

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS

ANNA LAURA D'AMICO DE ALCÂNTARA

**ANÁLISE REOLÓGICA DE AZEITE DE ABACATE EM DIFERENTES
TEMPERATURAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2014

ANNA LAURA D'AMICO DE ALCÂNTARA

ANÁLISE REOLÓGICA DE AZEITE DE ABACATE EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso Superior de Tecnologia em Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Admilson Lopes Vieira
Coorientador: Prof. Dr. Fernando da Silva Alves

LONDRINA
2014

Dedico este trabalho à minha família, em especial ao meu marido e meus filhos queridos pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Admilson e coorientador Prof. Dr. Fernando pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

A Prof. Dr^a. Ana Flavia pelas orientações dadas durante toda a realização dos trabalhos.

A Prof. Dr^a. Lyssa pela compreensão e apoio para sucesso do trabalho.

As amigas queridas adquiridas durante esta trajetória.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio e realizar este sonho.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

ALCÂNTARA, Anna Laura D. **Análise reológico de azeite de abacate em diferentes temperaturas**. 2014. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

O abacate é um fruto abundante no Brasil, dessa forma, seu óleo pode ser um produto produzido nacionalmente com menor custo, substituindo o azeite de oliva na alimentação da população e na fabricação de alimentos, pois estudos mostram que a qualidade nutricional de ambos é semelhante. A análise reológica de novos produtos faz-se necessária para sua aplicação em processos industriais e desenvolvimento de novos produtos e equipamentos. O presente trabalho tem por objetivo reproduzir valores experimentais de viscosidade dinâmica do azeite de abacate, de diferentes fabricantes, em diferentes temperaturas. A viscosidade dos azeites foi analisada por um viscosímetro da marca Quimis, acoplado a um banho termostático com controle da temperatura. A partir dos resultados obtidos verificou-se que a viscosidade decresce acentuadamente com o aumento de temperatura para os óleos estudados, apresentando um comportamento de fluido Newtoniano, sendo assim o azeite de abacate pode ser usado como substituto de outros óleos vegetais agregando qualidade nutricional ao produto final.

Palavras-chave: Óleos vegetais. Viscosidade. Fluido Newtoniano.

ABSTRACT

ALCÂNTARA, Anna Laura D. **Rheological analysis of avocado oil at different temperatures**. 2014. 34 p. Completion of course work (Food Technology) - Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2014.

The avocado is a abundant fruit in Brazil, thus, its oil can be a product produced nationally at lower cost, substituting olive oil in the diet of the population and in food manufacturing, well studies show that the nutritional quality of both is similar . The rheological analysis of new products is necessary for their application in industrial processes and development of new products and equipment. This work aims to reproduce experimental values of dynamic viscosity of avocado oil from different manufacturers at different temperatures. The viscosity of the oils was analyzed by a viscometer of Quimis brand, coupled with a thermostatic bath with temperature control. From the results obtained it was found that the viscosity decreases sharply with increasing temperature for the oils studied, showing a Newtonian fluid behavior, therefore the avocado oil can be used as a replacement for other vegetable oils aggregating nutritional quality to the product end.

