amostras. Cada ensaio utilizou aproximadamente 5 mL de amostra que foram inseridas no interior do cilindro concêntrico. As medidas foram efetuadas utilizando um spindle de especificação S87. Em intervalos de 15 minutos, tempo para alcance do equilíbrio da temperatura, era realizada a leitura e em seguida reajustado o termostato do banho para uma nova temperatura.

A Figura 12 apresenta o equipamento utilizado para o estudo do comportamento reológico das amostras e o *Spindle* utilizado para a análise.



Figura 12. Equipamento e spindle utilizado para determinação do comportamento reológico das amostras.

3.6 Ajuste dos dados experimentais aos modelos da literatura

Os resultados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação, obtidos nas análises reológicas, foram avaliados através dos modelos de Casson, Lei da Potência, Newton, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk para descrever e classificar o comportamento reológico dos óleos utilizando o software Statistica 7.0. O melhor modelo foi selecionado com base nos parâmetros estatísticos: i) coeficiente de correlação (R^2); ii) erro padrão (EP), Equação 6; iii) soma dos quadrados dos resíduos (SQR), Equação 7; iv) qui-quadrado (χ^2), Equação 8; e v) o fator bias (B_f), Equação 9, uma boa relação entre os valores observados e os preditos deve possuir um valor de B_f igual a um.

$$EP = \left(\frac{\sum (V_{Exp} - V_{Pred})^2}{N - 1} \right)^{1/2} \quad (6)$$

$$SQR = \sum_{i=1}^N (V_{Exp} - V_{Pred})^2 \quad (7)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(V_{Exp} - V_{Pred})^2}{N - n} \quad (8)$$

$$B_f = 10^{\left[\frac{\sum (V_{Pred} - V_{Exp})}{N} \right]} \quad (9)$$

Onde:

V_{Exp} = valores obtidos experimentalmente;

V_{Pred} = valores obtidos pelos modelos ajustados;

N = número de observações;

n = número de parâmetros do modelo.

A classificação dos óleos foi avaliada de acordo com o valor da constante índice de comportamento (n), proposto pelo ajuste dos modelos utilizados. Para $n < 1$, o fluido é classificado como pseudoplástico; se $n > 1$, o fluido é considerado dilatante e, se $n=1$ o fluido é considerado Newtoniano.

Os valores da energia de ativação foram determinados a partir da variação da viscosidade aparente com a temperatura, mediante à equação análoga à de Arrhenius (Equação 1).

3.7 Propriedades termofísicas

As propriedades termofísicas condutividade e difusividade térmica foram obtidas através do equipamento KD2 Analyzer (Figura 13) com desvio na faixa de 5%. A partir dos dados destas propriedades juntamente com os de densidade, determinou-se indiretamente o valor do calor específico (C_p) utilizando a equação 3. Os valores de calor específico foram calculados em função da densidade, da condutividade e da difusividade térmica na temperatura de 25 °C.



Figura 13. Equipamento utilizado para determinação das propriedades termofísicas KD2 Analyzer.

As amostras de óleo foram colocadas no interior de um recipiente encamisado, previamente conectada ao banho termostático para manutenção da temperatura, em seguida foi introduzida a sonda fixada no centro da tampa de teflon e vedada. Depois de atingido o equilíbrio, aproximadamente 30 min, mediu-se a temperatura e as propriedades. Foram realizadas três leituras para cada temperatura com intervalo de 2 min entre cada uma.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização físico-química dos óleos puros

A Tabela 11 apresenta os resultados da caracterização física e físico-química dos óleos de patauá, buriti, castanha-do-brasil puros.

Tabela 11. Caracterização física e físico-química dos óleos puros.

Análises	Óleo de Patauá	Óleo de Buriti	Óleo de Castanha-do-Brasil
AGL (% de ácido oléico)	0,85 ± 0,03	2,51 ± 2,3	0,34 ± 0,03
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	193,78 ± 6,08	199,89 ± 7,86	193,28 ± 11,36
Índice de Peróxido (meq/kg amostra)	4,11 ± 1,32	7,49 ± 0,001	23,59 ± 1,00
Índice de Iodo (g I/100g amostra)	76,80 ± 4,01	80,17 ± 1,47	93,49 ± 2,57
Cor			
Vermelho	2,7	44	0,5
Amarelo	25,5	69	1,5
Azul	3,5	0	0
Ponto de fusão (°C)	6,2	12	9,3
Teste de rancidez (h)	2	8,54	0,79
Densidade (25 °C – g/cm ³)	0,9129 ± 0,005	0,9102 ± 0,0008	0,9128 ± 0,0006

Os baixos valores encontrados para o índice de acidez nos permitem concluir que os processos de secagem, extração e armazenamento utilizados foram eficientes e adequados, pois mantiveram a qualidade dos óleos. Tais afirmações podem ser reforçadas pelos valores máximos permitidos pela ANVISA, (2005) para os óleos brutos de palma (5,0 g/100 g) e gergelim (2,0 g/100 g), valores próximos dos encontrados para os óleos estudados. Além da qualidade, a ocorrência de ácidos graxos livres em óleos e gorduras, resultado da reação de hidrólise dos triglicerídeos, pode resultar na formação de um alto teor de mono e diglicerídeos, o que pode influenciar as características de cristalização da gordura (CHASERI, DIMICK, 1987). Ribeiro et al. (1993) em seu trabalho com óleo de castanha-do-brasil com casca, observou que o índice de acidez manteve-se próximo ao inicial (0,065 % em ácido oléico) durante os primeiros meses de armazenamento, aumentando somente após 3 ou 4 meses. No entanto, o índice de acidez para o óleo das castanhas descascadas indicou um produto com acidez, apesar de baixa, quase dez vezes maior do que as sem casca. No estudo deste autor, a ação da refrigeração se

mostrou tão menos eficiente em impedir a formação de ácidos graxos livres quanto a exposição ao ambiente, proporcionando um óleo com acidez crescente, que ao final de quatro meses foi o dobro da inicial para a castanha mantida ao ambiente. No trabalho de Assunção et al. (1984), notaram que o índice de acidez do óleo de castanha permaneceu constante (máximo 3,01 % em ácido oléico) no período de 60 dias de armazenamento para quase todos os óleos.

Outro fator a ser considerado foram os baixos valores de índice de peróxido obtidos para os óleos de buriti e pataúá que são utilizados para avaliar a qualidade (alterações sensoriais) de óleos na indústria de alimentos. O índice de peróxidos é uma medida do estado de oxidação primária do óleo ou gordura, o qual é influenciado por fatores como composição em ácidos graxos, tempo e condições de estocagem (LAWSON, 1995). Desta forma, pode-se verificar que o óleo de castanha-do-brasil foi o que apresentou os maiores valores de índice de peróxido devido a sua alta susceptibilidade à oxidação. De acordo com Ribeiro et al. (1993), castanhas-do-brasil sem casca armazenadas em sacos de polipropileno embaladas com filme de PVC por seis meses a temperatura ambiente, mostraram um aumento no valor do índice de peróxidos no óleo de 11,39 meq/kg a 31,36 meq/kg, após 90 dias, e pra 50,49 meq/kg, após 180 dias. Os valores de acidez aumentaram de 0,17 % (oléico) para 1,38 % (oléico) no mesmo período. O autor chegou à conclusão de que a casca das castanhas mostrou-se um eficiente meio de conservação, protegendo as amêndoas dos agentes oxidantes, permitindo a manutenção da sua qualidade sem maiores alterações, durante o período do experimento. Assunção et al. (1984), ao estudarem os óleos de castanha-do-brasil, juntamente com óleos de seringueira e maracujá, observaram que o índice de peróxidos inicial para todos os óleos variou de 20 – 30 meq/kg, levando a concluir que os mesmos já adquiriram algum ranço nos primeiros dias de teste. Este provavelmente é resultado do processo de produção do óleo, que não foi controlado para prevenir a oxidação. Vieira et al. (1999) conduziram um estudo sobre a estabilidade oxidativa de óleos de castanha-do-brasil e constataram que o índice de peróxido aumentou de 11,5 meq/kg para um valor médio de 15 e 35, nas amostras com TBHQ e da testemunha, respectivamente, ao final do armazenamento. A qualidade do óleo é diretamente dependente da conservação das castanhas; quando não armazenadas adequadamente, há o aumento da acidez do óleo, no entanto, até 20% de deterioração não afeta a qualidade do mesmo (YOKOYA et al., 1971). O óleo da

castanha-do-brasil é relatado como muito instável devido a quantidade superior a 75% de ácidos graxos poliinsaturados (balanço entre os ácidos oléico e linoléico) (ASSUNÇÃO et al., 1984; CHUNHIENG et al., 2004).

Os resultados de índice de iodo indicaram para todos os óleos estudados o alto grau de insaturação, que pôde ser confirmado pelo perfil de ácidos graxos obtido. O índice de iodo para o óleo de castanha-do-brasil apresentou maior valor em relação aos encontrados para os óleos de buriti e patauá e é semelhante ao obtido por Villachica (1996) que foi de 95,2 g Iodo/100 g. Elias e Bressani (1961), encontraram como resultado, 98,1 g Iodo/100 g e 99,6 Iodo/100 g para extração por solvente e prensagem, respectivamente. Assunção et al. (1984), em sua análise, obteve o valor de 95,4 g Iodo/100 g, também próximo ao encontrado neste estudo. Devido a estas características esses óleos têm grande valor comercial e apelo nutricional, porém, não pode-se esquecer do fato que devido ao alto grau de insaturação isso os torna mais susceptível a oxidação, processo que comumente ocorre nos lipídios. Uma vez que estes óleos estão na forma bruta, possuem impurezas (fosfolipídios, metais complexos: Fe, Ca, Mg, sais minerais; e seus produtos menores, que interagem altamente com o óleo) e o processo de oxidação pode ocorrer mais rapidamente (SATHIVEL et al., 2003).

Os valores encontrados para o índice de saponificação dos óleos estudados, estão próximos aos descritos por O'BRIEN (2002) para os óleos refinados de soja (189 – 195 mg KOH/g), algodão (189 – 198 mg KOH) e milho (187 – 193 mg KOH). Gioielli et al. (2001) encontraram o resultado de 192,5 mg KOH/g para o óleo de castanha-do-brasil.

Os baixos valores de ponto de fusão encontrados para os óleos puros reforçam o alto grau de insaturação dos mesmos e foram utilizados como base para a seleção da temperatura limite inferior (15 °C) no estudo do comportamento reológico, uma vez que os mesmos deveriam estar líquidos nas condições definidas.

A medida de cor é uma das propriedades medidas para avaliar se a etapa de clarificação durante o refino foi adequada e se o óleo produzido atende aos requisitos da legislação. Quanto mais cor o óleo bruto apresentar maior deverá ser o controle (mais drástico) desta etapa, fato que na maioria das vezes elimina grande quantidade de componentes importantes e de interesse no produto (ex.: beta caroteno). A Figura 14 apresenta a coloração dos óleos puros e suas respectivas misturas.

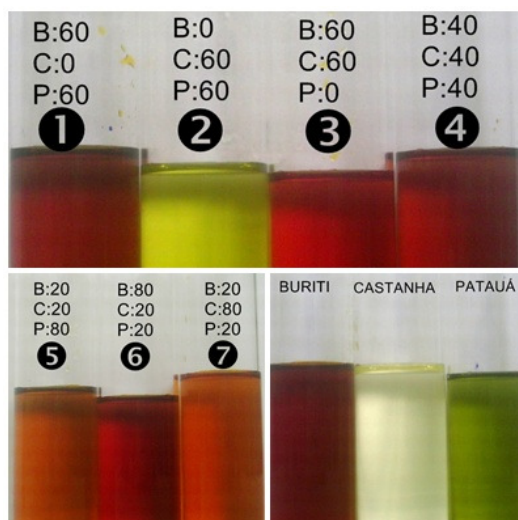


Figura 14. Óleos puros e respectivas misturas.

Pode-se observar que a coloração do patauá ficou próxima a do azeite de oliva, apresentando altos valores de Y e B (amarelo e azul), combinação que produz a cor verde, indicando a presença de clorofila que, no geral, o teor de clorofila no óleo é determinado pela maturação da oleaginosa, já que os não completamente maduros elevam o nível de clorofila presente no óleo (PRZYLBYLSKI; ESKIN, 2007). As clorofilas são metaloporfirinas que apresentam atividades terapêuticas, nomeadamente na proteção do DNA contra radiações iônicas e agentes mutagênicos, funcionando como agentes anticancerígenos e antimutagênicos (GANDUL-ROJAS et al., 2002).

O óleo de buriti foi o que apresentou os maiores valores de R (vermelho) e Y (amarelo) indicando a alta concentração de carotenóides, diferentemente do óleo de castanha que apresentou os menores valores de cor.

A determinação da densidade de líquidos e da concentração de suspensões líquidas de partículas pode ser de grande utilidade em diversos processos industriais, onde estas variáveis são utilizadas na padronização e no controle do processo e da qualidade do produto processado. Na indústria de alimentos é comum a utilização da densidade como parâmetro de controle de processo (LAURINDO et al., 2004).

Em geral os óleos vegetais apresentam valores de densidade próximos ao da água. Os valores encontrados para a densidade dos óleos estudados estão dentro da faixa de valores exigidos pela legislação a 25 °C, e próximos aos dos óleos de algodão (0,915 – 0,923 g/cm³), canola (0,911 – 0,917 g/cm³), girassol (0,915 – 0,920

g/cm³), soja (0,916 – 0,922 g/cm³), palma (0,891 – 0,899 g/cm³), entre outros (ANVISA, 1999).

A estabilidade oxidativa dos óleos vegetais brutos depende da complexa interação entre os ácidos graxos e o tipo de componentes menores neles presentes. Alguns destes componentes podem exercer atividades antioxidantes ou pró-oxidantes dependendo das quantidades presentes, como também das condições de processo e armazenamento (PRZYLBYLSKI; ESKIN, 2007).

Os resultados do teste de rancidez demonstraram que o óleo de buriti foi o que apresentou o maior tempo de estabilidade, fato que pode ser justificado pela elevada quantidade de carotenóides, que são antioxidantes naturais (pigmentos) presentes no óleo o protegem dessa deterioração.

A Tabela 12 apresenta o perfil de ácidos graxos dos óleos de buriti, patauá e castanha-do-brasil.

Tabela 12. Composição em ácidos graxos dos óleos de buriti, patauá e castanha-do-brasil.

Ácidos graxos (g/100g)	Óleo de Buriti	Óleo de Patauá	Óleo de Castanha-do-Brasil
C14:0 (ac. mirístico)	0,1	0,1	0,1
C16:0 (ac. palmítico)	24,6	20,8	24,4
C18:0 (ac. esteárico)	3,0	6,4	1,7
C20:0 (ac. araquídico)	1,7	1,1	0,5
C16:1 (ac. palmitoleico)	0,1	0,3	4,5
C18:1 (ac. oléico)	65,1	67,6	54,8
C18:2 (ac. linoléico)	2,6	3,4	3,8
C18:3 (ac. linolênico)	0,1	0,1	10,5
Σ saturados	32,1	28,6	26,7
Σ monoinsaturados (MUFA)	65,2	67,9	59,3
Σ poliinsaturados (PUFA)	2,7	3,5	14,3

Como já mencionado anteriormente, os óleos puros estudados apresentaram alto grau de insaturação, mais de 70%, sendo o ácido oléico o que aparece em maior concentração em todos os casos, mais de 50%.

Os óleos brutos analisados são particularmente ricos em dois ácidos graxos insaturados: oléico e linoléico e um saturado: o palmítico, além de níveis interessantes de ácido esteárico no caso do buriti e patauá. Resultados semelhantes foram encontrados para esses óleos por Villachica (1996) e Alegria et al. (2007).

Os dados obtidos indicam que o óleo de castanha apresenta um maior teor de ácidos graxos insaturados, tornando-o mais suscetível à deterioração por oxidação.

Já no caso do buriti, apesar do alto grau de insaturação, a elevada quantidade de carotenóides, que são antioxidantes naturais (pigmentos) presentes no óleo o protegem dessa degradação.

4.2 Caracterização físico-química das misturas

As Tabelas 13 e 14 apresentam os resultados da caracterização física e físico-química das misturas binárias e ternárias dos óleos estudados.

Tabela 13. Caracterização físico-química das misturas binárias provenientes dos óleos de buriti (B), castanha-do-brasil (C) e patauí (P).

Análises	Mistura 1 (B:60; C: 0; P: 60)	Mistura 2 (B: 0; C: 60; P: 60)	Mistura 3 (B:60; C: 60; P: 0)
AGL (% de ácido oléico)	2,86 ± 0,12	0,62 ± 0,002	2,69 ± 0,05
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	193,60 ± 0,18	187,70 ± 0,08	197,20± 2,52
Índice de Peróxido (meq/kg amostra)	8,65 ± 0,19	19,04 ± 0,42	16,5 ± 0,6
Índice de Iodo (g I/100g amostra)	64,07 ± 0,64	85,19 ± 0,28	76,86 ± 0,15
Teste de rancidez (h)	4,44	0,66	1,68
Densidade (25 °C – g/cm ³)	0,9094 ± 0,000212	0,9116 ± 0,000495	0,9113 ± 0,000212
Cor			
Vermelho	68	0,5	68
Amarelo	0	70	0
Azul	3,5	0	6,5

Tabela 14. Caracterização físico-química das misturas ternárias provenientes dos óleos de buriti (B), castanha-do-brasil (C) e patauí (P).

Análises	Mistura 4 (B: 40; C: 40; P: 40)	Mistura 5 (B: 20; C: 20; P: 80)	Mistura 6 (B: 80; C: 20; P: 20)	Mistura 7 (B: 20; C: 80; P: 20)
AGL (% de ácido oléico)	0,80 ± 0,03	1,45 ± 0,0004	3,82 ± 0,07	1,20 ± 0,01
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	191,70 ± 3,7	193,80 ± 0,23	202,20 ± 2,52	201,10 ± 0,05
Índice de Peróxido (meq/kg amostra)	14,30 ± 0,17	11,80 ± 0,67	11,30 ± 0,16	19,09 ± 0,01
Índice de Iodo (g I/100g amostra)	73,65 ± 2,44	69,15 ± 0,06	68,26 ± 0,35	80,63 ± 0,2
Teste de rancidez (h)	2,3	2,41	4,55	1,06
Densidade (25 °C – g/cm ³)	0,9111±0,0006	0,9098±0,0	0,9102±0,0	0,9115± 0,0
Cor				
Vermelho	48	22	68	35,9
Amarelo	8,7	63	0	71,7
Azul	0	0	6,5	1,7

A Tabela 15 apresenta os coeficientes calculados da regressão múltipla, para os dados experimentais das propriedades físico-químicas analisadas.

Tabela 15. Coeficientes calculados por regressão múltipla a partir dos resultados experimentais das amostras.

	Coeficiente							R^2 (%)
	β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{13}	β_{23}	β_{123}	
AGL	5,7	0,38	0,71	-8,47*	-0,81	8,42*	-21,98	92,79
Índice de Saponificação	200,86	194,89	193,58	-6,3	-20,29	-20,5	95,33	38,37
Índice de Peróxido	7,5	23,32	4,37	4,61	11,94 ⁺	20,73 ⁺	-41,48 [♦]	99,54
Índice de Iodo	80,05	92,60	76,12	-23,19	-56,55*	-20,73	199,61	87,78
Teste de rancidez	8,68	0,68	1,89	-11,88*	-3,25	12,18*	-36,58*	98,77

⁺ Significativo a $p < 0,05$.

* Significativo a $p < 0,10$.

♦ Significativo a $p < 0,15$

Os valores obtidos para ácidos graxos livres nas misturas binárias e ternárias encontram-se na faixa exigida pela legislação para óleos prensados a frio e não refinados que é de 4,0 mgKOH/g (ANVISA, 2005). Observou-se que houve uma diferença significativa nas misturas 2 e 3 para essa análise. Além disso, ficaram próximos aos obtidos para os óleos puros, indicando que as condições de armazenamento foram adequadas.

Os valores encontrados para o índice de saponificação dos óleos estudados não apresentaram diferenças significativas e estão próximos aos descritos por O'BRIEN (2002) para os óleos refinados de soja (189 – 195 mgKOH/g), algodão (189 – 198 mgKOH) e milho (187 – 193 mgKOH).

De acordo com a legislação (ANVISA, 2005), óleos prensados a frio e não refinados devem apresentar um máximo de 15 meq/kg de amostra para o índice de peróxidos. Os altos valores de índice de peróxido encontrados nas misturas 2 e 7 pode ser explicado pelo fato de que as mesmas possuem uma alta percentagem de óleo de castanha em suas formulações. Todas as misturas apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

A mistura 1 diferiu significativamente dos óleos no valor do índice de iodo. Este resultado ficou bastante inferior aos obtidos para os óleos puros e as outras misturas. No entanto, através dos valores, observou-se que os mesmos mantiveram o elevado grau de insaturação.

No caso das misturas, excetuando-se a mistura 1, observou-se que a característica de cada óleo puro influenciou significativamente a sua estabilidade. No caso da mistura 6, que apresenta um alto teor de óleo de buriti este efeito pode ser evidenciado, houve uma redução de 46,72% no tempo da estabilidade oxidativa.

Notou-se que os óleos puros de buriti e pataúá e as misturas que continham R/Y em elevada proporção, possuíram maior intensidade de cor amarela e vermelha em relação ao óleo de castanha-do-brasil. A retirada dos corantes dos óleos vegetais é mais uma questão de exigência dos consumidores, do que um requisito para sua boa qualidade. Na realidade, os corantes naturais nunca são prejudiciais, ao contrário, com sua retirada, o óleo pode até sofrer diminuição em suas propriedades alimentícias e nutritivas, pois é inevitável a perda associada com os corantes, de vitaminas e alguns fatores de crescimento (ROHR, 1976).

A Figura 15 apresenta o diagrama triangular da interação entre as misturas.

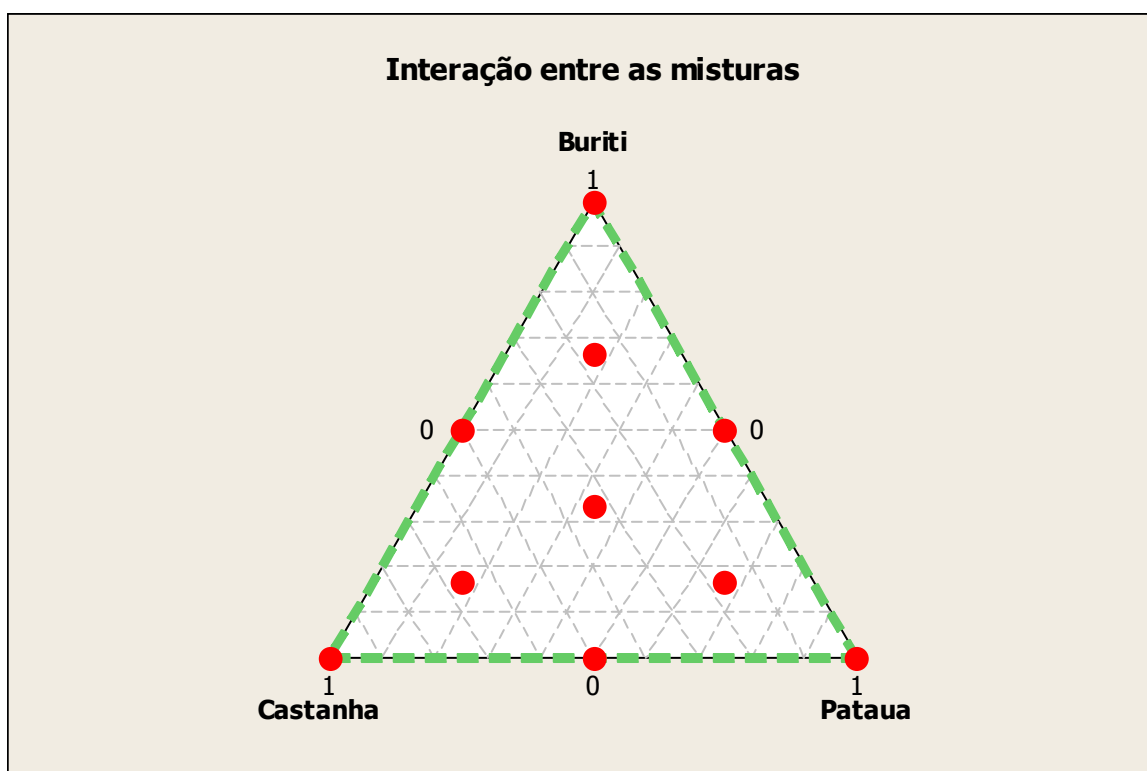


Figura 15. Diagrama triangular da interação entre as misturas.

4.3 Comportamento reológico

As velocidades rotacionais do cilindro estiveram dentro da faixa de 10 a 180 rpm. Para cada velocidade rotacional selecionada, o equipamento mediu o torque correspondente e, a partir destes pares de valores, foi possível obter a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento experimental para a obtenção dos gráficos

do comportamento reológico para os óleos. Os mesmos foram submetidos a uma faixa de taxa de deformação variando de 12,9 a 232 s⁻¹. O efeito de cada parâmetro é semelhante entre os óleos puros e misturas binárias e ternárias, inclusive para o ajuste dos dados experimentais aos modelos da literatura. O resultado será exemplificado por um exemplo de óleo puro (óleo de Buriti) e uma mistura (mistura 4 – B: 40; C: 40; P: 40). Todas as figuras e tabelas referentes a estes dados encontram-se no apêndice.

Durante o processamento, armazenamento, comercialização e consumo, alimentos fluidos apresentam diferentes concentrações e estão sujeitos a diversas temperaturas. O efeito da temperatura e da concentração sobre o comportamento reológico precisa ser conhecido para o entendimento e dimensionamento de operações unitárias tais como tratamento térmico e concentração (GUIMARÃES et al., 2005). Em geral, a viscosidade de um alimento líquido depende da temperatura e de sua composição, assim como do tratamento precedente aplicado a estas amostras (RAO, 1977).

4.3.1 Efeito da temperatura nos óleos puros

O efeito da temperatura sobre o comportamento reológico do óleo de buriti, pode ser observado na Figura 16.

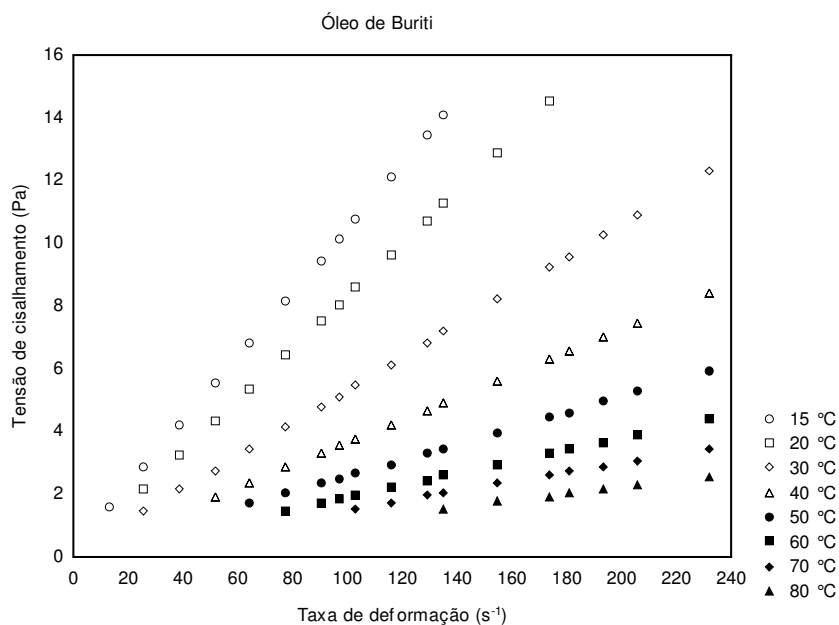


Figura 16. Efeito da temperatura no comportamento reológico do óleo de buriti.

Pode-se observar que a temperatura influenciou o comportamento reológico dos óleos. À medida que houve aumento da temperatura ocorreu uma diminuição na viscosidade para todos os óleos, fato que também foi observado por Freitas et al. (1998) para o óleo de palma bruto.

A viscosidade de óleos vegetais comestíveis diminui com o aumento da temperatura. Isto é devido a um movimento térmico maior entre as moléculas, reduzindo a viscosidade. (KAHN et al., 1990; FORSTER; FERRIER, 1979).

Goodrum e Geller (2000), ao estudarem sobre a reologia de óleos vegetais e triglicerídeos análogos, verificaram que no intervalo de temperatura estudado (25 a 80 °C), a viscosidade diminuiu, pelo menos, 25 % para cada 20 °C de acréscimo na temperatura. Estes resultados foram semelhantes aos de Wang e Briggs que estudaram óleos de soja com composições modificadas de ácidos graxos, observando que a viscosidade claramente diminuiu com a temperatura, mas o grau de redução foi dependente da composição em ácidos graxos do óleo. Santos et al. (2004), ao estudarem o comportamento reológico de alguns óleos vegetais também observaram a diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura.

De uma maneira geral, nestes estudos, observou-se com o aumento da temperatura, um aumento no índice de comportamento e uma diminuição no parâmetro índice de consistência, indicando que as polpas ficam menos viscosas na medida em que a temperatura aumenta.

4.3.2 Ajuste dos dados experimentais aos modelos da literatura

Com base em diversos trabalhos da literatura para alimentos, inclusive óleos vegetais, foram selecionados quatro modelos: Casson, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Lei da Potência para ajuste dos resultados experimentais (SATHIVEL et al., 2003; SATHIVEL, 2005; GOODRUM; GELLER, 2000; WANG; BRIGGS, 2002).

Os resultados dos ajustes aos dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação para os óleos puros, indicaram que o modelo da Lei da Potência foi o que obteve os melhores parâmetros estatísticos de controle para todos os óleos em todas as faixas de temperatura. Os parâmetros estatísticos avaliados foram: coeficiente de correlação (R^2), qui-quadrado (χ^2), soma dos quadrados dos resíduos (SQR), erro padrão (EP) e o fator bias (B_f). A Tabela 16 apresenta os parâmetros obtidos pelo modelo da Lei da Potência (K , n) e os valores dos parâmetros estatísticos para os óleos puros na faixa de temperatura estudada. A

Tabela 17 apresenta os coeficientes calculados por regressão múltipla para os dados experimentais da viscosidade e índice de consistência nas temperaturas estudadas.

Tabela 16. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para o óleo de buriti (OB).

OB	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
K	0,1160	0,0855	0,0567	0,0375	0,0274	0,0220	0,0168	0,0148
n	0,9909	1,0032	0,9925	0,9955	0,9880	0,9703	1,0031	1,0032
μ (cP)	112,9	86,6	54,9	36,7	25,8	19	14,4	11,2
R^2 (%)	99,250	99,9880	99,9940	99,9830	99,9890	99,9790	99,9880	99,9880
χ^2	0,0096	0,0016	0,0007	0,0008	0,0002	0,0002	0,0016	0,0016
SQR	0,08630	0,0161	0,0109	0,0116	0,0026	0,0020	0,0161	0,0161
EP	0,0929	0,0382	0,0261	0,0278	0,0141	0,0130	0,0382	0,0382
B_f	0,9899	1,0007	0,9972	0,9996	1,0002	0,9992	1,0007	1,0007

Tabela 17. Coeficientes calculados por regressão múltipla a partir dos resultados experimentais das misturas.

Viscosidade	Coeficiente							
	β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{13}	β_{23}	β_{123}	R^2 (%)
15 °C	113,63	91,63	107,75	-14,69	-13,65	11,55	79,20	96,61
20 °C	86,86	72,76	83,16	-7,15*	-3,55	3,05	23,15	98,84
30 °C	55,18	47,62	53,97	-4,80	-1,70	1,58	18,85	97,02
50 °C	25,90	23,48	25,71	-2,45*	0,005	1,97	4,55	96,64
60 °C	19,09	17,50	18,81	-2,82*	0,99	1,81	0,63	94,73
70 °C	14,49	13,48	14,42	-2,05*	0,62	1,00	2,65	90,20
80 °C	11,28	10,78	11,23	-2,68*	0,21	0,43	2,86	86,96
Índice de consistência (K)								
	β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{13}	β_{23}	β_{123}	R^2 (%)
15 °C	0,119	0,091	0,110	-0,051	-0,031	0,04	0,31	78,32
20 °C	0,086	0,074	0,085	-0,012	0,0006	0,015	0,27*	80,85
30 °C	0,058	0,049	0,056	-0,028	-0,005	0,01	0,115	74,63
50 °C	0,028	0,024	0,026	-0,013	0,002	0,018*	0,007	78,95
60 °C	0,022	0,018	0,019	-0,017*	0,002	0,019+	0,036	91,13
70 °C	0,017	0,016	0,015	-0,011	0,004	0,009	0,034	63,47
80 °C	0,015	0,019	0,013	-0,03+	0,0008	0,004	0,027	88,00

+ Significativo a $p < 0,05$.

* Significativo a $p < 0,10$.

♦ Significativo a $p < 0,15$

A viscosidade das misturas foi significativamente influenciada pela temperatura, principalmente nas de 20 °C, 50 °C, 70 °C e 80 °C. O aumento da temperatura acarreta na diminuição dos cristais de gordura, como pode ser observado através da Tabela 16 pela diminuição do índice de consistência (K). Nas temperaturas de 20 °C, 50 °C, 60 °C e 80 °C essa diminuição foi estatisticamente significativa para as misturas analisadas.

O ajuste do modelo da Lei da Potência sobre o comportamento reológico do óleo de buriti e mistura 4, visto pelo gráfico da tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$), pode ser verificado nas Figuras 17 e 18 respectivamente.

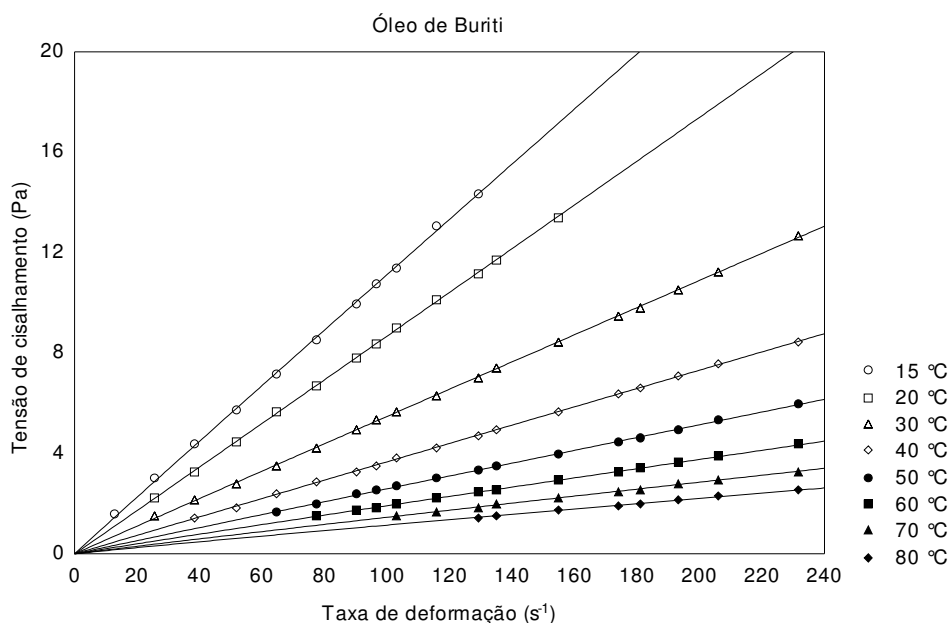


Figura 17. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para o óleo de buriti.

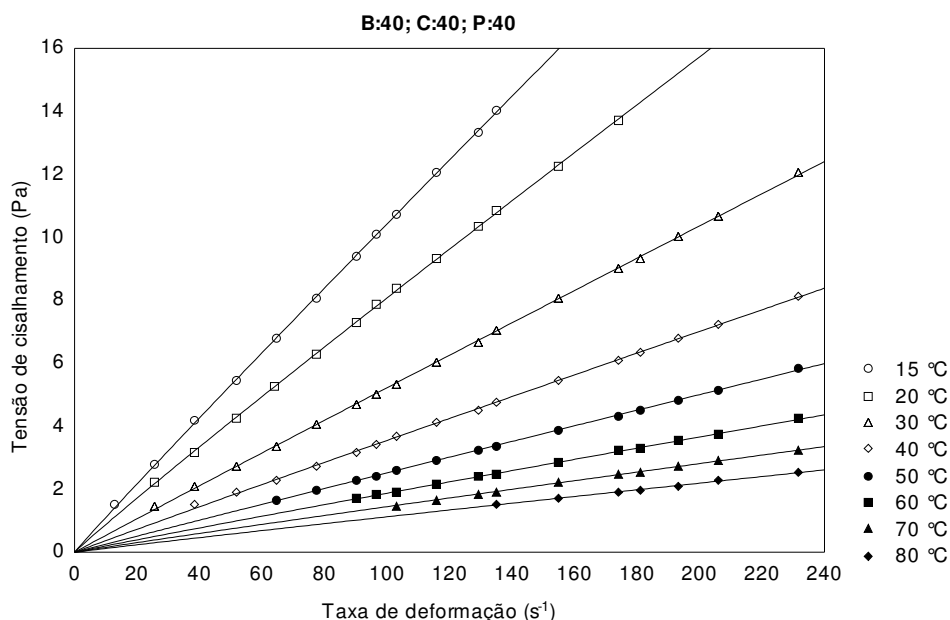


Figura 18. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para a mistura 4.

Em geral todos os modelos utilizados apresentaram parâmetros estatísticos (R^2 , χ^2 , SQR, B_f , EP) aceitáveis para descreverem o comportamento reológico dos

óleos. Geralmente, a viscosidade de um alimento líquido depende da temperatura e sua composição, assim como do tratamento precedente aplicado a estas amostras (RAO, 1977).

A Figura 19 mostra a relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação para o óleo estudado.

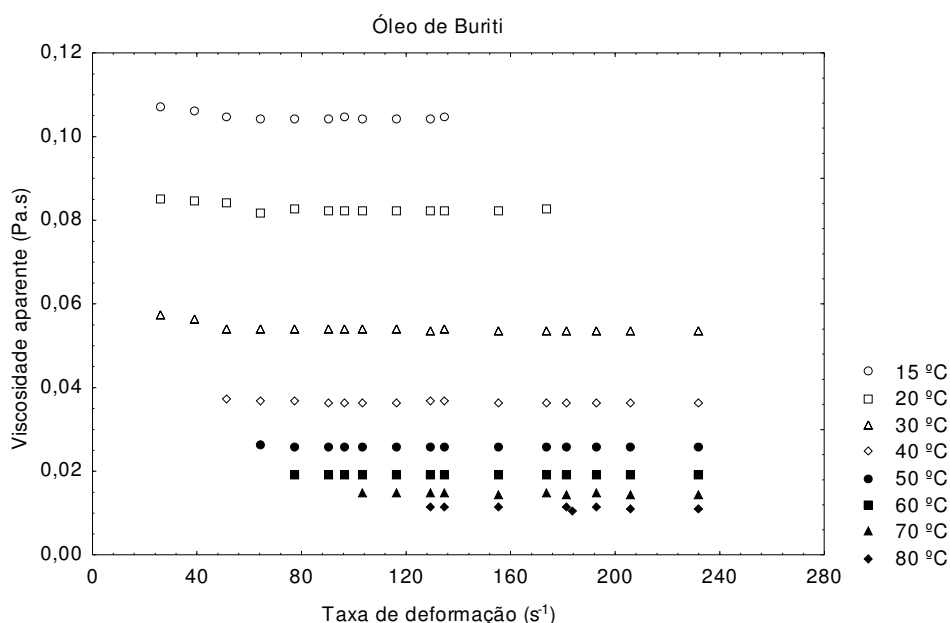


Figura 19. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para o óleo de buriti.

As curvas apresentadas nas figuras 17 e 18 possuem uma relação linear existente entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação a partir de $60 s^{-1}$, sendo comprovada pelas constantes da relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação (Figura 19). Fato que reforça que os óleos estudados apresentam um comportamento newtoniano. Através destas curvas é possível confirmar que o índice de comportamento (n) permanece constante e aproximadamente igual a 1. Em taxas menores que $60 s^{-1}$, observou-se um comportamento ligeiramente pseudoplástico em temperaturas menores que $30 ^\circ C$, devido à presença de cristais gordurosos, alterando o comportamento do fluido. Geller e Goodrum (2000) verificaram que misturas de triglicerídeos exibiram comportamento ligeiramente pseudoplástico que diminuiu com o aumento da temperatura. Além disso, as viscosidades exibiram uma clara transição de comportamento não-newtoniano para newtoniano em taxas de deformação superiores a $7 s^{-1}$. Os mesmos autores também relataram que a viscosidade do óleo apresentava uma dependência da taxa de deformação menor que $7 s^{-1}$, indicando comportamento de fluido não-

newtoniano/pseudoplástico a uma taxa de deformação muito baixa. Mas, quando a taxa foi maior que 7 s^{-1} , o óleo se comportou como um fluido newtoniano. Na taxa de deformação utilizada por Wang e Briggs (2002), os óleos de soja comportaram-se como fluidos newtonianos, como demonstrado pela relação linear entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento.

O conhecimento das propriedades reológicas ajuda a resolver problemas relacionados a quantidades de movimento ou transferência de massa de líquidos (SHERMAN, 1970). A baixas temperaturas, impurezas do óleo bruto tendem a precipitar nas paredes dos tubos. Algumas partículas sólidas no fluxo de massa aumentam a viscosidade do óleo, causando um aumento da queda de pressão no oleoduto. Resultando num aumento da viscosidade e as propriedades de fluxo do óleo exibem um comportamento não-newtoniano (SATHIVEL, 2005).

Foi feito um ajuste não-linear dos dados à equação de Arrhenius, ajustando para tal os parâmetros energia de ativação (E_a) e o parâmetro de ajuste pré-exponencial (η_0), como apresentado na Tabela 18. Da mesma forma que foi feito anteriormente para as equações constitutivas, foram determinados, o qui-quadrado (χ^2) e o coeficiente de correlação (R^2) do ajuste dos dados experimentais à equação de Arrhenius.

Tabela 18. Efeito da temperatura sobre a curva de escoamento.

Amostras	E_a (kJ/mol)	η_0	χ^2	R^2 (%)
Óleo de Buriti	3383,109	-14,0552	0,006919	99,144
Óleo de Castanha-do-Brasil	3164,663	-13,4793	0,005747	99,187
Óleo de Patauí	3310,219	-13,8416	0,005789	99,251
Mistura 3 (B:60; C:60; P:0)	3348,453	-14,0371	0,005205	99,341
Mistura 4 (B:40; C:40; P:40)	3279,481	-13,768	0,005931	99,218
Mistura 6 (B:80; C:20; P:20)	3313,038	-13,8487	0,006292	99,188

Os resultados obtidos para E_a neste estudo, são comparáveis aos encontrados por Sathivel (2005) que foi de 3695,8 kJ/mol e 3023,16 kJ/mol para óleo de salmão vermelho e óleo de salmão rosa, respectivamente. A energia de ativação para óleos de soja com diferentes composições de ácidos graxos variou de 5072,7 a 5746,4 cal/mol (WANG e BRIGGS, 2002).

Para a modelagem dos valores de viscosidade obtidos experimentalmente, nos ensaios estacionários foram escolhidos arbitrariamente os valores de viscosidade obtidos a uma taxa de deformação de 129 s^{-1} . Como mostram as Figuras 20 e 21.

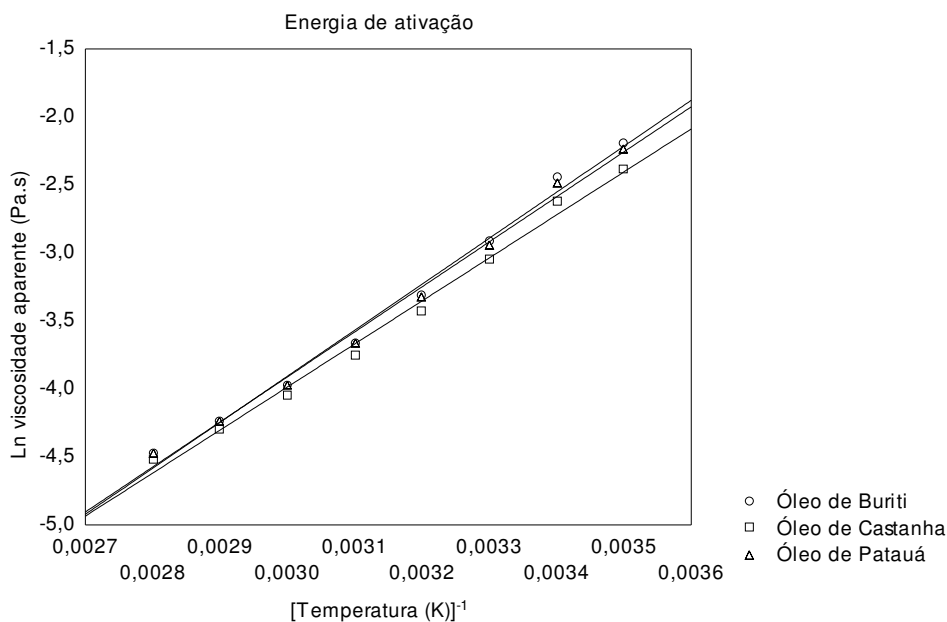


Figura 20. Efeito da temperatura na viscosidade aparente para os óleos puros.