Keywords: Vegetable Oils. Viscosity. Newtonian Fluid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Óleos vegetais..... | 12 |
| Figura 2 – Fotografia de abacateiro e abacate | 13 |
| Figura 3 – Modelo de placas paralelas utilizado por Newton..... | 17 |
| Figura 4 – Classificação do comportamento reológico..... | 19 |
| Figura 5 – Fotografia do Viscosímetro e porta amostra..... | 24 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Dados para validação do viscosímetro..... | 26 |
| Tabela 2 – Viscosidade dos óleos vegetais | 31 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Viscosidade por rotação (RPM) do Azeite da marca 1..... | 27 |
| Gráfico 2 – Viscosidade por rotação (RPM) do Azeite da marca 2..... | 28 |
| Gráfico 3 – Viscosidade por temperatura do azeite de Abacate da marca 1..... | 29 |
| Gráfico 4 – Viscosidade por temperatura do azeite de Abacate da marca 2..... | 29 |
| Gráfico 5 – Viscosidade por temperatura em uma rotação única..... | 30 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 OBJETIVOS | 11 |
| 2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 11 |
| 3 ÓLEOS VEGETAIS | 12 |
| 4 ABACATE..... | 13 |
| 4.1 PRODUÇÃO ABACATE | 14 |
| 4.2 AZEITE DE ABACATE | 14 |
| 4.2.1 Composição | 15 |
| 4.2.2 Viabilidade de produção | 15 |
| 5 COMPORTAMENTO REOLÓGICO | 16 |
| 5.1 VISCOSIDADE..... | 17 |
| 5.2 TENSÃO DE CISALHAMENTO | 17 |
| 5.3 TAXA DE CISALHAMENTO..... | 18 |
| 5.4 FLUIDOS NEWTONIANOS..... | 18 |
| 5.5 FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS | 18 |
| 5.6 FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS INDEPENDENTES DO TEMPO..... | 19 |
| 5.6.1 Fluidos pseudoplásticos | 19 |
| 5.6.2 Fluidos dilatantes | 20 |
| 5.6.2 Fluidos plasticos de Bingham..... | 20 |
| 5.6.4 Herschel-bulkley ou fluidos pseudoplásticos com tensão de cisalhamento..... | 20 |
| 5.7 FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS DEPENDENTES DO TEMPO | 21 |
| 5.7.1 Fluidos tixotrópicos..... | 21 |
| 5.7.2 Fluidos reopéticos | 21 |
| 5.8 FATORES QUE AFETAM A VISCOSIDADE | 21 |
| 5.8.1 Efeitos da temperatura | 22 |
| 5.9 VISCOSIMETRIA | 22 |
| 5.9.1 Viscosímetros rotacionais..... | 22 |
| 5.10 IMPORTÂNCIA DO ANÁLISE REOLÓGICA..... | 23 |
| 6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 24 |
| 6.1. VALIDAÇÃO DO EQUIPAMENTO | 24 |
| 6.2 MEDIDAS DE VISCOSIDADE..... | 25 |
| 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 26 |
| 7.1 MEDIDAS DE VISCOSIDADE..... | 26 |
| 8 CONCLUSÃO..... | 32 |
| REFERÊNCIAS..... | 33 |

1 INTRODUÇÃO

Atualmente observa-se um aumento na demanda por óleos vegetais em todo o mundo. Embora o óleo de soja seja o mais consumido no Brasil é crescente a preferência do consumidor por óleos vegetais de composição química especial, ou seja, com propriedades funcionais (MANDARINO; ROESSING; BENASSI, 2005).

O abacate (*Persea americana*) possui boa qualidade nutritiva e alguns estudos indicam que seu consumo pode trazer benefícios à saúde, pois a maior parte da gordura dessa fruta é monoinsaturada. Esse tipo de gordura auxilia na redução dos níveis de colesterol total, LDL-colesterol e triacilgliceróis, além de aumentar os níveis de HDL-colesterol (SALGADO, 2008). Frutos que apresentam altos teores de lipídios em sua polpa, como o abacate, podem ser usados como matéria prima para produção de óleos (CANTO et al., 1980 apud TANGO; CARVALHO; SOARES, 2004)¹.

O azeite de abacate assemelha-se muito com o azeite de oliva, por ser extraído da polpa dos frutos e pela similaridade de suas propriedades físico-químicas, principalmente pela composição de ácidos graxos, nestes óleos existe a predominância de ácido oléico (CANTO et al., 1980 apud TANGO; CARVALHO; SOARES, 2004)¹. O azeite de abacate tem destaque pela excelente qualidade nutricional, sendo um óleo rico em β -sitosterol e ácido oleico, uma gordura insaturada utilizada como auxiliar no tratamento de hiperlipidêmias (SALGADO et al., 2008), que se não tratadas pode levar a doenças cardiovasculares.

As doenças cardiovasculares são a principal causa de morbimortalidade no Brasil. Estas podem ser controladas com auxílio de medicamentos ou por meio de uma alimentação adequada, que consiste também em uma forma de prevenção (COMMITTEE ON DIET AND HEALTH, 1989 apud SALGADO et al., 2008)².