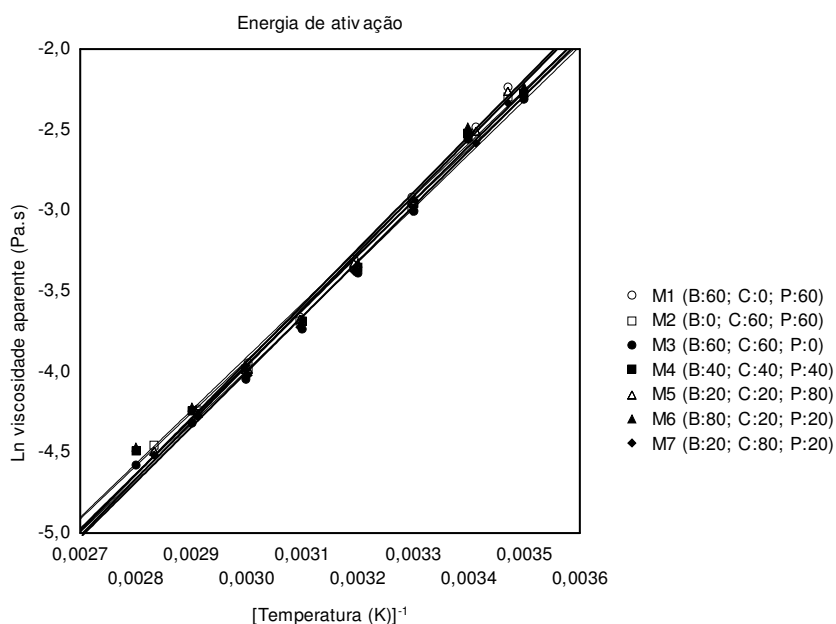


Figura 21. Efeito da temperatura na viscosidade aparente para as misturas dos óleos.

Pode-se observar através das Figuras 20 e 21, que a equação de Arrhenius se ajustou bem aos dados de viscosidade aparente obtidos experimentalmente nas diferentes temperaturas de ensaio. A E_a indica a barreira de energia que deve ser superada antes que o processo de fluxo possa ocorrer (SATHIVEL, 2005). Amostras que possuem maior viscosidade resultam numa elevada energia de ativação (SATHIVEL, 2005). A energia de ativação é necessária ao movimento de uma molécula, quando a temperatura aumenta, o líquido flui mais facilmente devido à

maior energia de ativação em altas temperaturas (HAMINIUK et al., 2006). Além disso, Rao (1977) notou que a diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de deformação está relacionado com o crescente alinhamento das moléculas constituintes. A diminuição da viscosidade também pode ser atribuída ao aumento das distâncias intermoleculares, por causa da expansão térmica provocada pelo aumento da temperatura (CONSTELA et al., 1989).

De uma forma geral, pode-se dizer que quanto maior for a energia de ativação (E_a), maior será a dependência da viscosidade aparente (η) e do índice de consistência (K) com a temperatura, ou seja, maior será a variação da η e do K com a temperatura para uma dada concentração.

Estudos sobre as propriedades de misturas binárias de triglicerídeos também foram publicados (WANG; BRIGGS, 2002). Estes estudos foram úteis para compreender a forma como estes compostos interagem uns com os outros e como o comprimento da cadeia de triglicérides afeta as propriedades físicas de óleos vegetais. Estas informações foram úteis para o delineamento e avaliação de equipamento utilizado para o processamento químico de óleos contendo baixo peso molecular de triglicerídeos saturados para aplicações cosméticas e farmacêuticas. Essa informação também é importante para o desenvolvimento de triglicerídeos baseados em substitutos do diesel derivados de óleos vegetais.

4.3.3 Propriedades termofísicas.

As Tabelas 19 e 20 mostram os resultados obtidos experimentalmente dos óleos puros e suas respectivas misturas.

Tabela 19. Condutividade térmica dos óleos de buriti (OB), castanha (OC), patauá (OP) e Mistura 4.

OB	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
κ (W/m ² C)	0,17	0,17	0,16	0,15	0,16	0,17	0,16	0,17
OC								
κ (W/m ² C)	0,17	0,17	0,16	0,15	0,16	0,16	0,15	0,15
OP								
κ (W/m ² C)	0,16	0,17	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	0,18
Mistura 4								
(B:40; C:40; P:40)								
κ (W/m ² C)	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,15

Woodams e Nowrey (1964) obtiveram dados de condutividade para os óleos de oliva no intervalo de temperatura (16 – 20 °C) que se situaram na faixa de 0,16 – 0,18 W/m °C. Silva et al. (2006) determinaram valores próximos ao estudarem os óleos de palma, castanha-do-Brasil e cupuaçu na faixa de temperatura de 30 a 80 °C. Reidy (1968) encontrou valores médios próximos aos encontrados neste trabalho para gordura de vitela (0,19 W/m.K, 24-38 °C), azeite de oliva (0,189 W/m.K, 15 °C), gordura de porco (0,152 W/m.K, 25 °C) e outros óleos vegetais e animais (0,169 W/m.K, 4-187 °C). Óleos brutos contêm impurezas que podem reduzir a eficácia da transferência de calor e, portanto, resultando em menos energia disponível para a evaporação de voláteis (WESOLOWSKI; ERECINSKA, 1998).

Os valores de difusividade térmica dos óleos, determinados experimentalmente, não sofreram alterações no intervalo de temperatura estudado, permanecendo constante e igual a 0,10 mm²/s. Singh (1982) estudou alimentos e seus derivados obtendo valores de difusividade térmica para os mesmos, como compota de maçã ($1,05 \times 10^{-7}$ m²/s, 5 °C), banana fresca ($1,18 \times 10^{-7}$ m²/s, 5 °C), batata fresca ($1,7 \times 10^{-7}$ m²/s, 25 °C) e presunto defumado ($1,38 \times 10^{-7}$ m²/s, 40-65 °C).

Tabela 20. Calor específico dos óleos de buriti (OB), castanha (OC), pataúá (OP) e Mistura 4.

	25 °C
OB	
C _P (kJ/g °C)	1,8128
OC	
C _P (kJ/g °C)	1,8076
OP	
C _P (kJ/g °C)	1,8074
Mistura 4	
(B:40; C:40; P:40)	
C _P (kJ/g °C)	1,8110

Heldman e Singh (1981) relataram os calores específicos de alguns alimentos como: manteiga (2,051-2,135 kJ/kg.K), leite pasteurizado (3,852 kJ/kg.K), gema de ovo (2,810 kJ/kg.K), bacon (2,01 kJ/kg.K), entre outros. Análises termofísicas podem definir a qualidade do óleo e fornecer informações úteis necessárias para projetar as etapas de purificação de óleos não refinados (SATHIVEL, 2005). Observou-se que todas as propriedades termofísicas estudadas sofreram pouca influência no intervalo de temperatura estudado, com desvio menor que 0,01.

5 CONCLUSÕES

Caracterização físico-química

1. Os óleos apresentaram boa qualidade, confirmada pelos baixos valores obtidos de acidez;
2. Observou-se elevado grau de insaturação através dos resultados de índice de iodo, sendo posteriormente confirmado pela análise cromatográfica;
3. Os resultados das análises físico-químicas obtidos para os três óleos estão dentro dos padrões da legislação, exceção do índice de peróxido para o óleo de castanha;
4. Entre os três óleos estudados, o de buriti foi o que apresentou maior estabilidade oxidativa (8,54 h);
5. Houve algumas alterações significativas das propriedades estudadas para as misturas;
6. As misturas binárias e ternárias apresentaram baixos valores de ácidos graxos livres e aceitáveis índices de peróxido, indicando boa qualidade, apesar de serem óleos brutos;
7. No que se refere à composição em ácidos graxos e ao índice de iodo, os óleos puros e as misturas revelaram-se altamente insaturados, destacando-se o grupo C:18. Essas características potencializam a utilização destes novos óleos em diversos campos da indústria alimentícia, aproveitando as prováveis vantagens nutricionais e funcionais derivadas de suas composições;
8. A significativa quantidade de óleo verificado na amêndoa da Castanha-do-Brasil, ao lado da composição em ácidos graxos de seus óleos, sugere a sua utilização na alimentação humana, já que é pouco consumido atualmente, ou como matéria-prima na indústria farmacêutica ou oleoquímica;

Reologia

1. O modelo da Lei da Potência foi o que obteve os melhores parâmetros estatísticos de controle em todas as faixas de temperatura, apresentando os maiores valores para o parâmetro coeficiente de correlação (R^2), bem como os menores valores para o qui-quadrado (χ^2) e para a soma dos quadrados dos resíduos (SQR), além de baixos valores de erro padrão (EP) e um fator bias (B_f) aproximadamente um, sendo por isso aceitável para descrever o comportamento reológico dos óleos;

2. Os valores dos índices de comportamento ($n=1$) dos fluidos analisados reforçaram o comportamento newtoniano;
3. O aumento da temperatura diminuiu a viscosidade tanto para os óleos puros quanto para as misturas;
4. Este estudo mostrou que a viscosidade dos óleos foi influenciada pela temperatura. Cada etapa de refino de óleo envolve uma diferente condição de temperatura, portanto é importante saber como prever valores de viscosidade para os óleos regionais e suas respectivas misturas em diferentes temperaturas encontradas durante o processamento;

Propriedades termofísicas

1. As propriedades termofísicas sofreram pouca ou nenhuma variação na faixa de temperatura estudada e ficaram próximas aos valores encontrados na literatura para óleos vegetais.

6 REFERÊNCIAS

ABIDI, S.L. Chromatographic analysis of tocol-derived lipid antioxidants. **Journal of Chromatography**. A 881, p.197-216, 2000.

ABIOVE; Associação Brasileira das Industrias de Óleos Vegetais, 2005. Referência bibliográfica de documento eletrônico. Disponível na internet: <<http://www.abiove.com.br>> Acesso em fevereiro de 2008.

AGUIAR, J.P.L.; MARINHO, H.A.; REBELO, Y.S.; SHRIMPTON, R. Aspectos nutritivos de alguns frutos da Amazônia. **Acta Amazônica**, v.10, n.4, p.755-758, 1980.

ALEGRIA, P.J.; BENÍTEZ, B.R.; HOYOS, S.O.; PRADO, C.J. Evaluación de la calidad del aceite de la semilla del zapote (*Matisia cordata*). **Aceites & Grasas** v.2, p.284-287, 2007.

ALMEIDA, H. *Óleos amazônicos conquistam o mundo*. **Revista Química e Derivados**, n.429, agosto 2004. Disponível em: <<http://www.quimicaederivados.com.br/indice.htm>>. Acesso em: 19 jan. 2007.

AMAYA-FARFÁN, J.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; NOLETO CRUZ, P.; MARQUEZ, E. P. Fatty acid and aminoacid composition of some indigenous fruits of northeastern Brazil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.6, n.1, p.86-92, 1986.

AMBRÓSIO, C.L.B.; CAMPOS, F.A.C.S., FARO, Z.P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v.19, n.2, p.233-243, 2006.

ANDERSON, A. Os nomes e usos de palmeira entre uma tribo de índios Yanomama. **Acta Amazônica**, v.7, n.1, p.5-13, 1997.

ANDRADE, E.H.A; MAIA, J.G.S.; STREICH, R.; MARX, F. Seed Composition of Amazonian Lecythidaceae Species: Part 3 in the Series "Studies of Edible Amazonian Plants". **Journal of Food Composition and Analysis**, v.12, n.1, 37-51, 1999.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n° 482 de 23 de setembro de 1999. Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Óleos e Gorduras Vegetais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 de outubro de 1999.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n° 270 de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Óleos Vegetais, Gorduras Vegetais e Creme Vegetal. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005.

AOCS. American Oil Chemists' Society. "Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society". Champaign, 1997.

AOCS. American Oil Chemists' Society. "Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society". 5° edition, Champaign, 2002.

ASHRAE – **Fundamentals Handbook**, cap. 30, Thermal Properties of Foods, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, U.S.A., 1985.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMIST'S – AOAC. 1995. *Official Methods of analysis*. 16 ed. Washington, D.C., p.1-30.

ASSUNÇÃO, F.P.; BENTES, M.H.S.; SERRUYA, H. A comparison of the stability of oils from Brazil Nut, Para Rubber and Passion Fruit seeds. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. v.61, n.6, p.1031-1036, 1984.

BAHIA, J.A. A importância atual dos óleos de pataúá, dendê e tucumã. In.: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DA QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 3, 1982, Manaus. **Anais**. Manaus, 1982.

BALICK, M.J.; GERSHOFF, S.N. Nutricional evaluation of the *Jessenia bataua* palm: Source of high quality protein and oil from Tropical America. **Economic Botany**. v.35, n.3, p.261-271, 1981.

BALICK, M. *Jessenia* and *Oenocarpus*: neotropical oil palms worthy of domestication. Food and agriculture organization of the United Nations – FAO. In: **Plant Production and Protection**. Rome, 1988, 191p. (Paper 88).

BALICK, M.J. Pataúá: *Jessenia letano*; CLAY, W.; SAMPAIO, P.T.; CLEMENT, C.R. **Biodiversidade Amazônica: exemplos e estratégias de utilização**. Manaus: [INPA], 2000, p.71-81.

BARBOSA-CANOVAS, G.V.; PELEG, M. Flow parameters of selected commercial semi-liquid food products. **Journal of Texture Studies**, v.14, p.213-234, 1983.

BENTES, M.H.S.; SERRUYA, H.; ROCHA FILHO, G.N.; GODOY, R.L.O.; CABRAL, J.A.S.; MAIA, J.G.S. Estudo químico das sementes do bacuri. **Acta Amazônica**, v.16/17, p.363-368, 1987.

BERTO, M.I.; GRATÃO, A.C. A.; SILVEIRA JR., V.; VITALI, A.A. Rheology of sucrose-CMC model solution. **Journal of Texture Studies**. v.34, n.4, p.391-400, 2003.

BEZERRA, G.B.; MOURÃO, A.P.; BATISTA FILHO, S.M.; SOUSA, H.R. Estudo dos óleos de palmiste, bacaba, pataúá e piquiá como combustíveis alternativos para substituir o óleo diesel. Belém. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DA QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 4, 1983, Belém. **Anais**. 1983.

BEZERRA, J.R.M.V. **Comportamento Reológico da Polpa de Manga (*mangifera indica* L-Keitt)**. 2000. 120 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

BIANCHI, M.L.P.; ANTUNES, L.M.G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista de Nutrição**, v.12, n.2, p.123-130, 1999.

BICUDO, T.C.; FREIRE, L.M.S.; ALBUQUERQUE, A.R.; DANTAS, M.B.; VASCONCELOS, A.F.F.; ROSENHAIM, R.; SANTOS, I.M.G.; SOUZA, A.G. **Estabilidade e tempo de indução oxidativa de óleo de pinhão manso para produção de biodiesel**. In: I CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL. 2007.

BIRD, R.B.; STEWART, W.E.; LIGHTFOOT, E.N. **Transport Phenomena**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 2002. 895 p.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiology**. n.37, p.911-917, 1959.

BOBBIO, P.A., BOBBIO, F.O. **Introdução à química de alimentos**. São Paulo; Varela, 1995. 222p.

BORGES, M.F.M.; SILVA, F.A.M.; FERREIRA, M.A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v.22, n.1, p.94-103, 1999.

BRANCO, I.G. **Suco de Laranja Concentrado- Comportamento Reológico a Baixas Temperaturas**. Campinas (SP), 1995. 91p. Tese de Mestrado, UNICAMP.

BRANCO, I.G.; GASPARETTO, C.A. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23 (supl.), p.166-171, 2003.

BRITTON, G. Carotenoids. In: GOODWIN, T.W. Methods in plant pigments. **Academic Press**, v.7, p. 473-515, 1991.

BROCKMANN, R.; DEMMRING, G.; KREUTZER, U.; LINDEMANN, M.; PLACHENKA, J.; STEINBERNER, U. Fatty acids. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. 5 ed. Germany, 1987. v.A10.

CALZAVARA, B.B.G.; MULLER, H. M.; KAHWAGE, O.M.C. **Fruticultura tropical: o cupuaçuzeiro, cultivo, beneficiamento e utilização do fruto**. Belém: EMBRAPA/CPATU, 1984. p.1- 110 (Documento, 32).

CALZAVARA; B.B.G, SOUSA; J.M.S, CARVALHO; A.C.F. Estudo sobre produtos potenciais da Amazônia. **Convenio Ministério da Agrícola/ Sudam**. Belém, 1978.

CARDARELLI, H. R.; OLIVEIRA, A. J. Conservação do leite de castanha-do-Pará. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 4, p. 617-622, 2000.

CASTRO, A.A. **Extração, caracterização físico-química, nutricional e reológica do azeite do coco babaçu (*Orbignya spp*)**. 1999. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1999.

CASTRO, H.F.; MENDES, A.A.; SANTOS, J.C.; AGUIAR, C.L. Modificação de óleos e gorduras por biotransformação. **Química Nova**, v.27, n.1, p.146-156, 2003.

CAVALCANTE, P.B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. Belém: Edições CEJUP, 1991.

CAVALCANTE, P.B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. Belém: Museu Paranse Emílio Goeldi, 1996. p. 168-171.

CHASERI, S.; DIMICK, P.S. Cocoa Butter – Its Composition and Properties. **The Manufacturing Confectioner**. v.67, n.9, p.115-122, 1987.

CHILTON, R.A.; STAINSBY, R. Pressure loss equations for laminar and turbulent non-Newtonian pipe flow. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.124, n.5, p.522-529, 1998.

CHRISTIE, W.W. 1982. The analysis of simples lipid classes. In.: Lipid Analysis. 2 ed. Oxford: Pergamon Press. Cap. 6: 93-96.

CHU, Y.H.; KUNG, Y.L. A study on vegetable oil blends. **Food Chemistry**, v.62, n.2, p.191-195, 1997.

CHUNHIENG, T.; GOLI, T.; PIOMBO, G.; PIOCH, D.; BROCHIER, J.; MONTET, D. Recent analysis of the composition of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). **Bois et Forêts des Tropiques**, v.280, n.2, p.91-98, 2004.

CLEMENTE, C.R. Brazil Nut. 2002. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/v0784e/v0784e0k.htm>>.

COLLA, L.M.; MORAES, F.P. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v.3, n.2, p.109-122

CONSTENLA, D.T.; LOZANO, J.E.; CRAPISTE, G.H. Thermophysical Properties of Clarified Apple Juice as a Function of Concentration and Temperature, **Journal of Food Science**, v. 54, n. 3, p. 663-668, 1989.

COSTELL, E., FISZMAN, S. M., DURÁN, L. Propiedades Físicas I, Reología de Sólidos y Textura. In: AGUILERA, J. M. (Ed.). **Temas em Tecnologia de Alimentos**, CYTED – Programa Iberoamericano de Ciencia e Tecnologia para el desarrollo, 1997. Cap. 6, p. 213 – 259.

CRANDALL, P.G.; CHEN, C.S.; CARTER, R.D. Models for predicting viscosity of orange juice concentrate. **Food Technology**, v. 36, n. 5, p. 245-252, 1982.

CUNHA, S. Lípidos. In.: CASTRO, A.G. **A química e a reologia no processamento dos alimentos**. Instituto Piaget, 2003. p.65-90.

DAISY A.P.; SILVA G.; WADT L. H.; **Patauá: a “oliveira” da Amazônia**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>, acessado em 10/02/07.

DICKERSON, R. W. An apparatus of the measurement of thermal diffusivity of foods. **Food Technology**, v. 19, n. 5, p. 198 – 204, 1965.

DINCER, I.; YILDIZ, M. Modelling of thermal and moisture diffusions in cylindrically shaped sausages during frying. **Journal of Food Engineering**. v.28, p.35-43, 1996.

ECIRTEC. Disponível em: <www.ecirtec.com.br>. Acesso em 05/05/2008.

ENRIQUE MARTINEZ, F.; LEON, A.; GARCES, R. Nuevos aceites de girasol: el futuro para una industria alimentaría más saludable. **Aceites & Grasas**. v.2, p.268-273, 2007.

FAO; WHO. Non-wood forest products: **Tropical palms**. Rome: 1973, 166p.

FAURE, H.; BOREL, P.; DRAI, J.; FAROL, V.; GALABERT, C.; LAROMIGUIÈRE, M.; LE MOËL, G. Données récentes sur l'absorption et le catabolisme des caroténoïdes. **Annales de Biologie Clinique**, v.63, n.2, p.165-77, 2005.

FERREIRA, G.M.; QUEIROZ, A.J.M.; CONCEIÇÃO, R.S.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no Comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**. v. 4, n. 2, p. 176-184, 2002.

FERREIRA, E.J.L.; NASCIMENTO, J.F.; LIMA, A.C.; SILVA, C.R.; OLIVEIRA, E.S. Óleos de plantas nativas da Amazônia. Ambiente Acreano – Blog sobre o Acre, Meio ambiente, C & T e Amazônia, novembro – 2005. Acesso em 18/01/2007.

FIGUEIRÊDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M.; ARAÚJO, J.L. Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos. **Ciência Agrotécnica**. v.28, n.1, p.126-134, 2004.

FILHO, A.B.G.; LIMA, J.A.S. **O Buritizeiro (*Mauritia flexuosa*) e seu potencial de utilização**. EMBRAPA, Macapá/AP. 2001.

FILHO, G.N.R. **A estabilidade de óleos vegetais**. 2006. In: III WORKSHOP DE QUÍMICA E MEIO AMBIENTE. Universidade Federal do Pará – UFPA-Belém, 2006.

FLORES PAYTÁN, S. 1997. **Cultivo de frutales nativos amazónicos**. Manual del extensionista. IIAP/UNDP/FAO. Mirigraf. S.R.L., Lima, p. 63–69.

FOLCH, J.; LEES, M.; SLOANE-STANLEY, G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 226, n. 1, p. 497-509, May 1957.

FORSTER, L.L., FERRIER, L.K. Viscometric characteristics of whole soybean milk. **Journal of Food Science**, v.44(2), p.583–585, 1979.

FREITAS, S.P.; SILVA, F.C.; LAGO, R.C.A; COURI, S. Efeito de enzimas hidrolíticas no comportamento reológico de óleo de palma cru. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.18, n.1, 1998.

GANDUL-ROJAS, B.; GALLARDO-GUERRERO, L.; JARÉN-GALÁN, M.; ROCA, M.; MOSQUERA, M.I.M. *Modificantion of the functional properties of chlorophyll by structural changes in its molecule*, Actas do Congresso “Funcionalities of pigments in food”, Junho de 2002, 401-404.

GAZZONI, D.L. **Alimentos funcionais**. Embrapa Soja, Londrina, maio de 2003.

GELLER, D.P.; GOODRUM, J.W. Rheology of Vegetable Analogs and Triglycerides. **Journal American Oil Chemist's Society**. v.77, p. 111-114, 2000.

GINER, J.; IBARZ, A.; GARZA, S.; XHIAN-QUAN, S. Rheology of clarified cherry juices. **Journal of Food Engineering**, v. 30, p. 147-154, 1996.

GIOIELLI, L.A.; SOLIS, V.S.; POLAKIEWICZ, B. Hidrogenación e interesterificación del aceite de castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*). **Grasas y Aceites**, v.52, n.3-4, p.192-197, 2001.

GLORIA, M.M.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B. Concentrado e isolado protéico de torta de castanha-do-brasil: obtenção e caracterização química e funcional. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.20, n.2, p.240-245, 2000.

GOMES-SILVA, D.A.P.; WADT, L.H.O.; EHRINGHAUS, C. Ecologia e Manejo de Pataú (*Oenocarpus bataua* Mart) para a produção de frutos e óleo. Embrapa-Acre, 2004, 37p.