Uma forma de aproveitar os benefícios do abacate seria a introdução de seu azeite para uso comestível como substituto do azeite de oliva, tanto para consumo individual como industrialmente na produção de alimentos processados, ou ainda, a produção de azeite de oliva e de abacate mesclado, em substituição às misturas de

¹ CANTO, W.L.; SANTOS, L. C.; TRAVAGLINI, M. M. E. **Óleo de abacate: extração, usos e mercados atuais no Brasil e na Europa. Estudos econômicos**. Campinas: ITAL, 1980.

² COMMITTEE ON DIET AND HEALTH. **Diet and health implications for reducing chronic disease risk**. Washington, DC: National Academy Press, 1989.

azeite de oliva com óleos vegetais. Esta seria uma excelente opção ao consumidor de renda mais baixa, uma vez que em função da necessidade de importação da azeitona ou mesmo o próprio azeite de oliva, sua produção se torna relativamente cara ao consumidor brasileiro (CREDIDIO, 2010). Além disso, a mistura de azeite de oliva com o de abacate proporciona uma melhor qualidade nutricional comparado a mistura de azeite de oliva com os demais óleos vegetais produzidos no Brasil.

Um grande número de variedades de abacate é encontrado no Brasil, sendo uma importante fonte para obtenção do óleo. Em comparação com outras oleaginosas como algodão e amendoim e soja, foi observado uma maior rentabilidade em sua extração (CANTO et al., 1980 apud TANGO; CARVALHO; SOARES, 2004)³.

Com base no exposto acima e na crescente necessidade de novos alimentos com formulações que tragam benefícios e saudabilidade aos consumidores, este trabalho tem como principal problema saber quais as características reológicas do azeite de abacate. O conhecimento destas propriedades é de grande importância para a consecução das etapas de projetos de equipamentos e de processos ou mesmo para a especificação de produtos (BROCK et al, 2008).

³ CANTO, W.L.; SANTOS, L. C.; TRAVAGLINI, M. M. E. **Óleo de abacate: extração, usos e mercados atuais no Brasil e na Europa**. Estudos econômicos. Campinas: ITAL, 1980.

2 OBJETIVOS

Analisar reológicamente o azeite de abacate e realizar a comparação com outros tipos de óleos vegetais, em diferentes temperaturas.

2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Validar o viscosímetro disponível na UTFPR, utilizando diversos fluidos de viscosidades conhecidas na literatura;
- Determinar a viscosidade absoluta do óleo de abacate para dois fabricantes em diferentes temperaturas;
- De acordo com análise reológica, verificar qual o comportamento do azeite de abacate;
- Realizar comparação entre as viscosidades de diversos tipos de óleos vegetais.

3 ÓLEOS VEGETAIS

Os óleos vegetais constituem uma das mais importantes fontes de energia e são indispensáveis para manter o equilíbrio fisiológico do organismo humano. Os óleos fornecem vitaminas e ácidos graxos essenciais, além de ressaltar as características sensoriais dos alimentos.

Os produtos disponíveis no mercado são extraídos de sementes de cereais e leguminosas. Há também os azeites extraídos dos frutos, como os azeites de dendê e oliva. Os vários óleos vegetais disponíveis diferem em sua composição de ácidos graxos (ABIOVE, 2013).

A América do Sul, a Argentina e o Chile são os principais produtores e exportadores de azeitona e azeite, respectivamente, com 100 mil e 10 mil hectares plantados. O Brasil é considerado um dos maiores importadores mundiais de azeitonas e derivados. Em 2009, foram importadas, aproximadamente, 44 mil toneladas de azeite e 70 mil toneladas de azeitonas em conservas, movimentando mais de um bilhão de Reais, no mercado nacional, com esses produtos (OLIVEIRA et al., 2012).



Figura 1– Fotografia dos vários óleos vegetais disponíveis no mercado.

Fonte: autoria própria

No Brasil, as vendas de óleos vegetais vêm crescendo, ao contrário de outros tipos de gorduras, como manteiga e margarina, que sofrem declínio de vendas. Para

2014, a estimativa é que o consumo brasileiro de azeite de oliva cresça em torno de 47,5% e o de outros óleos vegetais aumente 1,1%. Já para o consumo de banha, manteiga e margarina, a estimativa é que seu consumo continue em queda (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2009).