GOMES-SILVA, D.A.P. Estrutura populacional e produtividade do pataú (*Oenocarpus bataua* Mart.-ARECACEAE) na Amazônia sul-ocidental. 2003. Dissertação – Universidade Federal do Acre. Acre, 2003.

GRATÃO, A.C.A.; BERTO, M.I., SILVEIRA JR., V. Reologia do açúcar líquido invertido: influência da temperatura na viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p.652-656, 2004.

GRATÃO, A.C.A.; SILVEIRA JR., V.; TELIS-ROMERO, J. Laminar flow of soursop juice through concentric annuli: Friction factors and rheology. **Journal of Food Engineering**, 2006 (*in press*).

GUERRERO, S.N.; ALZAMORRA, S. M. Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behavior of fruit purées II. Peach, papaya and mango purée. **Journal of Food Engineering**, v.37, p.77-101, 1998.

GUIMARÃES, D.H.P.; GASPARETTO, C.A.; SILVA, F.C. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p.121-126, 2005.

GURR, M.I.; HARWOOD, J.L. **Lipid biochemistry**. 4. ed. New York: Chapman and Hall, 1991. 404p.

HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M.R.; VIDAL, J.R.M.B.; MASSON, M.L. Influence of temperature on the rheological behavior of whole araçá pulp (*Psidium cattleianum* sabine). **Food Science and Technology**. v.39, p. 426-430, 2006.

HARTMANN, L.; LAGO, R.C.A. 1973. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Laboratory Practices*, 22: 475-477.

HELDMAN, D.R.; SINGH, R.P. **Food Process Engineering**. AVI Publishing, Westport, CT, 1981.

HIANE, P.A.; RAMOS, M.I.L.; RAMOS FILHO, M.M.; PEREIRA, J.G. Caracterização química de alguns frutos nativos do Estado do Mato Grosso do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL DE ANALISTAS DE ALIMENTOS, 5, Salvador, 1989. **Resumos**, Salvador, ENAAL, 1989. p.56.

HOLDSWORTH, S.D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, v.2, n.4, p.393-418, 1971.

IBARZ, A.; PAGÀN, J.; GUTIÉRREZ, J.; VICENTE, M. Rheological properties of clarified pear juice concentrates. **Journal of Food Engineering**, v. 10, p. 57-63, 1989.

IBARZ, A.; GONZALES, C.; ESPLUGAS, S.; VICENTE, M. Rheology of clarified fruit juices I: peach juices. **Journal of Food Engineering**, v. 15, p. 49-61, 1992.

IBARZ, A.; GONZALES, C.; ESPLUGAS, S. Rheology of clarified fruit juices III: orange juices. **Journal of Food Engineering**, v. 21, p. 485-494, 1994.

IBARZ, A.; GARVIN, A.; COSTA, J. Rheological behavior of sloe (*Prunus spinosa*) fruit juices. **Journal of Food Engineering**, v. 27, p. 423-430, 1996.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. 4 ed. New York, John Wiley, 1996.

JONES, L.A.; KING, C.C. Cottonseed Oil. In.: HUI, Y.H. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 5 ed., v.2, New York: John Wiley & Sons, p.159-241, 1996.

KAHN, R., STEHLI, D., WEI, L.S., STEINBERG, M.P., YAMASHITA, N. Activity and mobility of water in sweetened concentrated dislodged soy beverages and their rheological properties. **Journal of Food Science**, v.55, n.2, p.537-542, 1990.

KHALIL, K.E.; RAMAKRISHNA, P.; NANJUDASWAMY, A. M.; PATWARDHAN, M.V. Rheological behaviour of clarified banana juice: effect of temperature and concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 10, p. 231-240, 1989.

LAMB, J. Influence of water on thermal properties of foods. **Chemistry & Industry**, v. 24, p.1046-1048, 1976.

LAURINDO, J.B.; LAROTONDA, F.D.S.; MATSUI, K.N.; PAES, S.S. Um dispositivo simples para a determinação simultânea e contínua da densidade de líquidos e da concentração de suspensões líquidas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.24, n.2, p.261-264, 2004.

LAWSON, H. **Food oils and fats: technology, utilization and nutrition**. New York: Chapman & Hall, 1995.

LEWIS, M. J. **Physical Properties of Foods and Food Processing Systems**. Chichester, England: Ellis Horwood, 1987.

LLERAS, E.; CORADIN, L. Native neotropical oil palms: state of the art and perspectives for Latin American. **Advances in Economic Botany**, New York, v.6, p.201-213, 1988.

LOCATELLI, M.; SILVA FILHO, E. P.; VIEIRA, A.H.; PEQUENO, P.L.L.; MACEDO, R.S. Castanha-do-Brasil – alguns aspectos silviculturais. Artigo técnico retirado do site <http://www.cpafro.embrapa.br/embrapa/Artigos/artigocastanhainternetword.htm> em 12/07/2007.

LOLOS, M.; OREOPOULOU, V.; TZIA, C. Oxidative stability of potato chips: effect of frying oil type, temperature and oxidants. **Journal of Science of Food and Agriculture**. v.79, p.1524-1528, 1999.

LOMBRAÑA, J.I.; DIAS, J.M. Rheological and Chemical Changes in Stored Carrot Juice. **Food Science and Technology Journal**. v.18, n.3, p.213-119, 1985.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F.; ALENCAR, J.C.. Essências madeireiras da Amazônia. Manaus: INPA, 1979. v. 1.

LUND, D. B. Applications of differential scanning calorimetry in food. In: M. Peleg e E. B. Bagley (Eds.) **Physical Properties of Food**. Westport, Connecticut: AVI Publishing Company, 1983.

LUQUE DE CASTRO, M.D.; GARCÍA-AYUSO, L.E. Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. **Analytica Chimica Acta**, v.369, n.1/2, p.1-10, 1998.

MARIATH, J.G.R.; LIMA, M.C.C.; SANTOS, L.M.P. Vitamin A activity of buriti (*Mauritia Vinifera* Mart.) and its effectiveness in the treatment and prevention of xerophthalmia. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.49, p.849-853, 1989.

MENEZES, H.C.; SOUZA, M.L. Processamentos de amêndoa e torta de castanha-do-brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.24, n.1, p.120-128, 2004.

MILES, C. A.; VAN BEEK, G.; VEERKAMP, C. H. Calculation of thermophysical properties of foods. In: R. Jowitt, F. Escher, B. Hallstrom, H. F. T. Meffert, W. E. L. Spiess e G. Vos (Eds.) **Physical Properties of Foods**. London: Applied Science Publishers, 1983. p. 269-312.

MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow Behaviour of Concentrated Orange Juice: Mathematical Treatment. **Journal of Texture Studies**, v.3, n.1, p.69-79, 1971.

MIZRAHI, S.; FIRSTENBERG, R. Effect of Orange Composition on Flow Behaviour of Six Fold Concentrate. **Journal of Texture Studies**, v.4, n.6, p.523-532, 1975.

MOHSENIN, N. N. **Thermal Properties of Foods and Agricultural Materials**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, Inc., 1980.

MONZÓN-DÁVILA, L.S. **Avaliação do congelamento de solução modelo por condutividade térmica**. Dissertação de mestrado, Campinas, SP, 2007.

MORETO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**, Editora e Livraria Varela LTDA, 1998.

MOTHÉ, C. G; CORREIA, D. Z. e MACIEL, R. IV CBRATEC e II Congresso Pan-Americano de Análise Térmica e Calorimetria, 2004, p.15.

NASCIMENTO, C.N.B. do. Amazônia: meio ambiente e tecnologia agrícola. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984. 282p. (EMBRAPA-CPATU, Documentos, 27).

NELSON, J.G. Isolation and purification of lipids from biological matrices. In.: PERKINS, E.G. **Analyses of fats, oils and lipoproteins**. Champaign: American Oil Chemists' Society (AOCS), 1991. cap.2, p.20-59.

O'BRIEN, R.D. Fats and oils: Formulation and Processing for Applications. **Technomic**, 1998.

O'BRIEN, R.D. **Fats and oils: formulating and processing for applications**. 2 ed. Flórida: CRC Press, 2002, 592p.

OHLSSON, T. The measurement of thermal properties. In: R. Jowitt, F. Escher, B. Hallstrom, H. F. T. Meffert, W. E. L. Spiess e G. Vos (Eds.) **Physical Properties of Foods**. London, Great Britain: Applied Science Publishers, 1983. p. 313-328.

ÖZISIK, M. N. **Basic heat transfer**. Tokyo: McGraw-Hill, 1977. 572 p.

PARK, K.J.; MURR, F.E.; SALVADEGO, M. Construção de um sistema de medição da condutividade térmica pelo método da sonda. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.17, n.1, p.7-10, 1997.

PARK, K.J.; ALONSO, L.F.; NUNES, A. S. Determinação experimental da condutividade e difusividade de grãos em regime permanente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.2, p. 264-269, 1999.

PESCE, C. *Oleaginosas da Amazônia*. Belém, Oficinas Gráficas da Revista Veterinária, 1941.

PIGHINELLI, A.L.M.T.; ZORZETO, T.Q.; PARK, K.J. **Extração mecânica de óleo de amendoim para a produção de biodiesel**. In: I CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL. 2007.

PIMENTEL, B.M.V.; FRANCKI, M.; GOLLÜCKE, B.P. **Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos**. São Paulo: Editora Varela, 2005.

POTTER, N.N. **Food Science**. 3 ed. Avi Publishing Company, 1978.

PRZYLBYLSKI, R.; ESKIN, N.A.M. Componentes menores y su relación con la estabilidad de los aceites vegetales. **Aceites & Grasas**. v.2, p.310-313, 2007.

QUEIROZ, G.M. **Determinação de propriedades termofísicas do pão tipo francês durante o processo de assamento**. Dissertação (mestrado). 2001. 152p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2001.

RABELO, J. **Viscosidade de compostos e misturas graxas: determinação experimental e desenvolvimento de uma metodologia de predição**. Dissertação (mestrado). 2005. 134p. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2005.

RAHMAN, S. **Food properties handbook**. New York, CRC Press, 1995.

RAO, M.A. Rheology of liquid foods – **Journal of Texture Studies**, v.8, n.2, p.135-168, 1977.

RAO, M.A.; COOLEY, H.J.; VITALI, A.A. Flow properties of concentrated juices at low temperatures. **Food Technology**, v. 38, n. 3, p. 113-119, 1984.

RAO, K.L.; EIPESON, W.E.; RAO, P.N.S.; PATWARDHAN, M.V.; RAMANATHAN, P.K.; Rheological Properties of Mango Pulp and Concentrates. **Journal of Food Science. and Technology**, v.22, n.1, p.30-33, 1985.

RAO, M.A. Rheological properties of fluid foods. In: RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H. **Engineering properties of foods**. New York: MARCEL DEKKER, 1986. Cap. 5, p. 1-47.

RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H. **Engineering properties of foods**. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 1994, 531p.

REDA, S.Y.; CARNEIRO, P.I.B. Óleos e Gorduras: Aplicações e Implicações. **Revista Analytica**, n.27, p.60-67, Fevereiro/Março, 2007.

REDDY, C. S.; DATTA, A. K. Thermophysical properties of concentrated reconstituted milk during processing. **Journal of Food Engineering**, v. 21, p. 31-40, 1994.

REHM, S.; ESPIG, G. The cultivate plants of the tropics and subtropics. [s.l.]: 1991. p.76-119.

REIDY, G.A. 1968. 1. Methods for determining thermal conductivity and diffusivity of foods. 2. Value for thermal properties of foods gathered from the literature. Food Science Department, Michigan State University, East Lansing, Michigan.

REUTER, W., HERRMANN, W., Metabolism, Function and Clinical-significance of HDL-cholesterol. **Deutsche Gesundheitswesen-Zeitschrift Fur Klinische Medizin**. v.37, n.2, p.49-56, 1982.

REVILLA, J. **Apontamentos para a cosmética amazônica**. Manaus: SEBRAE-AM/INPA, 2002. 532p.

RHA, C. Rheology of liquid foods – a review. **Journal of Texture Studies**. v.8, n.2, p. 135-168, 1975.

RIBEIRO, M.A.A.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B.; LIMA, U.A.; BAGGIO, C.E. Armazenamento da castanha-do-pará com e sem casca: efeito da temperatura na resistência ao ranço. **Scientia Agrícola**, v.50, n.3, p.343-348, 1993.

RIEDEL, L. The refrigerating effect required to freeze fruits and vegetables. **Refrigerating Engineering**, v. 59, p. 670-673, 1951.

RODRÍGUEZ, M.B.S.; MEGÍAS, S.M.; BAENA, B.M. Alimentos funcionales y Nutrición óptima. **Revista da Espanha de Salud Pública**, v.77, n.3, p.317-331, 2003.

ROGEZ, H. Primeiro Seminário do Projeto “Estudo pluridisciplinar sobre a valorização de frutas Amazônicas e de seus derivados”, VII Castanha-do-Brasil, Belém, Brasil, Janeiro, 1995.

ROHR, R. **Óleos e gorduras vegetais e seus subprodutos protéicos**. 3ª Ed. Fundação Tropical de Pesquisa e Tecnologia de Alimentos. Campinas, SP. 1976.

SANTÚRIO, J.M. Disponível em: <http://www.alimentoseguro.com.br/alimentoseguro.htm/aflatoxina> Acesso em 25 de agosto de 2007.

SARAVACOS, G. D. Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. **Journal of Food Science**, v. 35, n. 2, p. 122-125, 1970.

SARAVACOS, G. D.; KOSTAROPOULOS, A. E. Transport properties in processing of fruits and vegetables. **Food Technology**, v. 49, n. 9, p. 99-105, 1995.

SATHIVEL, S.; PRINYAWIWATKUL, W.; NEGULESCU, I.I.; KING, J.M.; BASNAYAKE, B.F.A. Effects of purification processo on rheological properties of catfish oil. **Journal of the American Oil Chemistis' Society**. v.80, n.8, p.829-832, 2003.

SATHIVEL, S. Thermal and flow properties of oils from salmon heads. **Journal of the American Oil Chemistis' Society**. v.82, n.2, p.147-152, 2005.

SCHNEIDER, F.H. Fettwissenschaft. **Fette Seifen Anstrichmittel**, v.80, n.1, p.16-23, 1980.

SCHURGERS, L.J., SOUTE, B.A.M., ELMADFA, I. VERMEER, C., The Beneficial Properties of Corn oil for Vascular Health May be Related to its on the Vessel Wall, **Thrombosis and Haemostasis**. v.2307, 1999.

SERRUYA,H.; BENTES,M.H.S., SIMÕES,J.C.; LOBATO,J.E.; MULLER,A.H.; ROCHA FILHO,G.N. Análise dos óleos dos frutos de 3 palmáceas da região amazônica. **Anais da Associação Brasileira de Química**, v.21, p.93-6, 1980.

SHAHIDI, F., WANASUNDARA, J.P.D. Extraction and analysis of lipids. In: AKOH, C.C.; MIN, D.B. **Food lipids: Chemistry, nutrition and biotechnology**. New York: Marcel Dekker, 1998. cap.5, p.115-135.

SHAMI, N.J.I.E.; MOREIRA, E.A.M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, v.17, n.2, p.227-236, 2004.

SHERMAN, P. **Industrial Rheology with Particular Reference to Foods, Pharmaceuticals and Cosmetics**. Academic Press, London, 1970.

SILVA, F. A. **Aplicação de microondas no processo de beneficiamento de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*)**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – FEA/UNICAMP. Campinas 2002.

SILVA, L.H.M.; PINHEIRO, R.C.; MACEDO, C.S.; RODRIGUES, A.M.C. **Estudo do efeito da temperatura sobre as propriedades físicas e termofísicas de óleos regionais**. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. 2006. Santos. São Paulo, 2006. p.1520-1524.

SIMÕES, I.S.; GIOIELLI, L.A.; OLIVEIRA, M.N. Binary and Ternary blends of hydrogenated fats and soybeans oil. **Ciência e Tecnologia de alimentos**, v.17, n.3,

1998. Retirado de: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611997000300026&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 30 Jan 2007. doi: 10.1590/S0101-20611997000300026.

SINGH, R.P. Thermal diffusivity in food processing. **Food Technology**, v.36, n.2, p.87-91, 1982.

SIQUEIRA, F.M.; REGITANO D'ARCE, M.A.B. **Obtenção de produtos da castanha-do-pará (leite e farinha) com vistas à popularização do seu consumo**. Piracicaba: Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, 1993. 15p. (RELATÓRIO FAPESP).

SOUZA, M.L.; HOLANDA, L.F.F.; MAIA, G.A.; GASPAR JUNIOR, J.C.; FIGUEIREDO, R.W. Processamento e estabilidade do leite de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). **Ciência Agrônômica**, v.18, p.137-146, 1987.

SOUZA, A.G.C.; SOUSA, N.R.; SILVA, S.E.L. **Fruteiras da Amazônia**. Brasília, DF, 1996.

SOUZA, P.H.M.; SOUZA NETO, M.H.; MAIA, G.A. Componentes funcionais nos alimentos. **Boletim do SBCTA**, v.37, n.2, p.127-135, 2003.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Processamentos de amêndoa e torta de castanha-do-Brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.1, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-0612004000100022&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 23 Jul 2007.

SOXHLET, F. Die gewichtsanalytische bestimmung des milchfettes. **Polytechnisches Journal**, v.232, n.5, p.461-465, 1879.

STAHL, W.; SIES, H. Antioxidant activity of carotenoids. **Molecular Aspects of Medicine**, v.24, n.6, p.345-351, 2003.

STEFFE, J. F. **Introduction to Rheology**, in: RHEOLOGICAL METHODS IN FOOD PROCESS ENGINEERING. Freeman Press, East Lansing, 1996, 418 p.

SWEAT, V. E. Experimental measurement of the thermal conductivity of yellow cake. **Proc. XIII Int. Conf. Thermal Conductivity - Univ. Missouri-Rolla**, pp. 195 – 198. 1973.

SWEAT, V. E. **Thermal properties of foods**. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. Engineering Properties of Foods. New York, Marcel Dekker, pp. 49-87, 1986.

SWEAT, V. E. **Thermal properties of foods**. In: M. A. Rao e S. S. H. Rizvi (Eds.) Engineering Properties of Foods. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 99-138.

TAKAHASHI, N.S. **Importância dos ácidos graxos essenciais**. Instituto de Pesca, outubro de 2005.

TAVARES, M.; BADOLATO, E.S.G.; CARVALHO, J.B.; AUED, S. Óleo de amêndoa de palma (Palmiste) brasileiro. Caracterização e composição em ácidos graxos. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v.50, n.1/2, p.307-312, 1990.

TELIS-ROMERO, J.T.; TELIS, V.R.N.; YAMASHITA, F. Friction factors and rheological properties of orange juice. **Journal of Food Engineering**. v.40, n.1, p.101-106, 1999.

TELIS-ROMERO, J.; CABRAL, R.A.F.; GABAS, A.L.; TELIS, V.R.N. Rheological Properties and Fluid Dynamics of Coffee Extract. **Journal of Food Process Engineering**. v.24, p.217, 2001.

TRUJILLO-QUIJANO, J.A.; ESTEVES, W.; PLONIS, G.F.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Variação do perfil de ácidos graxos do óleo da polpa de frutos de diferentes palmeiras oleaginosas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.12, n.1, p. 91-96, jan./jun. 1992.

TURATTI, J.M. Óleos vegetais como fonte de alimentos funcionais. In: SIMPÓSIO SOBRE ALIMENTOS FUNCIONAIS PARA O NOVO MILÊNIO: QUALIDADE DE VIDA E SAÚDE. 2000. Campinas. Campinas: Unicamp, 2000. p.13-14.

UIEARA, M. **Lipídeos**. Departamento de Química, UFSC, 2003.

VÉLEZ-RUIZ, J.F.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Rheological properties of concentrated milk as a function of concentration, temperature and storage time. **Journal of Food Engineering**, v.35, p.177-190, 1998.

VIDAL, J.R.M.B. **Comportamento Reológico da Polpa de Manga (*mangifera indica* L-Keitt)**. 2000, 120p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. v.1, n.2, p.69-76, 2000.

VILLACHICA, H. Frutales y hortalizas promissorios de la Amazonia. Lima: Tratado de Cooperacion Amazônica, 1996.p. 85-95.

VITALI, A.A. **Comportamento Reológico do Suco de Laranja Concentrado Congelado à Baixas Temperaturas**. 1983. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Química, EPUSP.

VITALI, A.A.; RAO, M.A. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: effect of temperature and concentration. **Journal of Food Science**, v.49, n.3, p.882-888, 1984.

ZÚÑIGA, M. E.; SOTO, C.; MORA, A.; CHAMY, R.; LEMA, J. M. Enzymic pre-treatment of *Guevina avellana* mol oil extraction by pressing. **Process biochemitry**, v. 39, n.1, p. 51-57. Set/2003.

WANG, T.; BRIGGS, J.L. Rheological and thermal properties of Soybean oils with modified FA compositions. **Journal of the American Oil Chemistis' Society**. v.77, n.8, p.831-836, 2002.

WESOLOWSKI, M.; ERECINSKA, J. Thermal analysis in quality assessment of rapeseed oils. **Thermochim Acta**. v.323, p.137-143, 1998.

WOODAMS, E.E.; NOWREY, J.E. Literature values of thermal conductivities of foods. **Food Technology**, v.22, n.4, p.150-158, 1968.

Apêndice A – Efeito da Temperatura nos óleos puros e suas misturas.

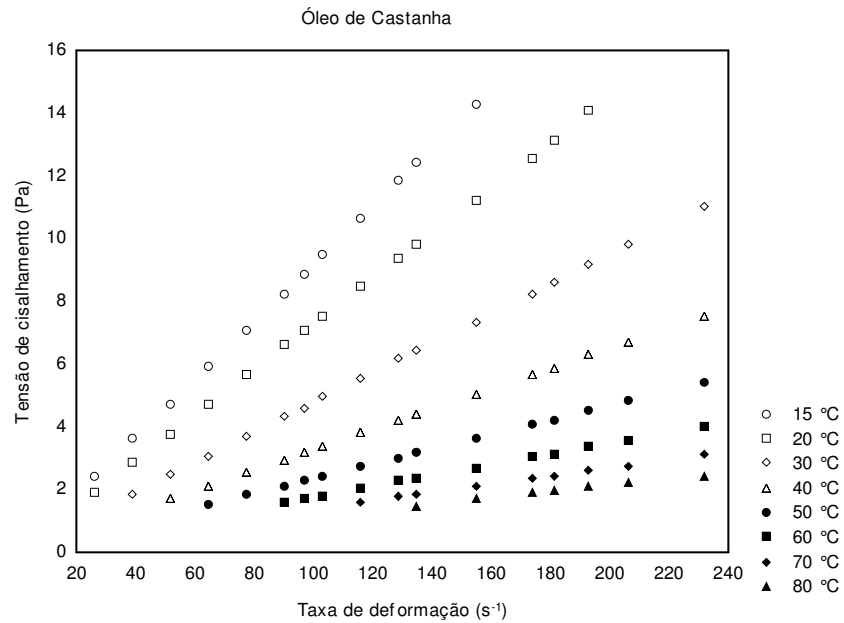


Figura 1. Efeito da temperatura no comportamento reológico do óleo de castanha-do-brasil.

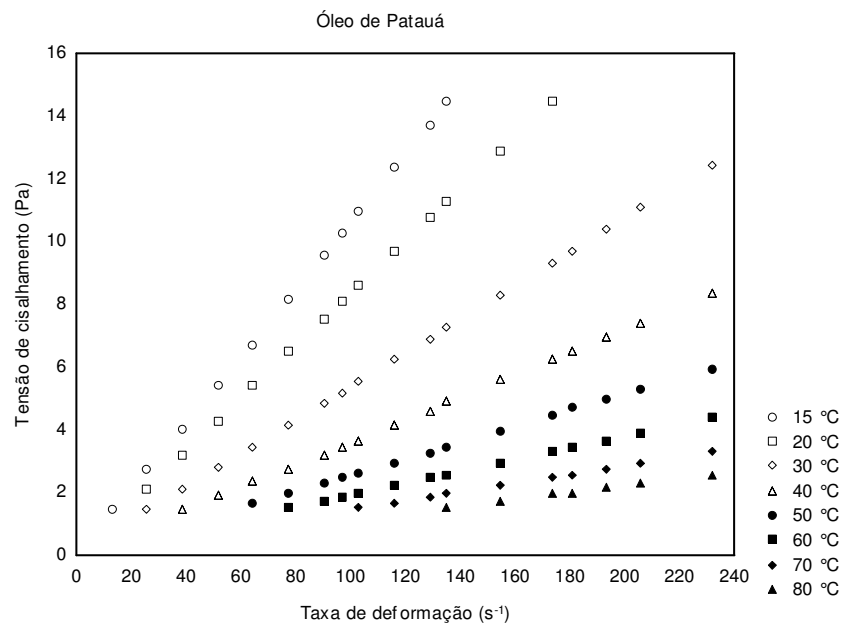


Figura 2. Efeito da temperatura no comportamento reológico do óleo de patauá.

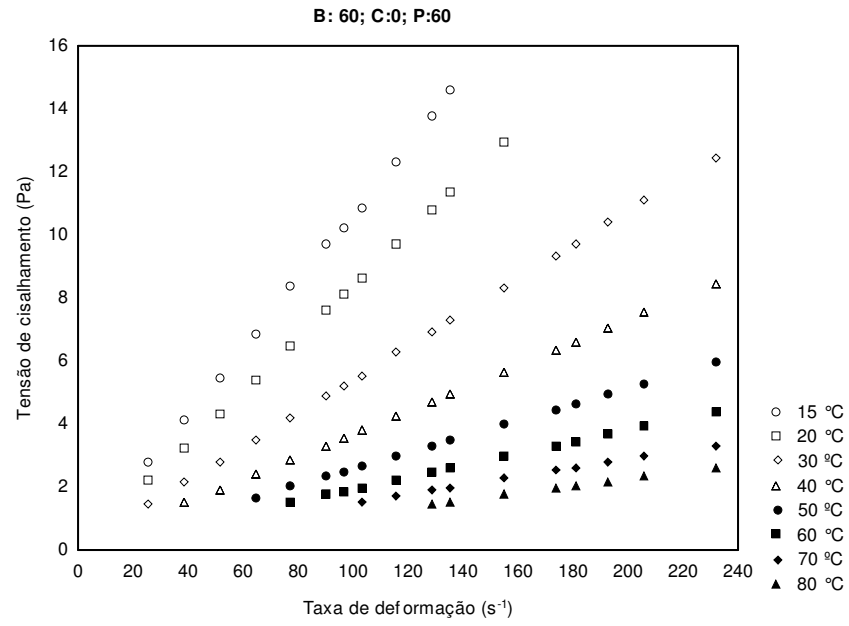


Figura 3. Efeito da temperatura no comportamento reológico da mistura 1.

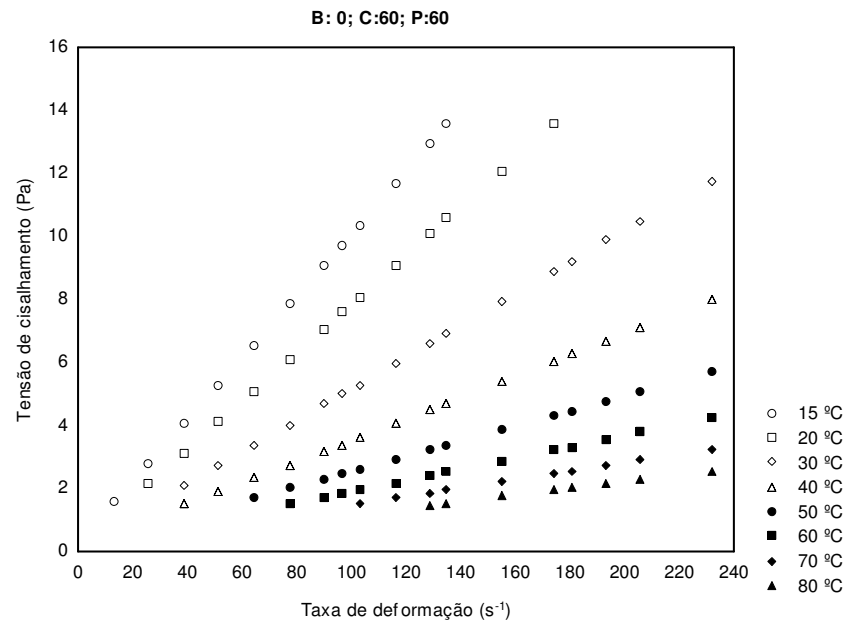


Figura 4. Efeito da temperatura no comportamento reológico da mistura 2.

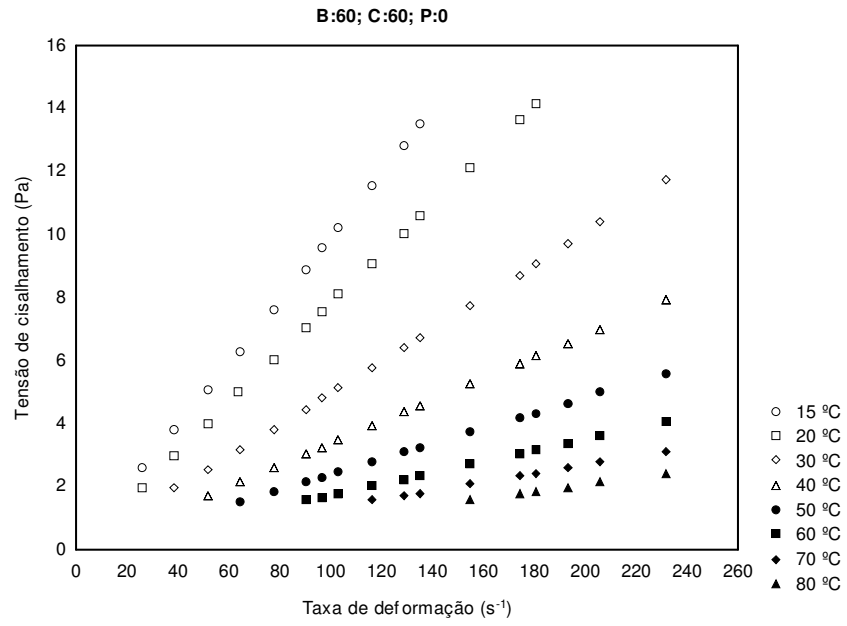


Figura 5. Efeito da temperatura no comportamento reológico da mistura 3.

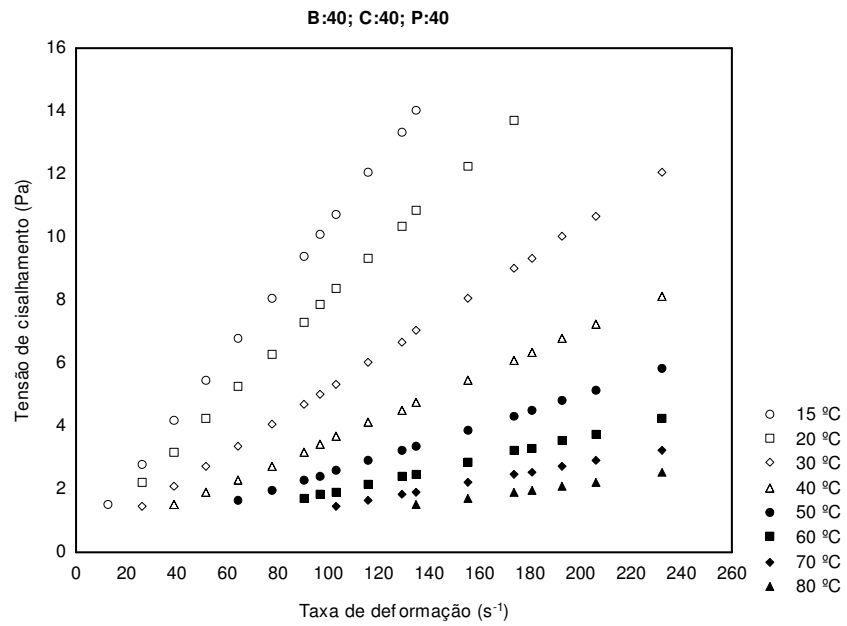


Figura 6. Efeito da temperatura no comportamento reológico da mistura 4.

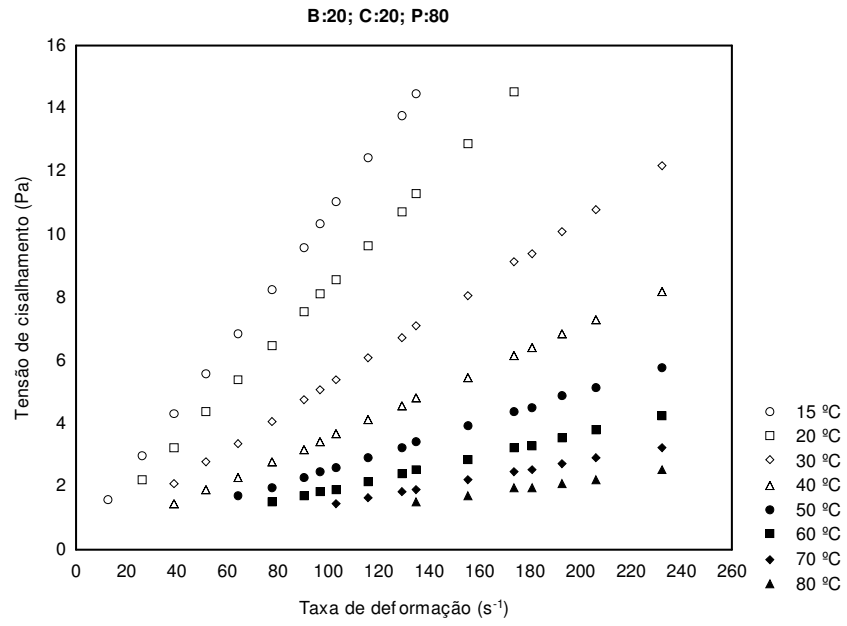


Figura 7. Efeito da temperatura no comportamento reológico da mistura 5.

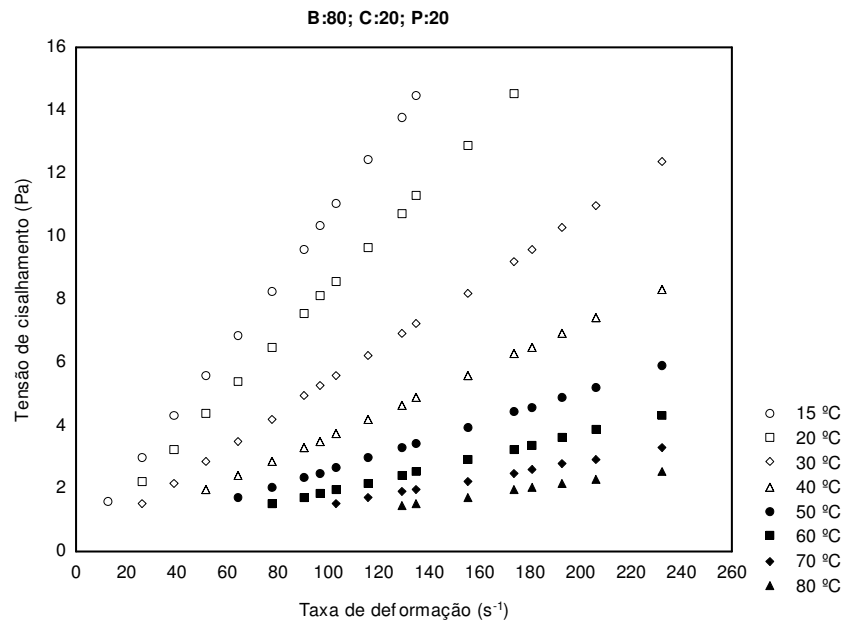


Figura 8. Efeito da temperatura no comportamento reológico da mistura 6.

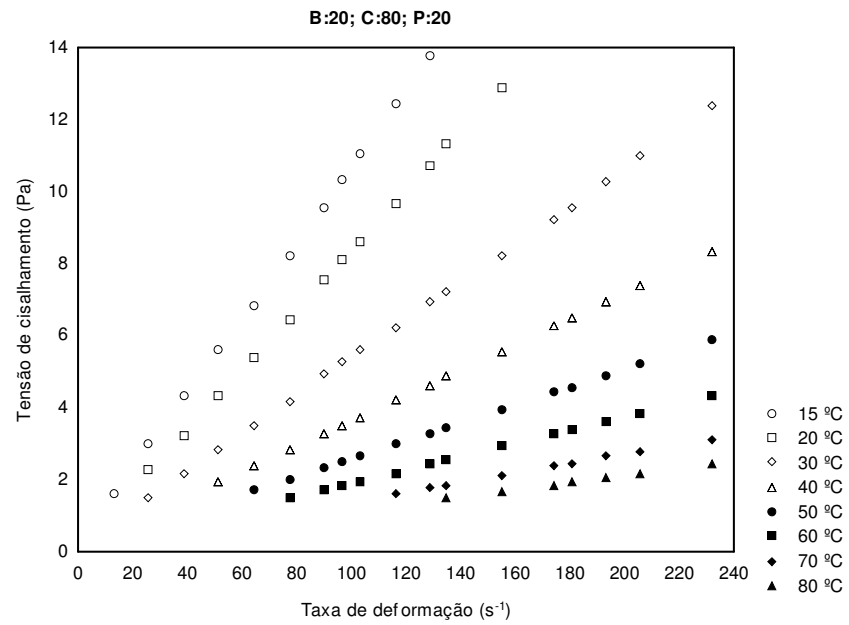


Figura 9. Efeito da temperatura no comportamento reológico da mistura 7.

Apêndice B – Ajuste dos dados experimentais aos modelos da literatura

Tabela 1. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para o óleo de castanha-do-brasil (OC).

OC	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
K	0,0934	0,0753	0,0496	0,0342	0,0247	0,0187	0,0159	0,0192
n	0,9966	0,9930	0,9918	0,9908	0,9893	0,9872	0,9676	0,8898
μ (cP)	92,3	73	47,7	32,7	23,5	17,5	13,5	10,8
R^2 (%)	99,9860	99,9930	99,9920	99,9960	99,9950	99,9870	99,9840	99,0260
χ^2	0,0021	0,0011	0,0013	0,0001	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$8,9 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,0014
SQR	0,0208	0,0147	0,0191	0,0019	0,0010	0,0009	0,0003	0,0058
EP	0,0435	0,0324	0,0345	0,0116	0,0088	0,0090	0,0064	0,0310
B_f	0,9975	0,9994	0,9956	0,9996	0,9995	1,0001	0,9999	1,0008

Tabela 2. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para o óleo de patauá (OP).

OP	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
K	0,1120	0,0859	0,0572	0,0378	0,0264	0,0191	0,0160	0,0130
n	0,9896	0,9923	0,9862	0,9921	0,9955	0,9977	0,9806	0,9737
μ (cP)	108	83,3	54,2	36,4	25,8	18,9	14,5	11,3
R^2 (%)	99,9870	99,9890	99,9540	99,9940	99,9830	99,9950	99,9880	99,9790
χ^2	0,0024	0,0017	0,0051	0,0003	0,0003	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$
SQR	0,0215	0,0185	0,0773	0,0034	0,0039	0,0005	0,0004	0,0002
EP	0,0464	0,0392	0,0695	0,0156	0,0173	0,0066	0,0065	0,0057
B_f	0,9935	0,9970	0,9915	0,9995	0,9999	0,9997	1,0001	0,9999

Tabela 3. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para a mistura 1.

B:60 C:0 P:60	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
K	0,1054	0,0862	0,0555	0,0396	0,0273	0,0209	0,0173	0,0138
n	1,0029	0,9939	0,9941	0,9849	0,9883	0,9821	0,9665	0,9612
μ (cP)	106,8	84	54,1	36,9	25,8	19,2	14,6	11,3
R^2 (%)	99,946	99,991	99,993	99,987	99,997	99,992	99,989	99,950
χ^2	0,0090	0,0011	0,0008	0,0006	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-5}$
SQR	0,0811	0,0108	0,0123	0,0041	0,0008	0,0008	0,0003	0,0005
EP	0,0901	0,0314	0,0278	0,0166	0,0076	0,0079	0,0062	0,0085
B_f	0,9989	0,9988	0,9968	0,9976	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999

Tabela 4. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para a mistura 2.

Temperatura (°C)								
B:0 C:60 P:60	15	20	30	40	50	60	70	80
K	0,1148	0,0852	0,0565	0,0414	0,0304	0,0239	0,0186	0,0174
n	0,9720	0,9825	0,9804	0,9661	0,9609	0,9501	0,9483	0,9173
μ (cP)	103,5	79,1	51,5	35,4	25,2	18,7	14,3	11,2
R^2 (%)	99,959	99,985	99,991	99,954	99,971	99,958	99,980	99,964
χ^2	0,0071	0,0019	0,0008	0,0019	0,0005	0,0003	$7,3 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$
SQR	0,0716	0,0211	0,0119	0,0267	0,0058	0,0037	0,0006	0,0003
EP	0,0807	0,0419	0,0282	0,0422	0,0211	0,0177	0,0081	0,0068
B_f	0,9885	0,9966	0,9987	0,9952	0,9986	0,9992	0,9999	0,9999

Tabela 5. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para a mistura 3.

Temperatura (°C)								
B:60 C:60 P:0	15	20	30	40	50	60	70	80
K	0,0917	0,0776	0,0454	0,0321	0,0225	0,0162	0,0132	0,0094
n	1,0170	1,0016	1,0197	1,0112	1,0130	1,0160	1,0028	1,0183
μ (cP)	98,9	78	50	33,8	24	17,5	13,4	10,3
R^2 (%)	99,983	99,992	99,988	99,995	99,993	99,986	99,972	99,966
χ^2	0,0024	0,0013	0,0011	0,0002	0,0001	0,0001	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
SQR	0,0220	0,0154	0,0161	0,0023	0,0014	0,0010	0,0006	0,0001
EP	0,0469	0,0344	0,0327	0,0129	0,0105	0,0098	0,0086	0,0052
B_f	0,9972	1,0013	0,9978	0,9999	0,9997	1,0001	0,9998	0,9999

Tabela 6. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para a mistura 4.

Temperatura (°C)								
B:40 C:40 P:40	15	20	30	40	50	60	70	80
K	0,1169	0,0966	0,0554	0,0389	0,0268	0,0222	0,0175	0,0136
n	0,9752	0,9610	0,9874	0,9805	0,9869	0,9633	0,9587	0,9601
μ (cP)	106	81,2	52,5	35,6	25,2	18,5	14,2	11
R^2 (%)	99,9850	99,9880	99,9840	99,9720	99,9820	99,9890	99,9760	99,9390
χ^2	0,0028	0,0016	0,0017	0,0012	0,0003	$8,6 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$8,4 \cdot 10^{-5}$
SQR	0,0283	0,0181	0,0256	0,0169	0,0037	0,0009	0,0007	0,0004
EP	0,0508	0,0388	0,0400	0,0336	0,0170	0,0088	0,0088	0,0084
B_f	0,9934	1,0004	0,9948	0,9965	0,9991	0,9999	0,9998	0,9998

Tabela 7. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para a mistura 5.

Temperatura (°C)								
B:20 C:20 P:80	15	20	30	40	50	60	70	80
K	0,1085	0,0854	0,0545	0,0376	0,0275	0,0216	0,0163	0,0146
n	0,9916	0,9907	0,9921	0,9891	0,9826	0,9700	0,9727	0,9450
μ (cP)	105,9	81,7	52,6	35,8	25,3	18,6	14,2	11
R^2 (%)	99,960	99,993	99,987	99,981	99,979	99,974	99,983	99,783
χ^2	0,0076	0,0010	0,0012	0,0008	0,0004	0,0002	$6,4 \cdot 10^{-5}$	0,0003
SQR	0,0758	0,011	0,0177	0,0117	0,0044	0,0024	0,0005	0,0014
EP	0,0830	0,0303	0,0343	0,0279	0,0184	0,0142	0,0076	0,0156
B_f	0,9893	1,0013	0,9978	0,9972	0,9993	0,9994	0,9999	1,0001

Tabela 8. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para a mistura 6.

Temperatura (°C)								
B:80 C:20 P:20	15	20	30	40	50	60	70	80
K	0,1182	0,0872	0,0603	0,0397	0,0292	0,0215	0,0193	0,0149
n	0,9788	0,9913	0,9762	0,9808	0,9733	0,9737	0,9430	0,9447
μ (cP)	109,6	83,9	54,2	36,3	25,6	18,9	14,5	11,2
R^2 (%)	99,936	99,987	99,979	99,986	99,986	99,977	99,975	99,978
χ^2	0,0126	0,0020	0,0023	0,0006	0,0002	0,0002	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$
SQR	0,1256	0,0217	0,0351	0,0075	0,0029	0,0022	0,0007	0,0002
EP	0,1068	0,0425	0,0468	0,0231	0,0149	0,0136	0,0090	0,0055
B_f	0,9881	0,9984	0,9967	0,9984	0,9991	0,9996	0,9997	0,9999

Tabela 9. Parâmetros do modelo da Lei da Potência para a mistura 7.