4 ABACATE

O abacate (*Persea americana*) possui boa qualidade nutricional, com alto teor de fibras, proteínas, sais minerais, destacando-se o potássio e vitaminas, especialmente a vitamina E. O abacateiro é cultivado em quase todos os estados do Brasil sendo esta a planta frutífera de maior produtividade por unidade de área cultivada (SALGADO, 2008).

O fruto é rico em proteínas (1 a 3%) e vitaminas A e B e quantidade variável de óleo na polpa (5 a 35%), a maioria, são ácidos graxos insaturados (60 a 84%), de grande utilização nas indústrias farmacêuticas e de cosmético, com possibilidade de emprego na culinária. De acordo com Salgado, 2008 estes nutrientes auxiliam na redução dos níveis de colesterol agindo como antioxidantes e neutralizando a ação de radicais livres, influenciando assim na redução do risco de doenças cardiovasculares e câncer.



Figura 2– Fotografia do abacateiro e Abacate (*Persea americana*).

Fonte: www.viveirodasmudas.com

4.1 PRODUÇÃO DE ABACATE

O cultivo de abacate ocorre em países como México, Chile, EUA, África do Sul, Espanha, Israel, Austrália, Nova Zelândia e Peru, devido a sua ampla adaptação a diferentes condições de solo e clima. O Brasil ocupa atualmente a 7ª posição mundial, produzindo 152.181 toneladas em 11.637 hectares distribuídos em todo o país, principalmente nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul (ESALQ, 2014).

Durante o ano todo, o mercado brasileiro é abastecido com variedades híbridas das raças antilhana e guatemalense, selecionadas localmente, que são consumidas como fruta fresca (ESALQ, 2014).

4.2 AZEITE DE ABACATE

A polpa do abacate rica em lipídeos torna esse fruto uma fonte alternativa para a obtenção de óleos. Existem diferentes técnicas para a extração do azeite da polpa de abacate. Um dos métodos de extração propostos se fundamenta no uso de solventes orgânicos. Na Colômbia, Chile e México, principais produtores, existem estudos para a extração com processos enzimáticos combinados com métodos mecânicos para aumentar o rendimento (SALGADO; GÓMEZ; CANO-SALAZAR, 2012).

O azeite de abacate possui sabor característico e benefícios nutricionais, com isso está se posicionando como escolha dos grandes chefes ao redor do mundo (SALGADO; GÓMEZ; CANO-SALAZAR, 2012). Apesar de o Brasil ser um grande produtor de abacate, o país ainda importa o azeite de abacate, este fato se deve a não possuir tecnologia adequada para o processamento, além da grande diversidade da matéria-prima cujo teor de óleo varia significativamente (CORAZZA, 2002).

No Brasil seu consumo ainda é moderado, sendo consumido principalmente por adeptos a uma vida saudável. De acordo com alguns estudos o azeite de abacate tem destaque pela excelente qualidade nutricional, sendo um óleo rico em ácidos graxos monoinsaturados como β -sitosterol e ácido oleico, (SALGADO et al., 2008). Os ácidos graxos monoinsaturados estão associados à redução de incidência

de doenças cardíacas, tendo como possível atuação na redução dos níveis plasmáticos de colesterol e ao transporte de lipídeos (OLIVEIRA; ROMAN, 2013).

4.2.1 Composição

O abacate vem sendo descrito na literatura como fontes de nutrientes e compostos bioativos. O ácido oleico é um ácido graxo essencial (ômega 9), o qual participa do nosso metabolismo, desempenhando um papel fundamental na síntese dos hormônios. O azeite do abacate assemelha-se muito com o azeite de oliva, por ser extraído da polpa dos frutos e pela similaridade de suas propriedades físico-químicas, principalmente pela composição de seus ácidos graxos, predominando em ambos o ácido oleico (TANGO; TURATTI, 1992).

Entre as substâncias bioativas presentes no abacate, encontram-se os fitoesteróis como o beta-sitosterol, em uma quantidade significativamente elevada, podendo ser considerada a maior fonte encontrada nas frutas (DUESTER, 2001). O beta-sitosterol, atua como coadjuvante no tratamento de hiperlipidêmias. A maioria das propriedades do azeite de abacate se deve à presença em alta concentração de beta-sitosterol. Sua concentração é 25,5 vezes mais alta no abacate quando comparado com outras frutas. (VALENZUELA; GARRIDO, 2000).