Temperatura (°C)								
B:20 C:80 P:20	15	20	30	40	50	60	70	80
K	0,0935	0,0794	0,0513	0,0366	0,0253	0,0185	0,0160	0,0134
n	1,0067	0,9901	0,9927	0,9844	0,9906	0,9935	0,9693	0,9572
μ (cP)	96,5	75,9	49,6	33,9	24,2	17,9	13,7	10,7
R^2 (%)	99,976	99,996	99,986	99,981	99,987	99,965	99,959	99,934
χ^2	0,0033	0,0006	0,0012	0,0007	0,0002	0,0002	0,0001	$8,5 \cdot 10^{-5}$
SQR	0,0296	0,0069	0,0170	0,0089	0,0025	0,0026	0,0008	0,0004
EP	0,0544	0,0231	0,0337	0,0252	0,0139	0,0153	0,0103	0,0084
B_f	0,9968	1,0003	0,9982	1,0002	0,9991	0,9996	0,9999	0,9999

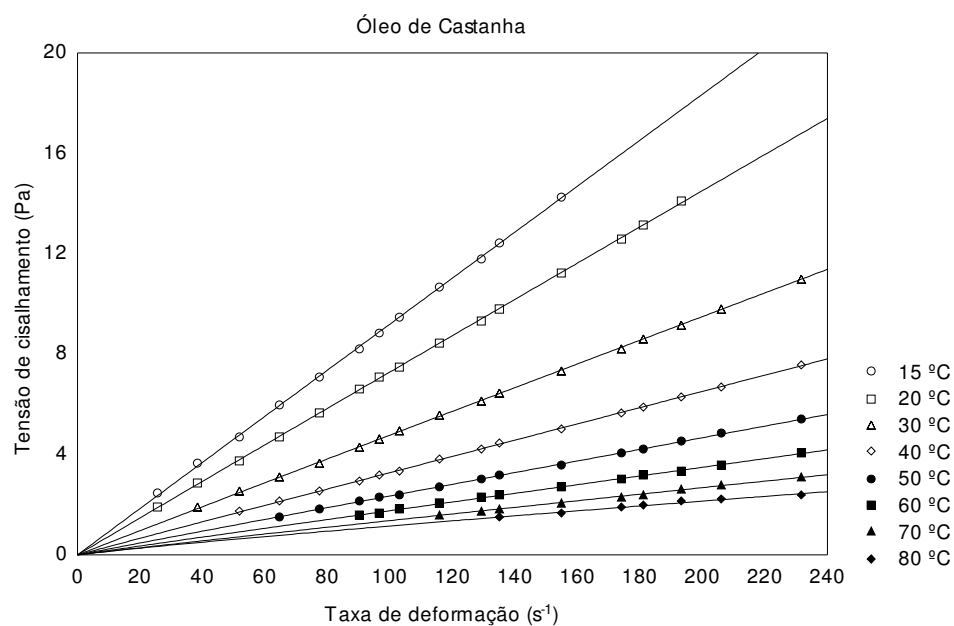


Figura 1. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para o óleo de castanha-do-brasil.

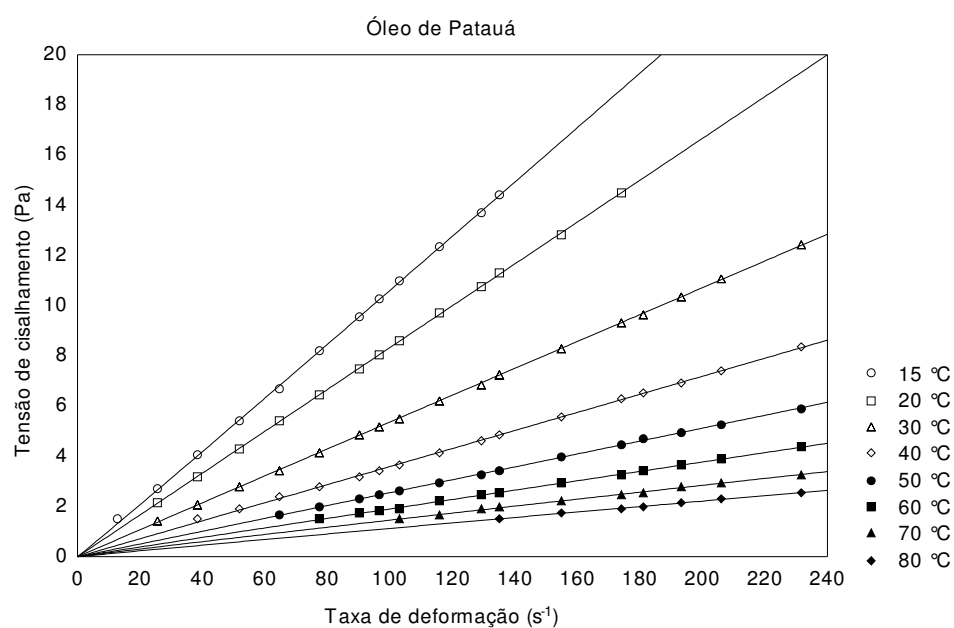


Figura 2. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para o óleo de patauá.

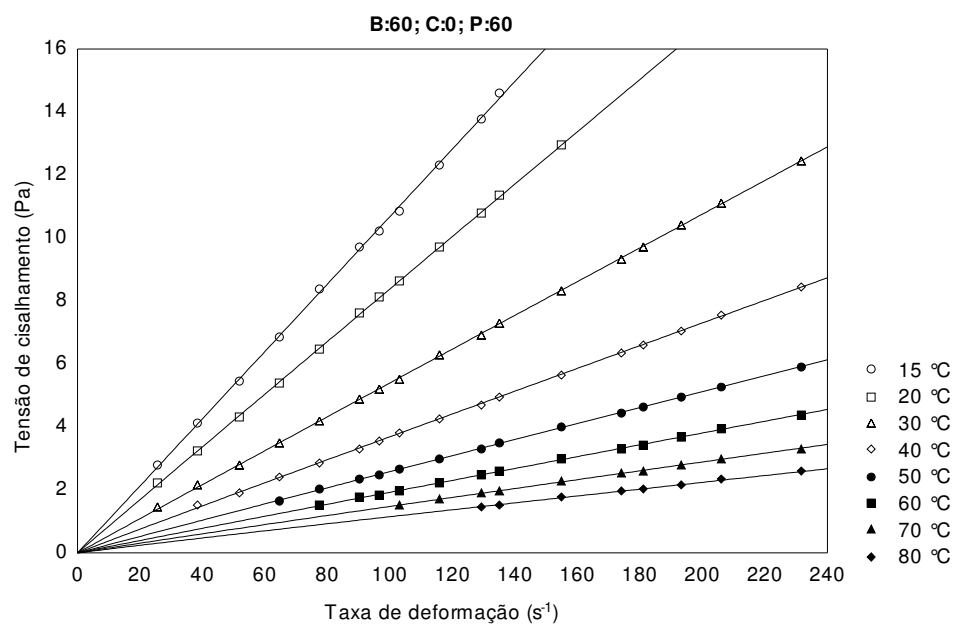


Figura 3. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para a mistura 1.

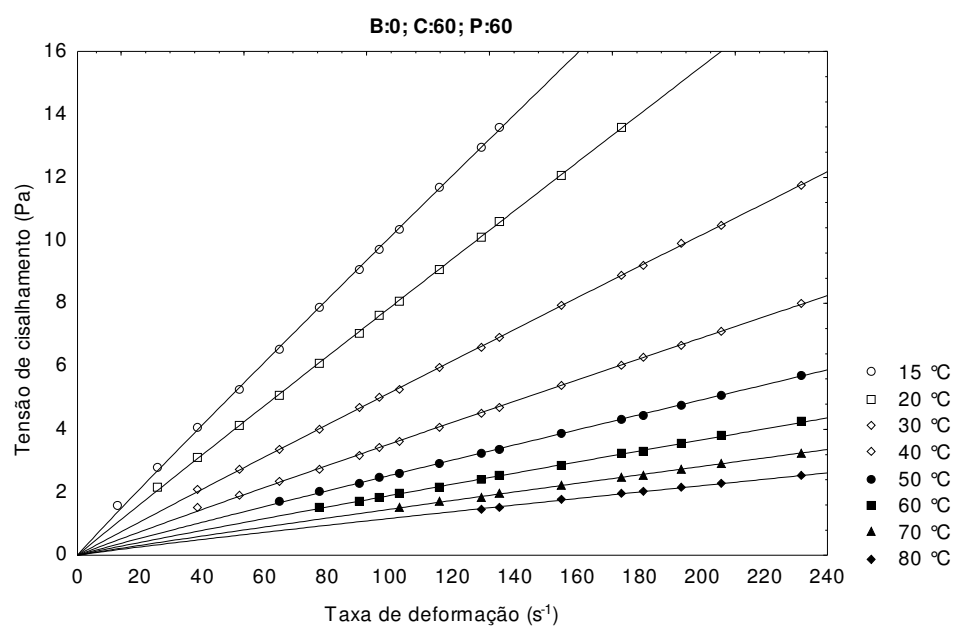


Figura 4. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para a mistura 2.

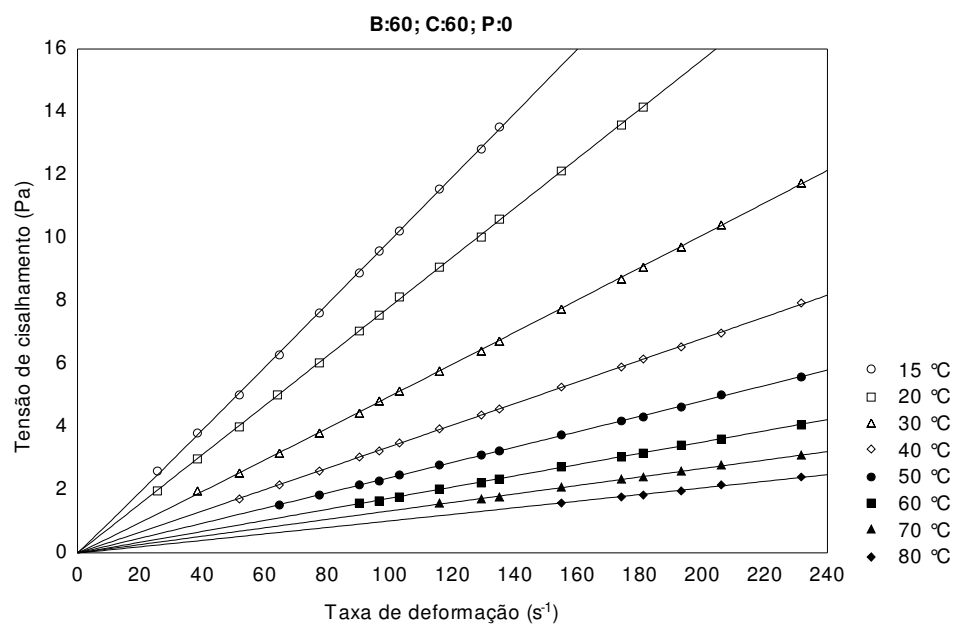


Figura 5. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para a mistura 3.

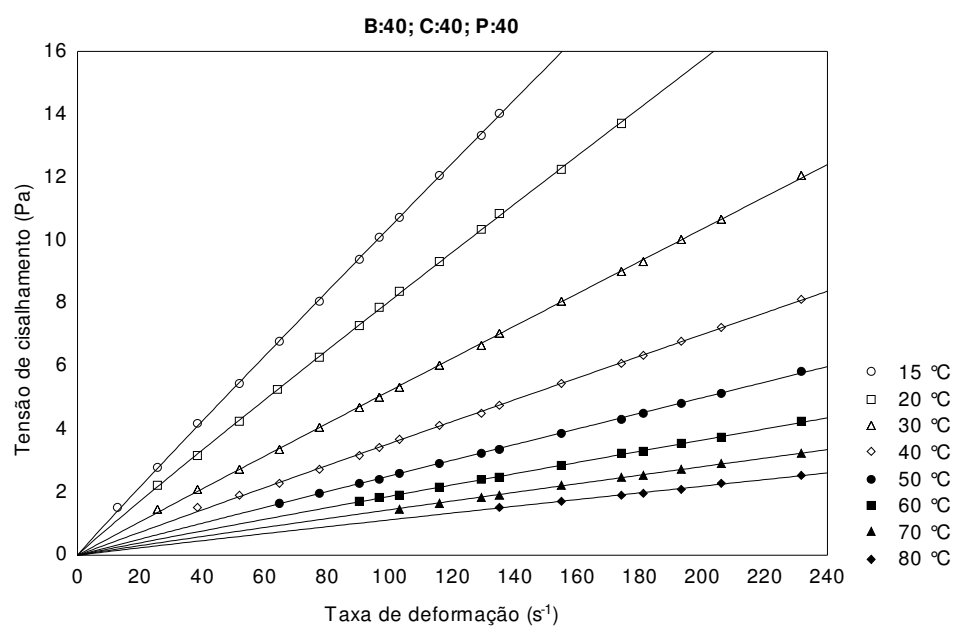


Figura 6. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para a mistura 4.

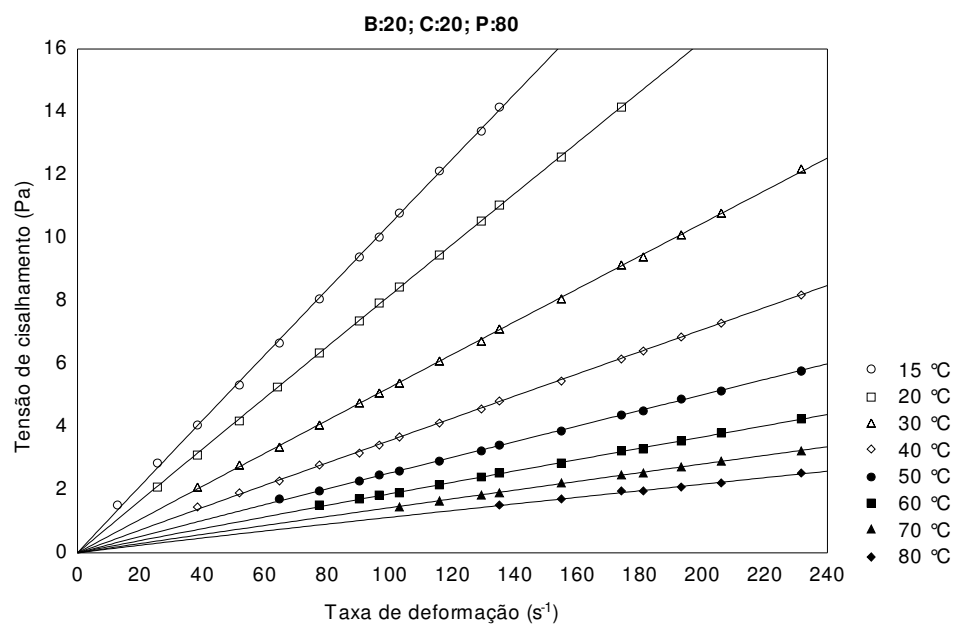


Figura 7. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para a mistura 5.

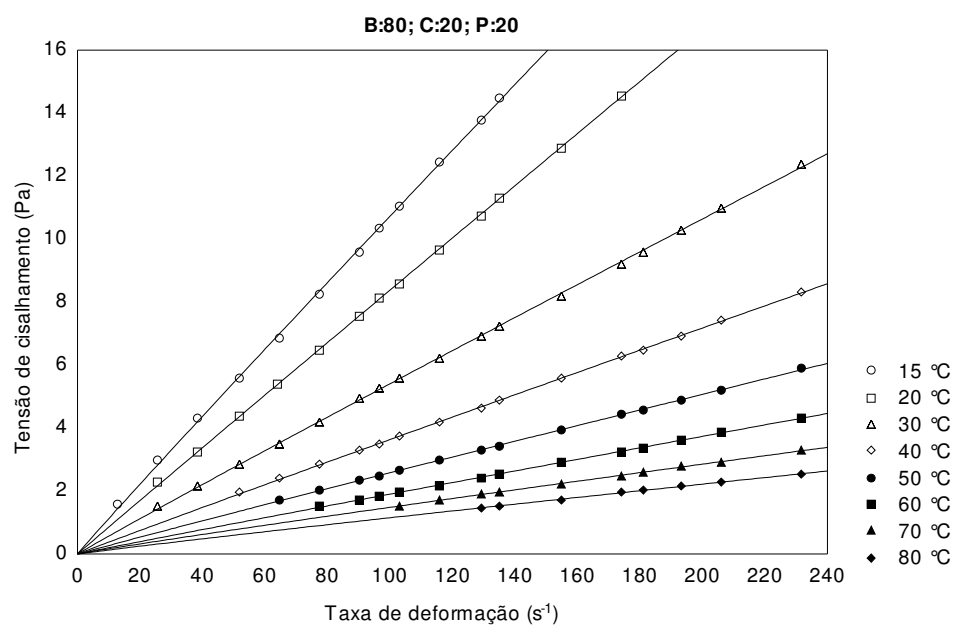


Figura 8. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para a mistura 6.

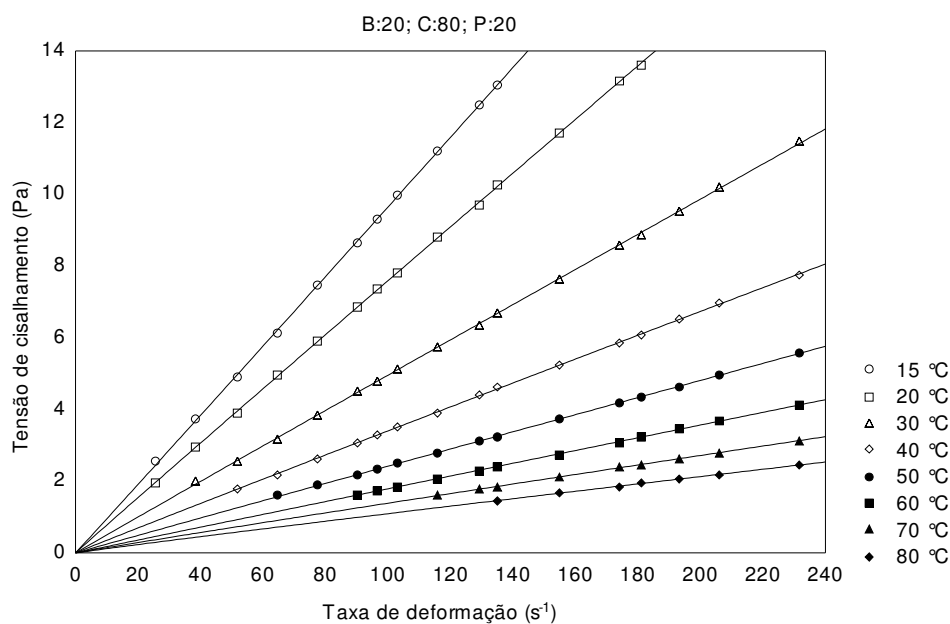


Figura 9. Influência da temperatura descrita pelo modelo da Lei da Potência para a mistura 7.

Tabela 10. Parâmetros do modelo de Newton para o óleo de buriti (OB).

OB	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
μ	0,1113	0,0868	0,0546	0,0366	0,0258	0,0189	0,0143	0,0111
$R^2(\%)$	99,946	99,987	99,990	99,981	99,977	99,899	99,887	99,649
χ^2	0,0093	0,0015	0,0011	0,0008	0,0004	0,0008	0,0004	0,0005
SQR	0,0935	0,0169	0,0172	0,0125	0,0053	0,0097	0,0035	0,0034
EP	0,0967	0,0392	0,0328	0,0289	0,0202	0,0285	0,0196	0,0219
B_f	0,9858	1,0018	0,9939	0,9980	0,9973	0,9934	0,9964	0,9995

Tabela 11. Parâmetros do modelo de Newton para o óleo de castanha-do-brasil (OC).

OC	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
μ	0,0919	0,0727	0,0476	0,0326	0,0234	0,0175	0,0135	0,0108
$R^2(\%)$	99,985	99,990	99,987	99,989	99,985	99,973	99,880	99,590
χ^2	0,0020	0,0014	0,0008	0,0003	0,0002	0,0001	0,0003	0,0023
SQR	0,0219	0,0209	0,0141	0,0047	0,0027	0,0019	0,0024	0,0142
EP	0,0446	0,0386	0,0307	0,0184	0,0146	0,0132	0,0173	0,0487
B_f	0,9963	0,9966	0,9962	0,9969	0,9969	0,9980	0,9971	0,9951

Tabela 12. Parâmetros do modelo de Newton para o óleo de pataúá (OP).

OP	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
μ	0,1068	0,0828	0,0533	0,0363	0,0258	0,0189	0,0144	0,0113
$R^2(\%)$	99,981	99,985	99,942	99,989	99,981	99,994	99,953	99,911
χ^2	0,0030	0,0020	0,0060	0,0004	0,0003	$4,7 \cdot 10^{-5}$	0,0001	0,0001
SQR	0,0302	0,0247	0,0973	0,0059	0,0042	0,0005	0,0015	0,0009
EP	0,0549	0,0454	0,0779	0,0206	0,0181	0,0068	0,0129	0,0116
B_f	0,9887	0,9941	0,9855	0,9972	0,9988	0,9992	0,9978	0,9982

Tabela 13. Parâmetros do modelo de Newton para a mistura 1.

B:60 C:0 P:60	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
μ	0,01068	0,0838	0,0538	0,0366	0,0257	0,0191	0,0145	0,0112
$R^2(\%)$	99,945	99,989	99,991	99,971	99,985	99,964	99,881	99,797
χ^2	0,0081	0,0012	0,001	0,0012	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002
SQR	0,0819	0,0136	0,016	0,0191	0,0033	0,0036	0,0037	0,002
EP	0,0905	0,0352	0,0316	0,0356	0,0159	0,0174	0,0203	0,0172
B_f	0,9995	0,9968	0,9942	0,9923	0,9972	0,9963	0,996	0,9973

Tabela 14. Parâmetros do modelo de Newton para a mistura 2.

B:0 C:60 P:60	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
μ	0,1009	0,0784	0,0511	0,0348	0,0249	0,0185	0,0142	0,0111
$R^2(\%)$	99,919	99,965	99,963	99,869	99,837	99,723	99,713	99,200
χ^2	0,0127	0,0041	0,0031	0,005	0,0025	0,002	0,0009	0,001
SQR	0,1404	0,0501	0,0470	0,0755	0,0327	0,0248	0,0083	0,0073
EP	0,1129	0,0646	0,0559	0,0709	0,0501	0,0454	0,0304	0,0323
B_f	0,9759	0,9902	0,9918	0,9833	0,9894	0,9895	0,994	0,9942

Tabela 15. Parâmetros do modelo de Newton para a mistura 3.

B:60 C:60 P:0	Temperatura (°C)							
	15	20	30	40	50	60	70	80
μ	0,0992	0,0782	0,0502	0,034	0,0241	0,0176	0,0134	0,0103
$R^2(\%)$	99,966	99,992	99,962	99,986	99,980	99,964	99,972	99,933
χ^2	0,0044	0,0011	0,0033	0,0004	0,0003	0,0002	$7,6 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$
SQR	0,0441	0,015	0,0498	0,0068	0,0042	0,0026	0,0006	0,0002
EP	0,0664	0,034	0,0576	0,0221	0,0179	0,0156	0,0087	0,0072
B_f	1,0026	1,0023	1,0048	1,0031	1,0027	1,0027	1,0000	1,0005

Tabela 16. Parâmetros do modelo de Newton para a mistura 4.

Temperatura (°C)								
B:40 C:40 P:40	15	20	30	40	50	60	70	80
μ	0,1042	0,0800	0,0519	0,0352	0,0251	0,0184	0,0142	0,0110
$R^2(\%)$	99,954	99,891	99,974	99,945	99,968	99,861	99,810	99,776
χ^2	0,0078	0,0134	0,0026	0,0022	0,0005	0,0009	0,0006	0,0002
SQR	0,0865	0,1608	0,0416	0,0333	0,0067	0,0104	0,0055	0,0015
EP	0,0887	0,1157	0,0510	0,0471	0,0228	0,0307	0,0248	0,016
B_f	0,9821	0,9866	0,9892	0,9896	0,9959	0,9938	0,9951	0,9977

Tabela 17. Parâmetros do modelo de Newton para a mistura 5.