4.2.2 Viabilidade de produção

A industrialização do abacate para a produção de azeite apresenta boas perspectivas no Brasil, algumas variedades produzidas contêm quantidades significativas de lipídios (em média de 20% de óleo em polpa úmida) outra vantagem é a disponibilidade de matéria prima durante praticamente o ano todo, as variedades com maior quantidade de óleo tem período de safra entre os meses de julho e novembro, enquanto as de menor quantidade de óleo na polpa o período de colheita é entre janeiro e junho (DANIELLE, 2006).

Podemos apontar algumas vantagens para a produção agrícola do abacate quando comparado com a das oleaginosas comumente empregadas na produção de óleos comestíveis. Dentre elas podemos citar: maior produção de óleo por unidade plantada; aproveitamento de terrenos que por sua topografia mais acidentada não se prestam à mecanização; perenidade da planta; versatilidade agrícola, podendo ser produzidos, praticamente, em todas as regiões do país (DANIELLE, 2006).

Os azeites de mesa correspondem a uma porcentagem importante nos gastos com alimentos, tornando-se assim um produto limitado na alimentação de baixa renda (SALGADO; GÓMEZ; CANO-SALAZAR, 2012). Uma forma de aproveitar estes benefícios seria a possibilidade de introduzir o azeite de abacate puro para uso comestível como substituto do óleo de oliva, uma das alternativas seria a produção de azeite de oliva e de abacate mesclado, em substituição às misturas de azeite de oliva com óleos vegetais, normalmente oferecidas pelo mercado interno com a finalidade de diminuir os custos de importação do azeite de oliva no Brasil (CREDIDIO, 2010).

Pela possibilidade de utilização do azeite de abacate como substituto do azeite de oliva, pela sua equivalente composição química, faz-se necessária a análise da viscosidade, uma variável imprescindível para esta validação, uma vez que a viscosidade contribui na verificação da sanidade e na qualidade sensorial do produto.

5 COMPORTAMENTO REOLÓGICO

A reologia é o estudo do comportamento deformacional e do fluxo da matéria submetido a tensões, sob determinadas condições termodinâmicas, ao longo de um intervalo de tempo (FELLOWS, 2006). De maneira mais objetiva é a ciência que avalia o comportamento deformacional do fluido em escoamento.

A natureza complexa dos alimentos, a sua variabilidade, fazem com que o escoamento de diferentes alimentos ocorra de forma distinta. Quando a viscosidade não varia em função da força aplicada, dizemos que o fluido tem um comportamento Newtoniano. Para casos onde a viscosidade varia em função da força aplicada, para uma mesma condição de temperatura e pressão, diz-se que o fluido é não

Newtoniano. A variável que melhor representa este comportamento no fluido é a viscosidade.

5.1 VISCOSIDADE

É a resistência ao escoamento do fluido em análise. A viscosidade absoluta de um fluido foi determinada por Isaac Newton, em 1687, como a resistência ao deslizamento de suas moléculas devido à fricção interna e quanto maior a fricção interna de um fluido, maior sua viscosidade. Em uma abordagem matemática, exemplificada na figura 3, utilizou-se duas placas de áreas superficial (A), separadas por uma distancia (h), movimentadas a partir de uma aplicação de uma força (F). A força necessária por unidade de área (F/A) para manter uma diferença de velocidade entre as placas (dv/dx) é diretamente proporcional ao gradiente de velocidade através de um liquido (BARNES; HUTTON; WALTERS, 1989).

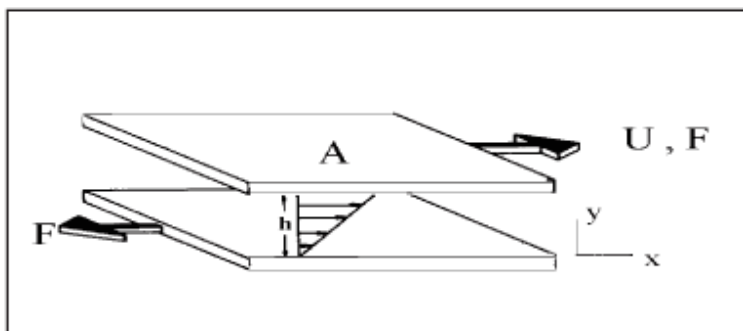


Figura 3: Modelo de placas paralelas utilizado por Newton.