Temperatura (°C)								
B:20 C:20 P:80	15	20	30	40	50	60	70	80
μ	0,1044	0,0816	0,0524	0,0355	0,0252	0,0185	0,0142	0,0109
$R^2(\%)$	99,957	99,991	99,983	99,973	99,954	99,892	99,912	99,463
χ^2	0,0074	0,0012	0,0015	0,0011	0,0007	0,0008	0,0002	0,0005
SQR	0,0823	0,0145	0,0235	0,0169	0,0098	0,01	0,0026	0,0035
EP	0,0865	0,0348	0,0396	0,0336	0,0275	0,0288	0,0171	0,0244
B_f	0,9855	0,9983	0,9950	0,9933	0,9951	0,9935	0,9967	0,9972

Tabela 18. Parâmetros do modelo de Newton para a mistura 6.

Temperatura (°C)								
B:80 C:20 P:20	15	20	30	40	50	60	70	80
μ	0,1072	0,0836	0,0534	0,0360	0,0255	0,0188	0,0144	0,0111
$R^2(\%)$	99,914	99,985	99,942	99,957	99,926	99,915	99,647	99,656
χ^2	0,0154	0,0020	0,0059	0,0016	0,0012	0,0006	0,0011	0,0004
SQR	0,1697	0,0245	0,0953	0,0227	0,0159	0,0082	0,0103	0,0033
EP	0,1242	0,0452	0,0772	0,0403	0,0350	0,0261	0,0338	0,0218
B_f	0,9785	0,9956	0,9863	0,9928	0,9928	0,9944	0,9932	0,9961

Tabela 19. Parâmetros do modelo de Newton para a mistura 7.

Temperatura (°C)								
B:20 C:80 P:20	15	20	30	40	50	60	70	80
μ	0,0965	0,0757	0,0494	0,0338	0,0241	0,0178	0,0136	0,0107
$R^2(\%)$	99,973	99,990	99,982	99,962	99,980	99,962	99,867	99,746
χ^2	0,0032	0,0013	0,0014	0,0012	0,0012	0,0212	0,0003	0,0002
SQR	0,0328	0,0178	0,0215	0,0177	0,0159	0,2341	0,0027	0,0016
EP	0,0573	0,037	0,0379	0,0356	0,035	0,1458	0,0186	0,0165
B_f	0,9989	0,9964	0,9956	0,9957	0,9928	0,9586	0,9971	0,9976

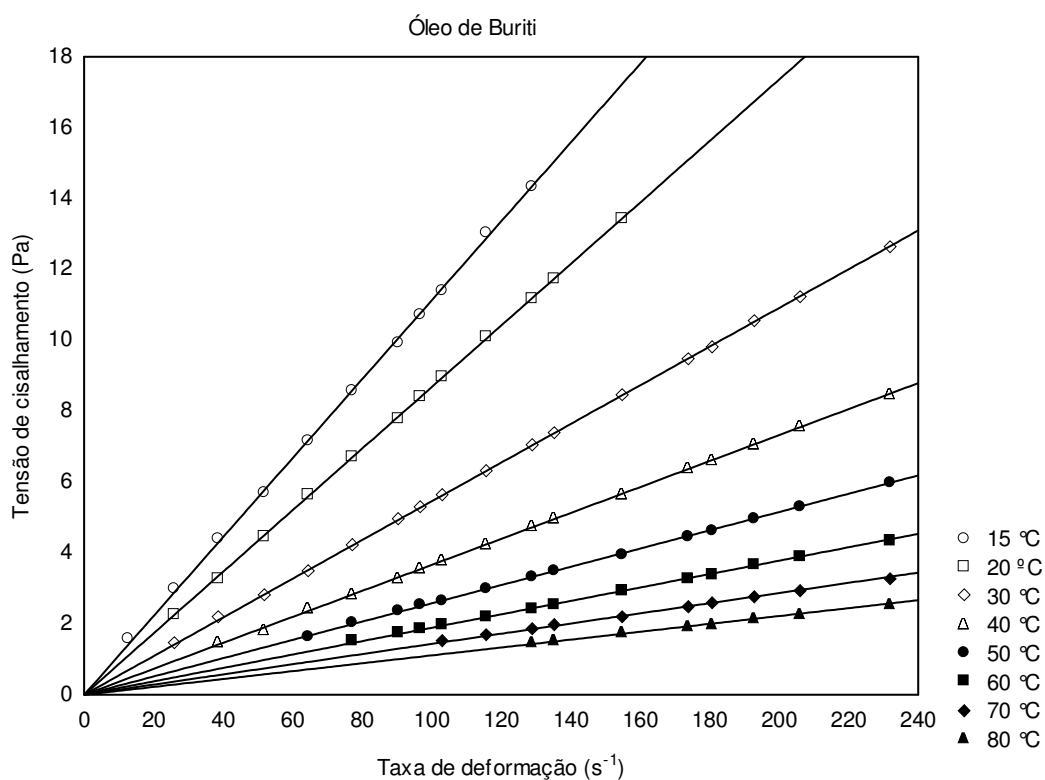


Figura 10. Influência da temperatura descrita pelo modelo de Newton para o óleo de buriti.

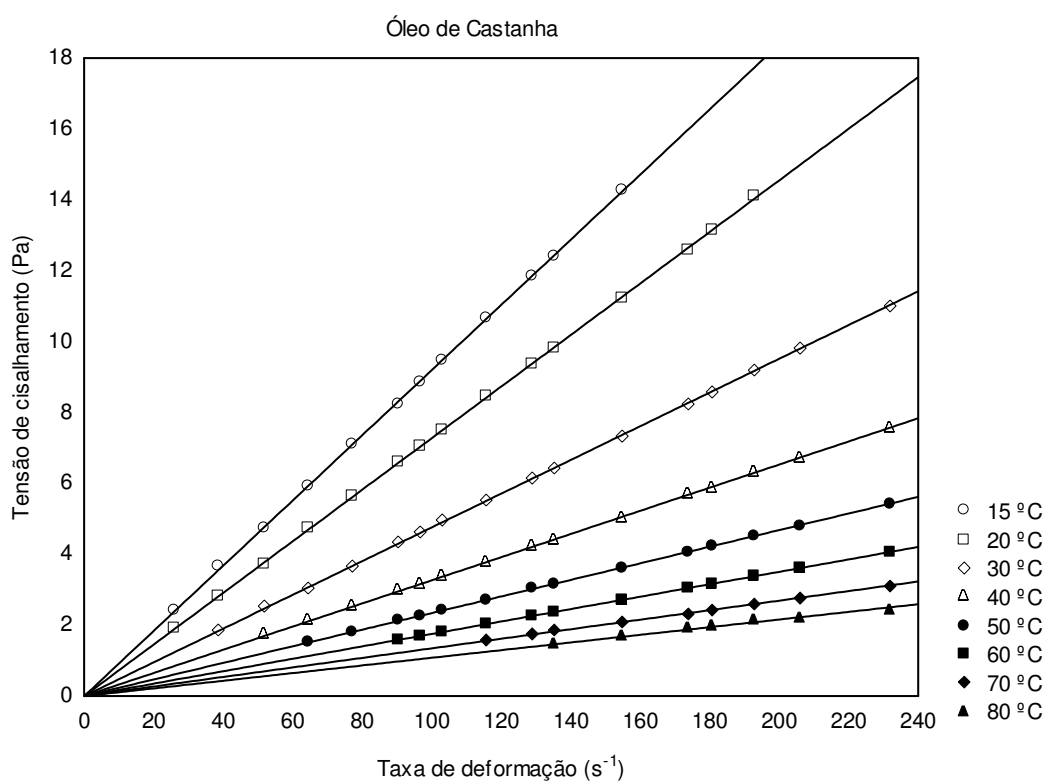


Figura 11. Influência da temperatura descrita pelo modelo de Newton para o óleo de castanha-do-brasil.

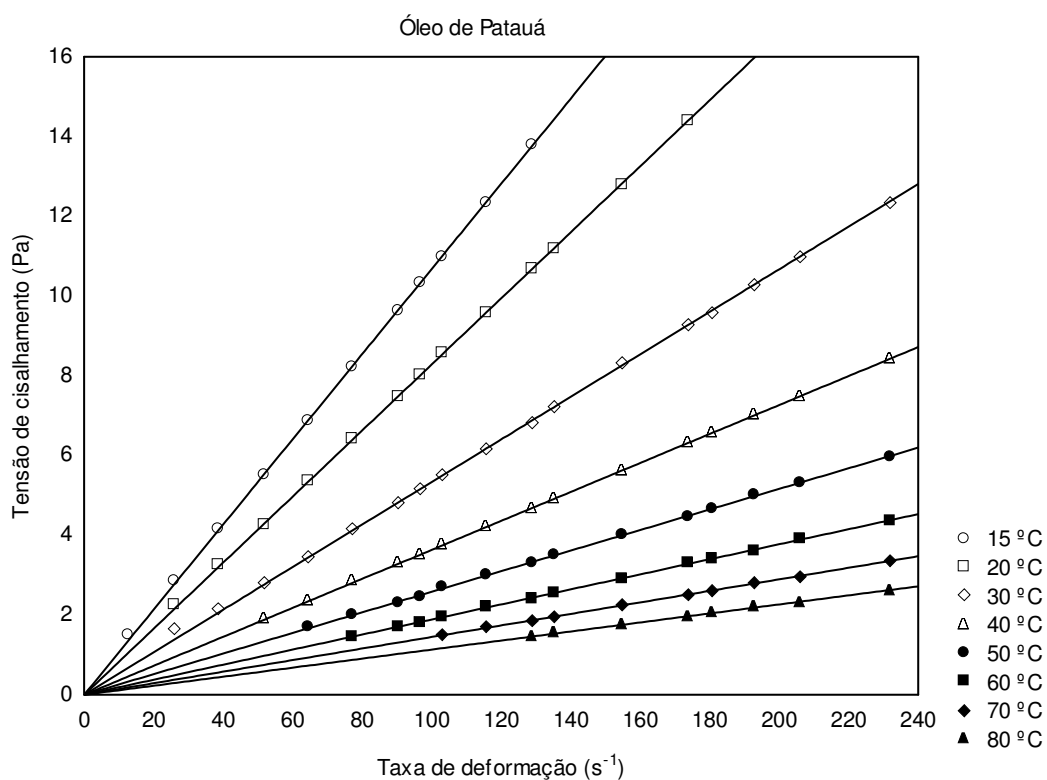


Figura 12. Influência da temperatura descrita pelo modelo de Newton para o óleo de patauá.

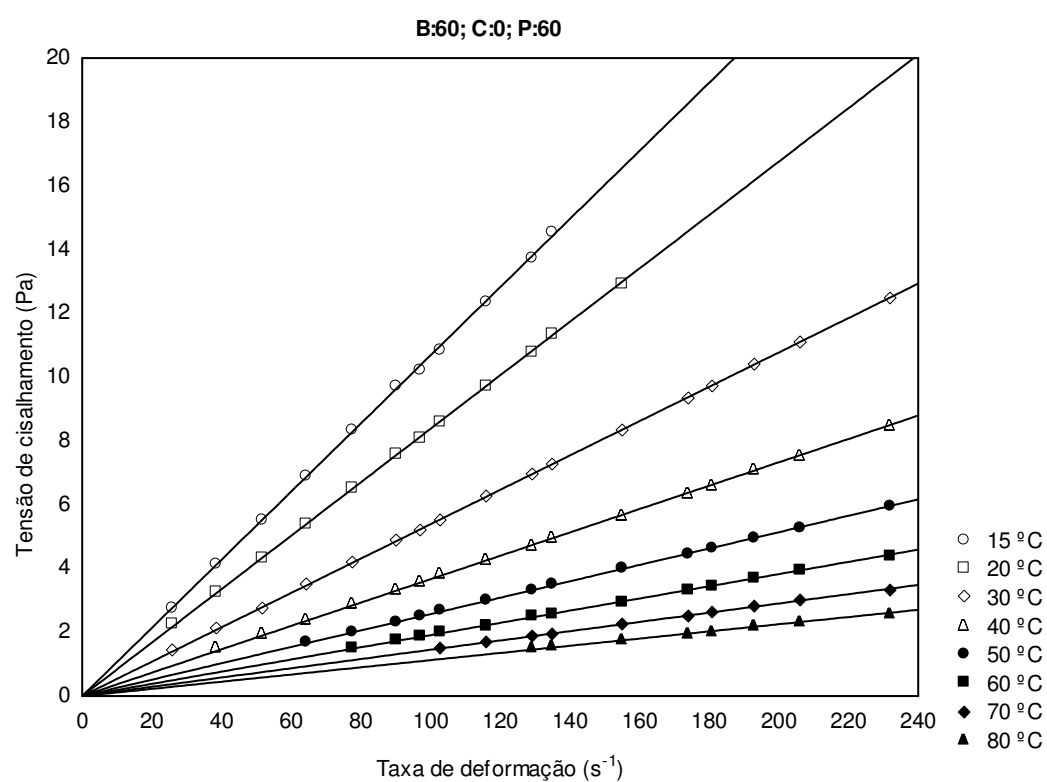


Figura 13. Influência da temperatura descrita pelo modelo de Newton para a mistura 1.

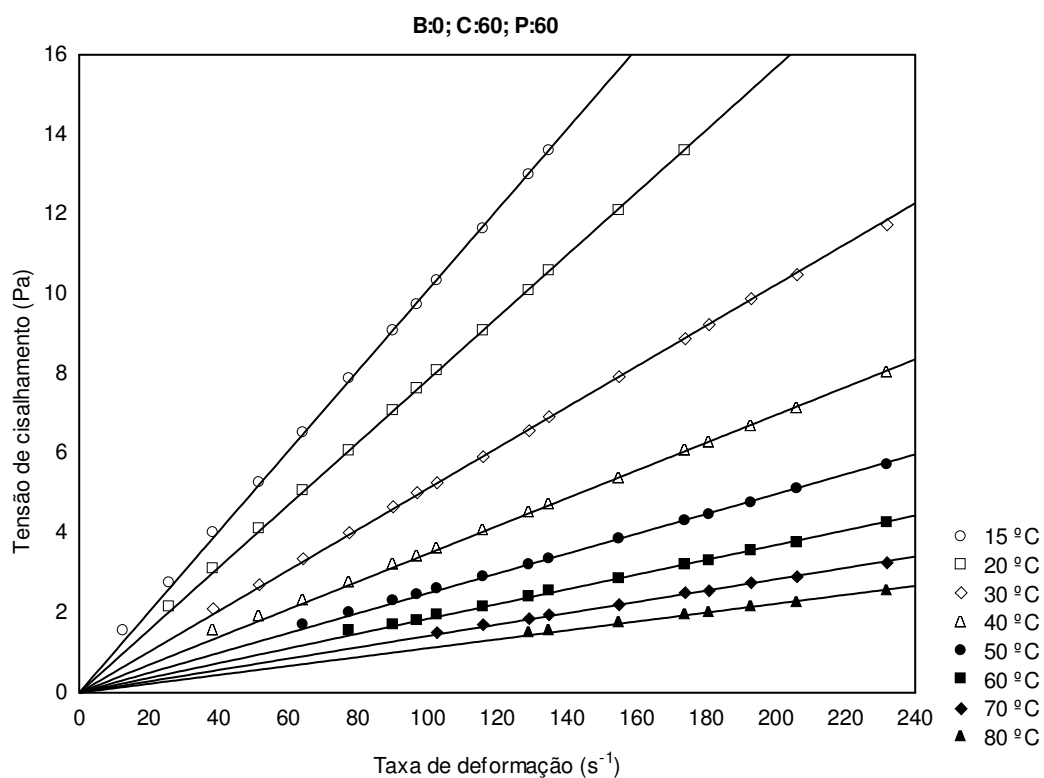


Figura 14. Influência da temperatura descrita pelo modelo de Newton para a mistura 2.

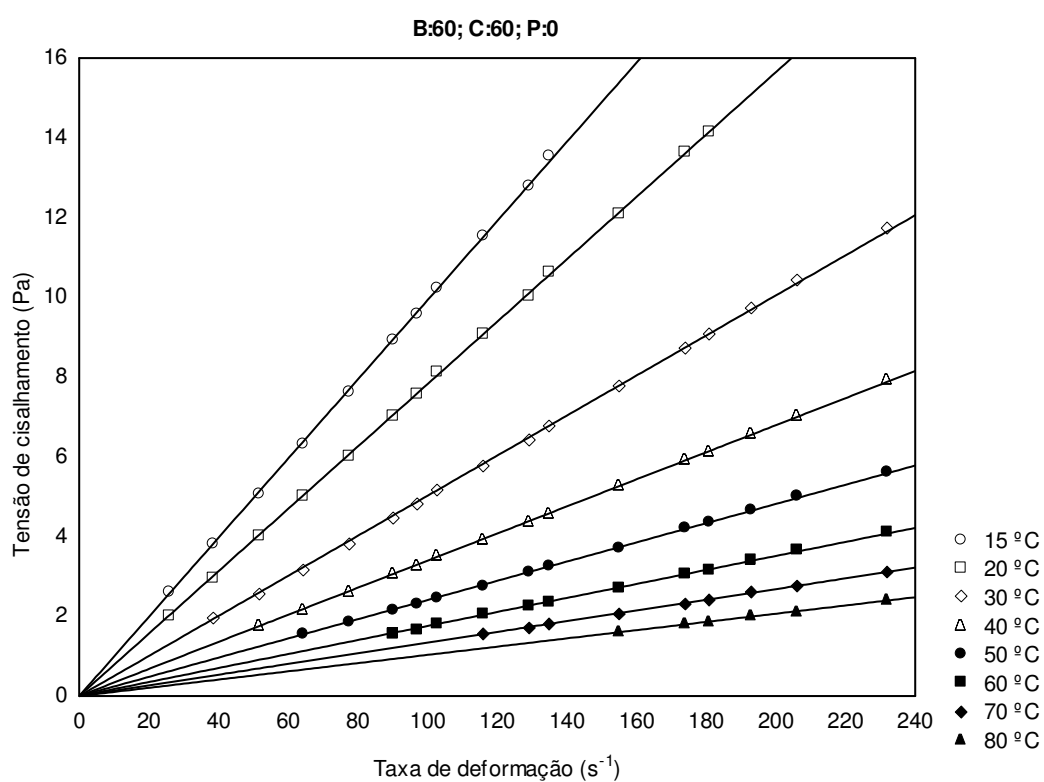


Figura 15. Influência da temperatura descrita pelo modelo de Newton para a mistura 3.

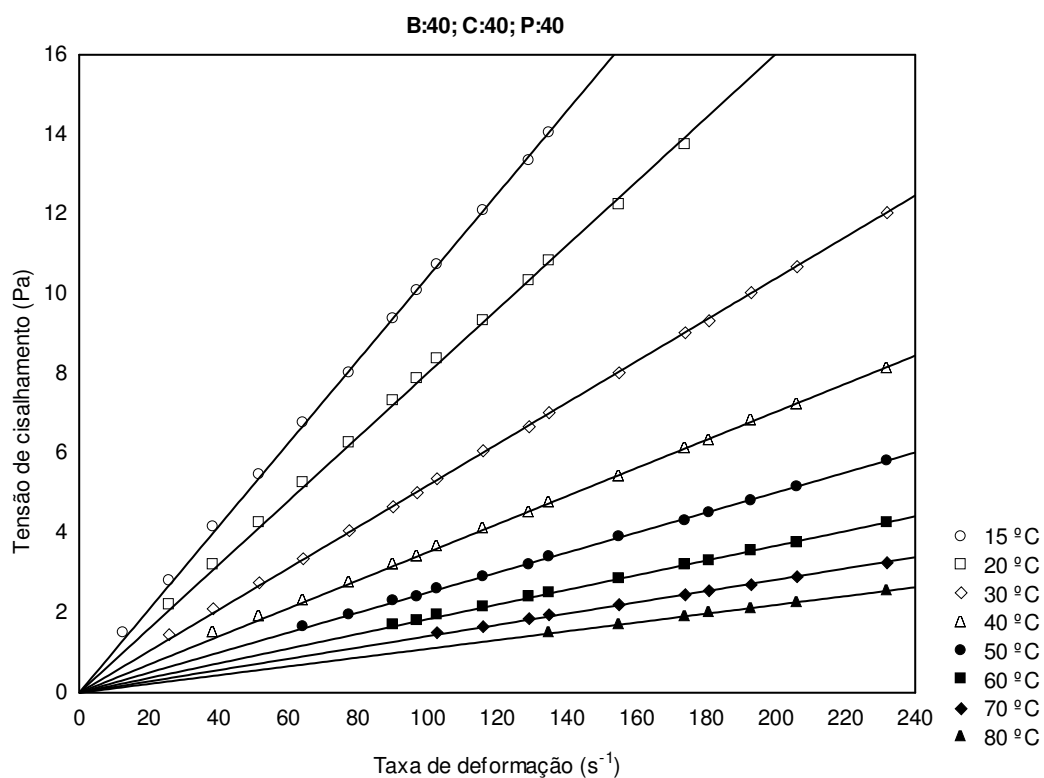


Figura 16. Influência da temperatura descrita pelo modelo de Newton para a mistura 4.

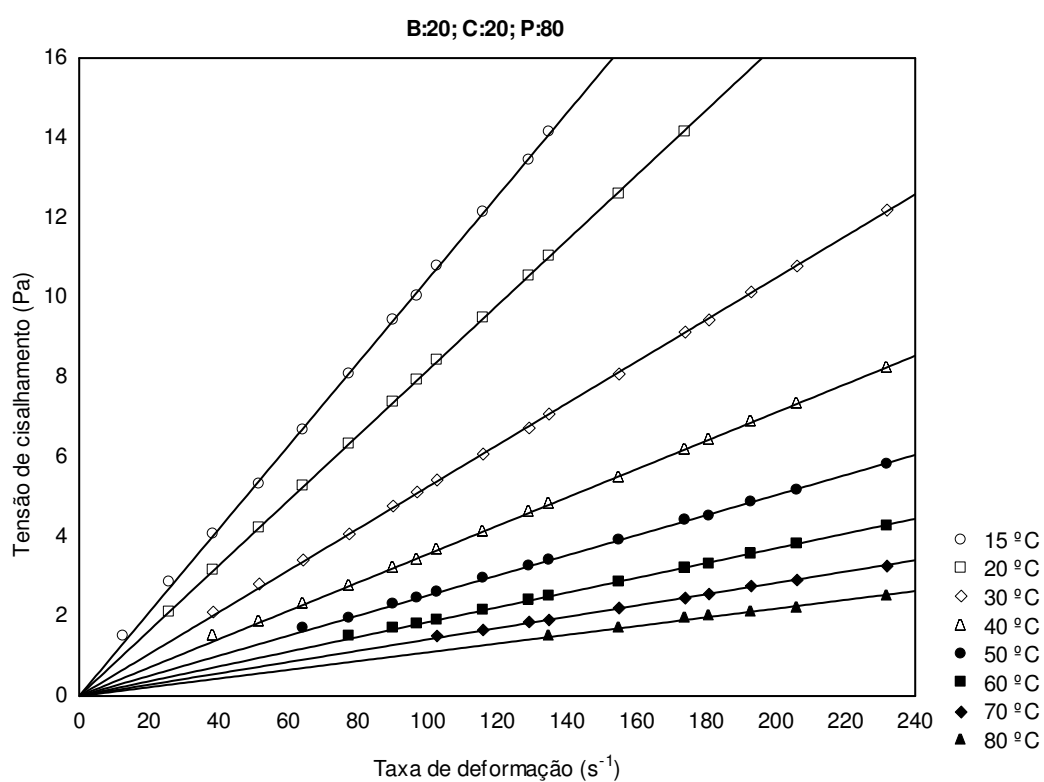


Figura 17. Influência da temperatura descrita pelo modelo de Newton para a mistura 5.