Fonte: BARNES; HUTTON; WALTERS, 1989.

5.2 TENSÃO DE CISALHAMENTO

Tensão de cisalhamento (T) é a força (F) aplicada tangencialmente em uma área (A), necessária para manter o escoamento do fluido. A velocidade do fluxo

pode ser mantida com uma força constante e é controlada pela resistência interna do líquido, ou seja, por sua viscosidade.

5.3 TAXA DE CISALHAMENTO

A tensão de cisalhamento (T) conduz o líquido para perfil de fluxo especial. A velocidade máxima do fluxo ($V_{\text{máx}}$) encontra-se na camada superior conforme figura 01. A velocidade diminui até chegar a zero (V_{min}) na camada ligada a placa estacionária. No fluxo laminar, uma camada fina de líquido desliza sobre a outra. O gradiente de velocidade na amostra é chamado de taxa de cisalhamento e é definido como um diferencial (SHARAMM, 2006).

A taxa de cisalhamento é definida como o deslocamento relativo das partículas ou planos de fluidos e esta relacionada com a distância entre eles (MACHADO, 2002).

5.4 FLUIDOS NEWTONIANOS

Em um gráfico de tensão de cisalhamento em relação à taxa de cisalhamento a maioria dos líquidos simples mostra uma relação linear e são denominados fluidos newtonianos (FELLOWS, 2006). Para os fluidos viscosos ideais ou newtonianos, a tensão de cisalhamento é proporcional à taxa de cisalhamento, onde a constante de proporcionalidade é a viscosidade dinâmica do fluido. Deformam-se continuamente e irreversivelmente, sob a ação de um sistema de forças, sendo esta deformação conhecida como escoamento (MACHADO, 2002).

5.5 FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS

Ao contrário dos fluidos newtonianos, os fluidos não newtonianos não apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento, isto é, os valores da viscosidade mudarão com a variação nos valores

da taxa de cisalhamento. Esses valores de viscosidade são considerados como viscosidade aparente, podendo aumentar ou diminuir, de acordo com as características de cada fluido (FERREIRA et al., 2005). A figura 4 mostra os diferentes comportamentos reológicos.

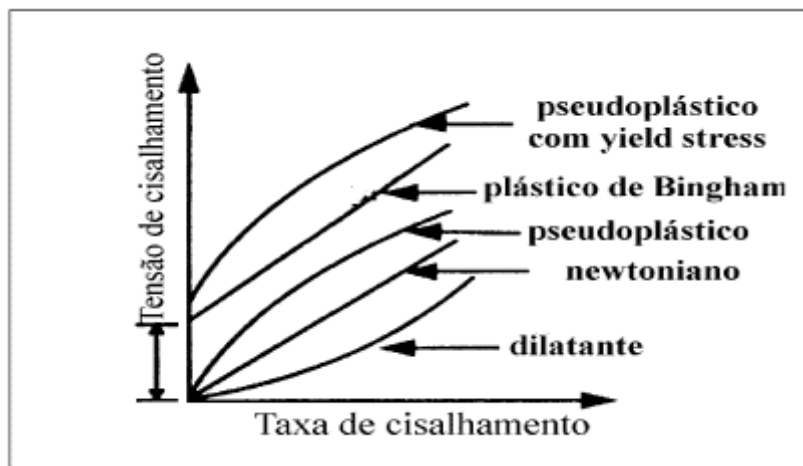


Figura 4: Classificação do comportamento reológico de diferentes suspensões

Fonte: KAWATRA, 1996.

5.6 FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS INDEPENDENTES DO TEMPO

São fluidos que independem do tempo e de aplicação da tensão de cisalhamento.