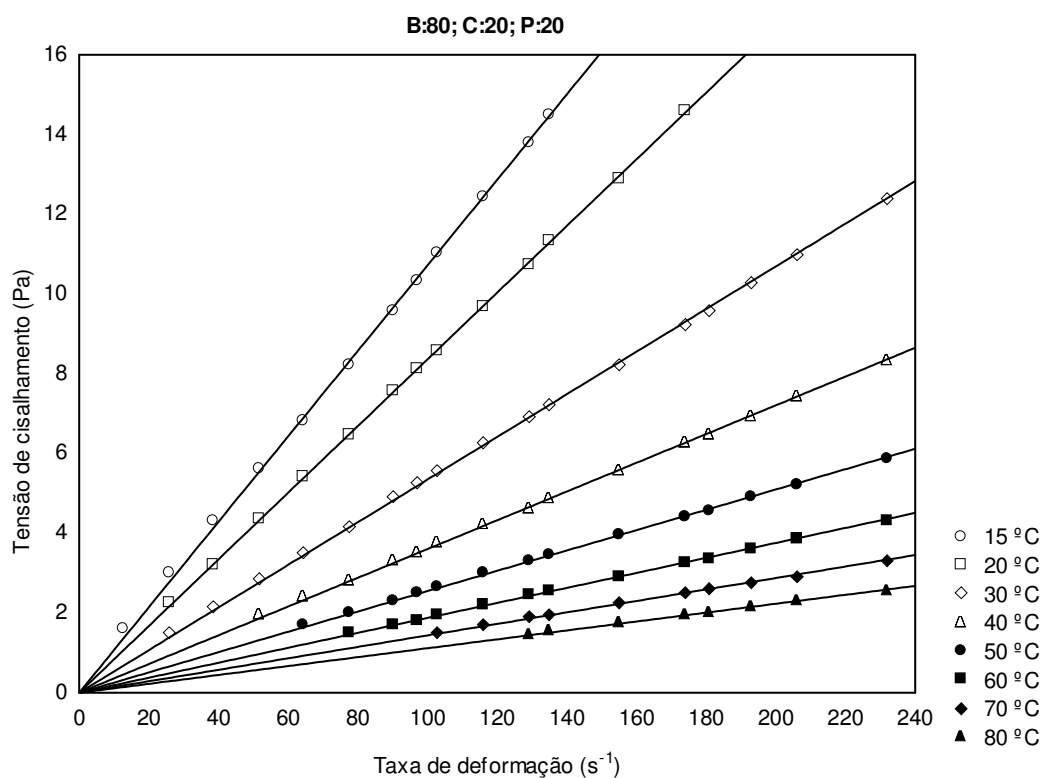


Figura 18. Influência da temperatura descrita pelo modelo de Newton para a mistura 6.

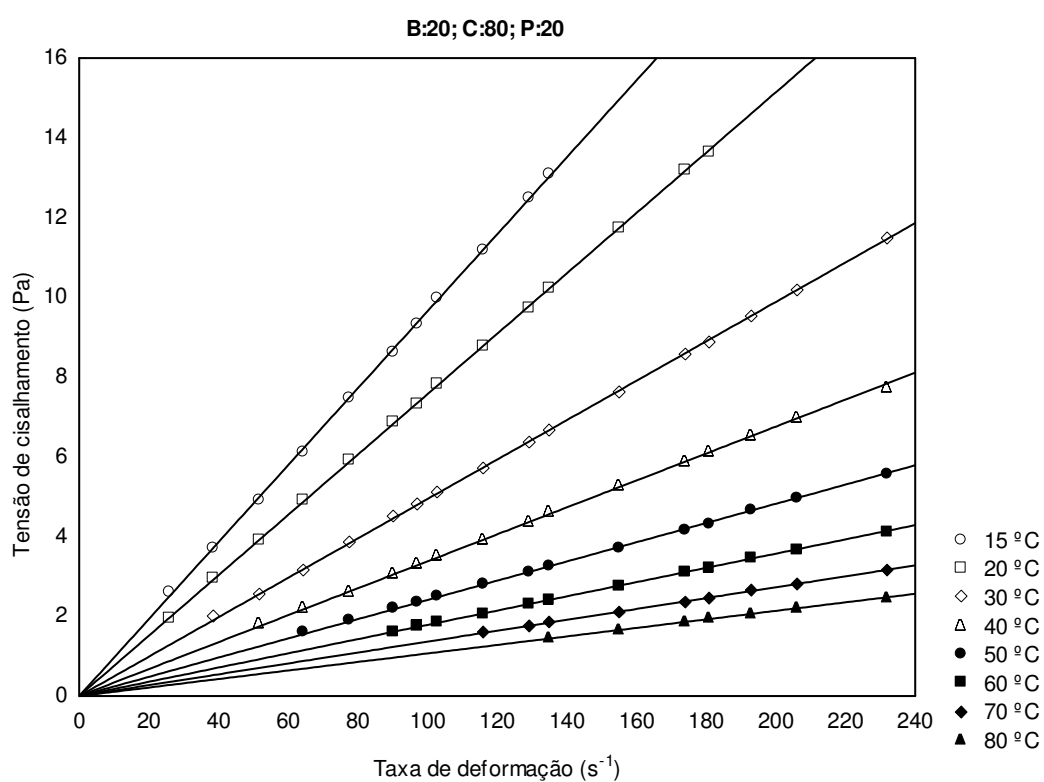


Figura 19. Influência da temperatura descrita pelo modelo de Newton para a mistura 7.

Apendice C – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação

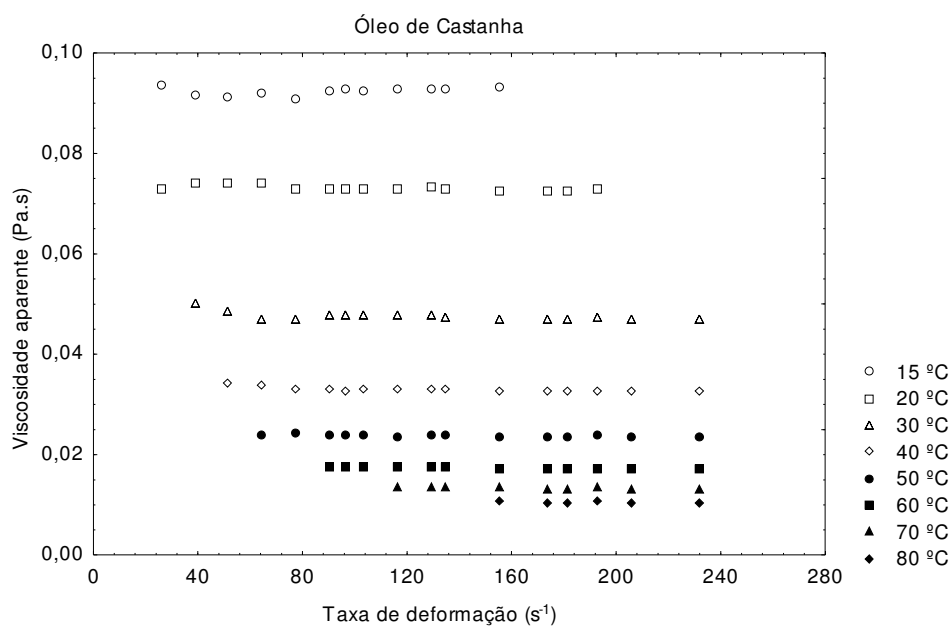


Figura 1. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para o óleo de castanha-do-brasil.

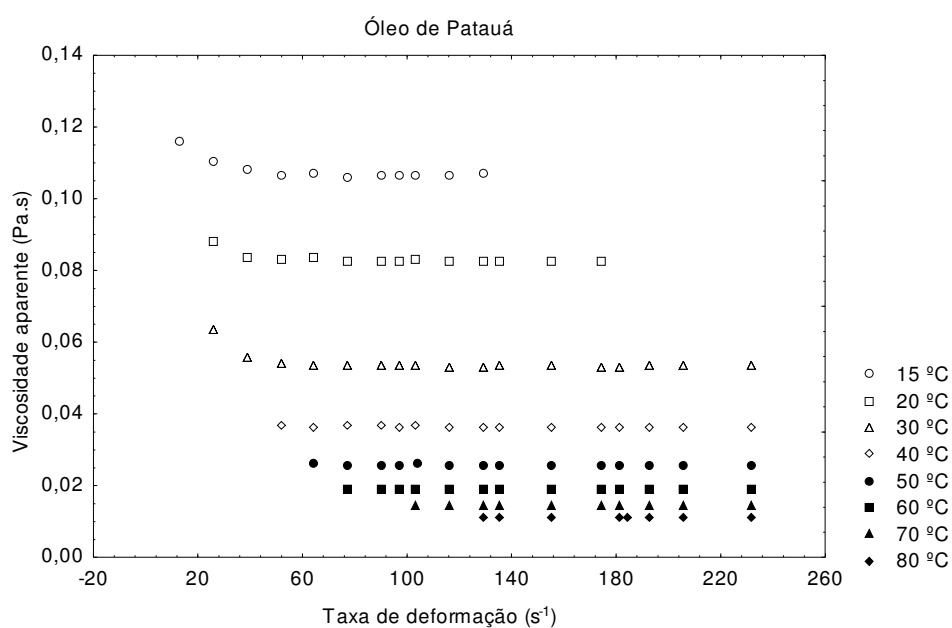


Figura 2. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para o óleo de pataúá.

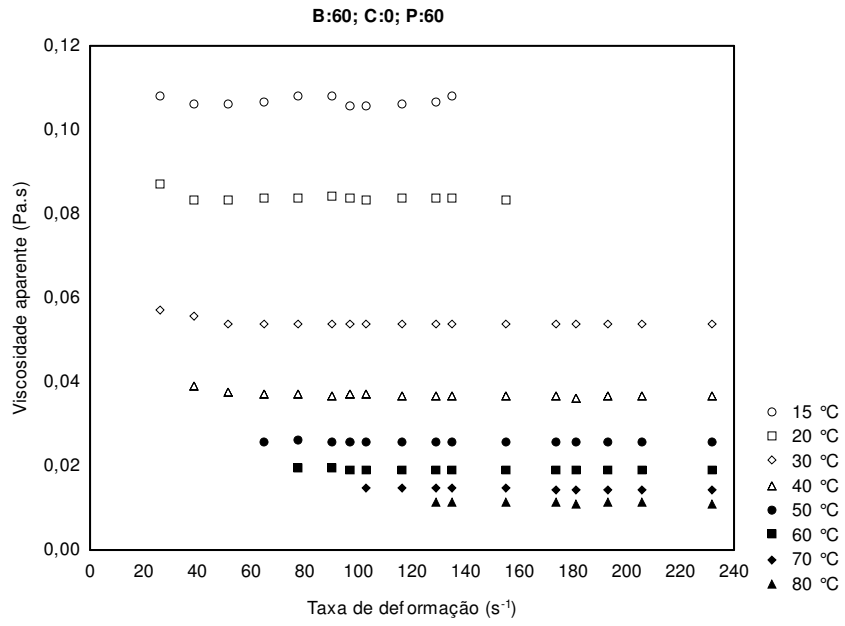


Figura 3. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para a mistura 1.

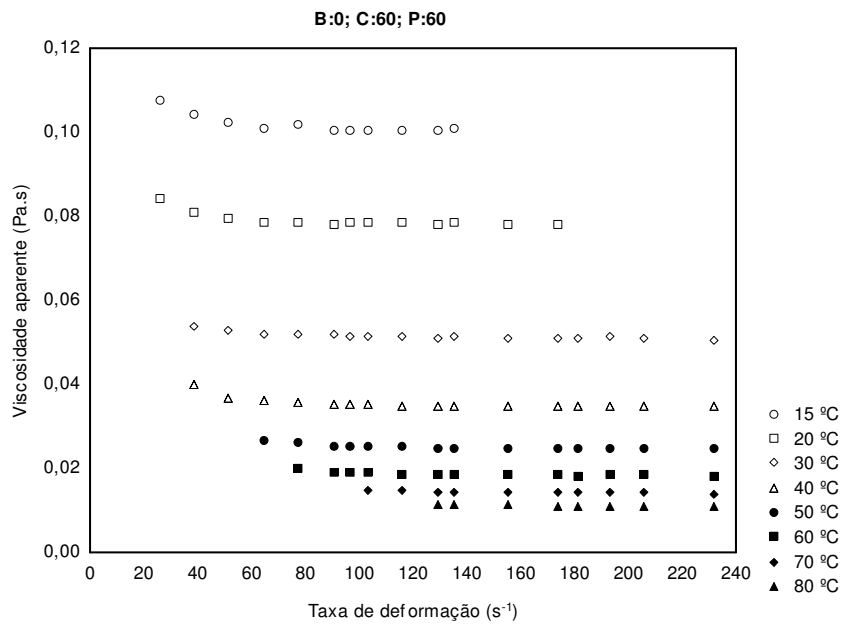


Figura 4. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para a mistura 2.

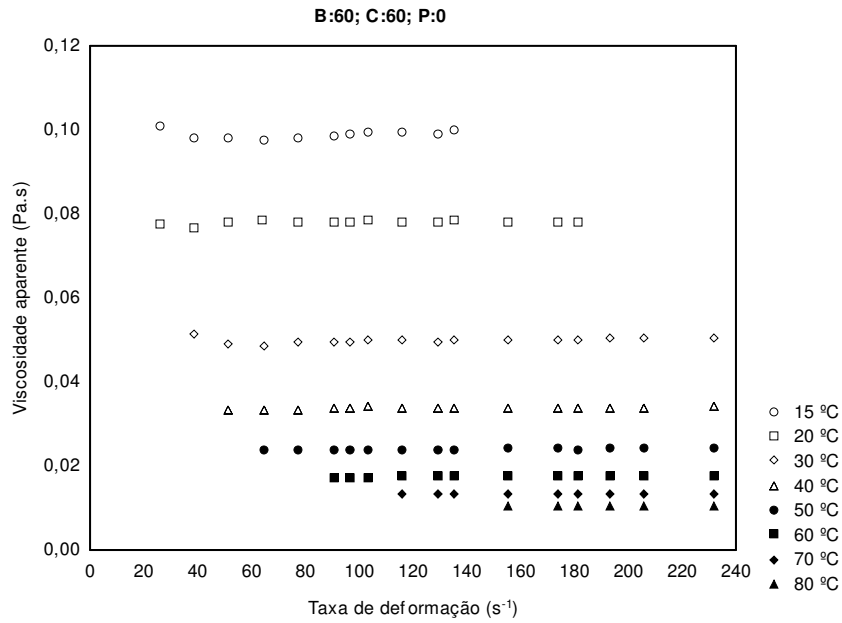


Figura 5. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para a mistura 3.

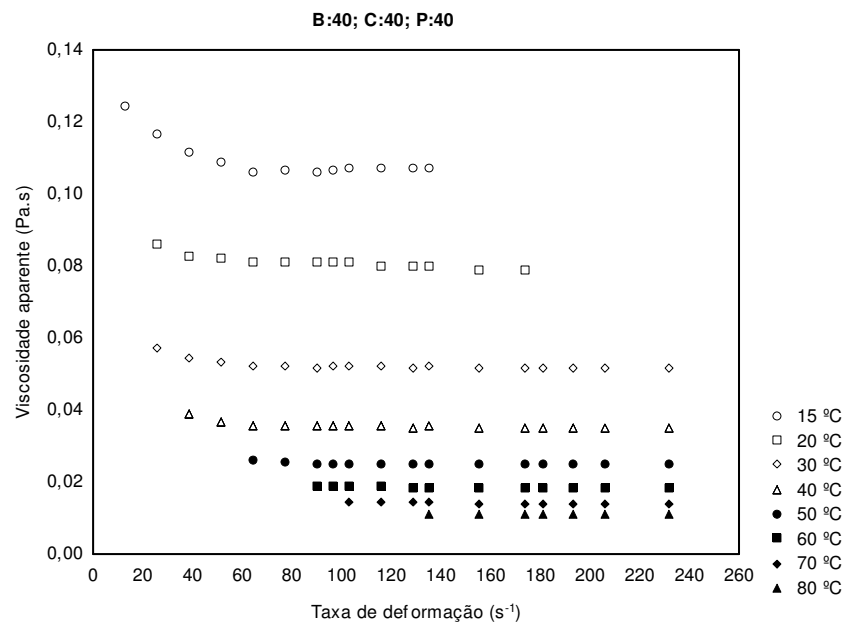


Figura 6. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para a mistura 4.

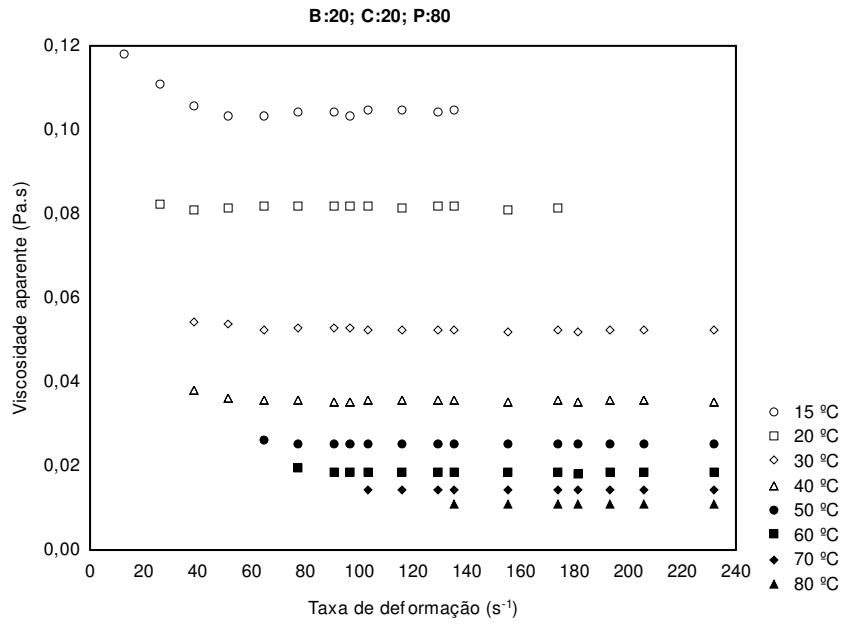


Figura 7. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para a mistura 5.

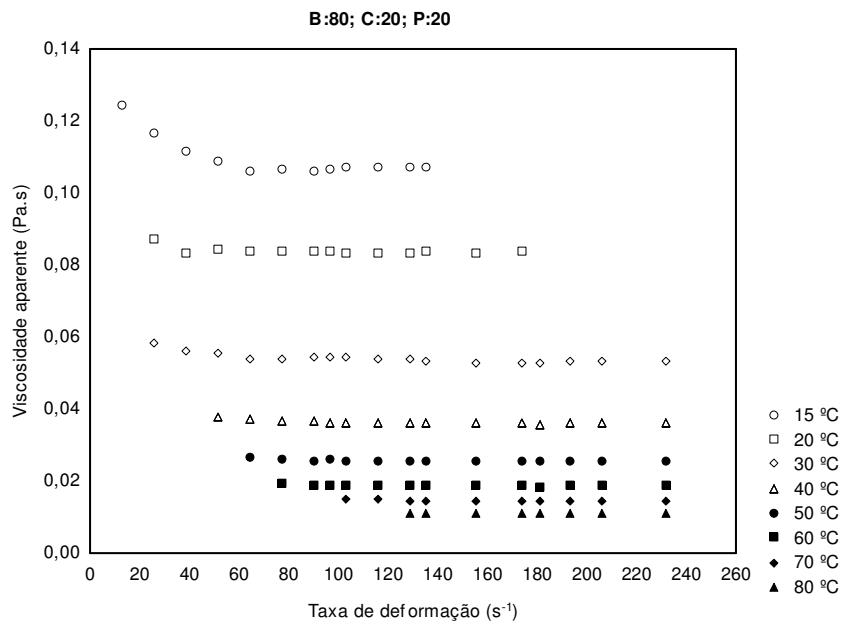


Figura 8. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para a mistura 6.

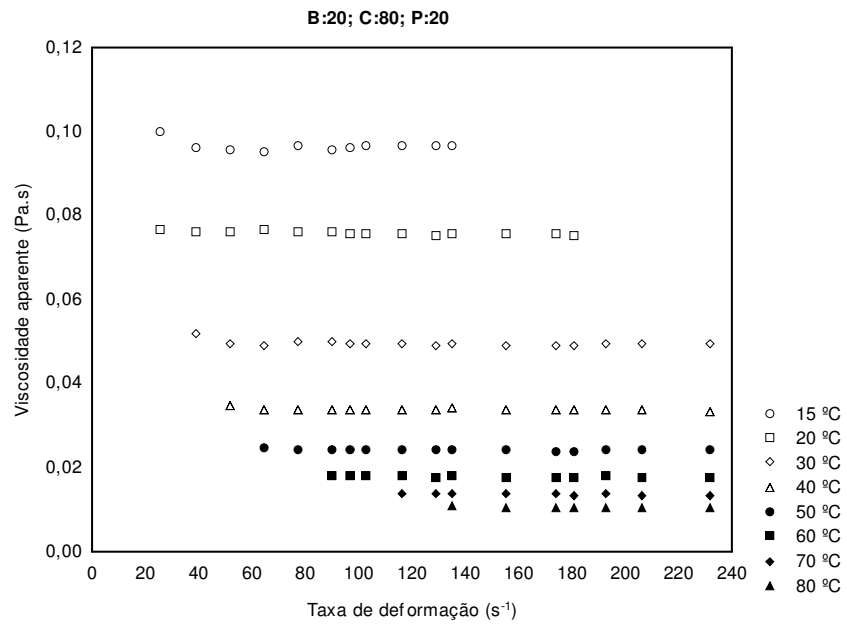


Figura 9. Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para a mistura 7.

Apêndice D – Efeito da temperatura sobre a curva de escoamento

Tabela 1. Efeito da temperatura sobre a curva de escoamento.

Amostras	Ea (kJ/mol)	η_0	χ^2	R ² (%)
Mistura 1 (B:60; C:60; P:0)	3499,719	-14,4380	0,002119	99,725
Mistura 2 (B:40; C:40; P:40)	3390,576	-14,1296	0,002863	99,605
Mistura 5 (B:80; C:20; P:20)	3511,114	-14,4974	0,002153	99,723
Mistura 7 (B:60; C:60; P:0)	3425,276	-14,2768	0,002045	99,723