5.6.1 Fluidos pseudoplásticos

Em alguns fluidos, os valores de viscosidade diminuem com um aumento da taxa de cisalhamento, podemos dizer que o material tem comportamento pseudoplástico (FERREIRA et al., 2005). Quanto maior a força aplicada maior a ordenação e assim menor a viscosidade. Para a maioria dos líquidos o efeito do cisalhamento é reversível, mas leva algum tempo, ou seja, os líquidos recuperam sua alta viscosidade original quando o cisalhamento é diminuído o interrompido (SHARAMM, 2006).

5.6.2 Fluidos dilatantes

Quando o contrario acontece diz-se que os fluidos apresentam comportamento dilatantes, ou seja, apresentam um aumento da viscosidade com o aumento da tensão de cisalhamento (FERREIRA et al., 2005). No caso de suspensões à medida que temos um aumento da tensão de cisalhamento, o liquido intersticial que lubrifica a fricção entre as partículas é incapaz de preencher os espaços devido a um aumento do volume que frequentemente acompanha o fenômeno. Sendo assim temos um contato direto entre as partículas e consequentemente um aumento da viscosidade aparente.

5.6.3 Fluidos plásticos de Bingham

Estes fluidos necessitam de uma tensão finita, conhecida como tensão de escoamento ou “yield stress”, para que ocorra movimento das partículas. Apresenta, portanto uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação, a partir do momento em que se atinge uma tensão de cisalhamento inicial (FERREIRA et al., 2005).

5.6.4 Herschel-Bulkley ou Fluidos pseudoplásticos com tensão de cisalhamento inicial

Este fluido também necessita de uma tensão inicial para iniciar o escoamento, porem a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação não é linear (FERREIRA et al., 2005).

5.7 FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS DEPENDENTES DO TEMPO

Os fluidos que possuem esse tipo de apresentam propriedades que variam com o tempo de aplicação da tensão de cisalhamento, para uma velocidade de cisalhamento constante.

5.7.1 Fluidos tixotrópicos

Os fluidos tixotrópicos apresentam uma diminuição da viscosidade como tempo, quando submetidos a uma taxa de cisalhamento constante, voltando a ficar viscosos com a redução da tensão (FERREIRA et al., 2005).

5.7.2 Fluidos reopéticos

Já os fluidos reopéticos apresentam um comportamento inverso ao dos tixotrópicos, a viscosidade aumenta com o tempo de aplicação da tensão também retornando a viscosidade inicial quando esta se cessa (FERREIRA et al., 2005).

5.8 FATORES QUE AFETAM A VISCOSIDADE

Ao medir a viscosidade de uma substância ou mistura, é fundamental garantir e preservar sua natureza físico-química ou composição. Os principais fatores que afetam a medida de viscosidade são: temperatura, taxa de cisalhamento, tempo e composição do sistema (MACHADO, 2002).

5.8.1 Efeito da temperatura

A viscosidade dos líquidos decresce notoriamente com o aumento da temperatura. Quanto maior o coeficiente de viscosidade mais será afetado pela temperatura. Ao aumentar a temperatura também aumentamos o volume do líquido, de onde se deduz que temos uma diminuição do número de moléculas por unidade de volume (SANTIAGO; MONTEALVO; FERIA, 2001).

5.9 VISCOSIMETRIA

A viscosimetria é um segmento da mecânica dos fluidos que consiste na prática experimental de medir a resposta reológica dos fluidos, considerados puramente viscosos, se preocupa com a caracterização de um fluido viscoso através de instrumentos de medida, procedimentos e métodos. Os viscosímetros são instrumentos que medem os parâmetros viscosos dos fluidos sob cisalhamento contínuo (MACHADO, 2002).

Os dispositivos de medição de viscosidade mais comumente utilizados são viscosímetros capilares, viscosímetros rotacionais e viscosímetros rotacionais de alta e baixa velocidade. Dentro dos viscosímetros rotacionais podem-se observar dois grupos o primeiro onde a taxa de deformação aplicada é conhecida e onde é aplicada uma determinada tensão para ver a resposta dos materiais (SANTIAGO; MONTEALVO; FERIA, 2001). Assim os viscosímetros rotacionais podem ser usados em diversas geometrias como as placas paralelas.

5.9.1 Viscosímetros rotacionais

Para a caracterização de um fluido não newtoniano é necessário determinar a viscosidade a diferentes valores de deformação. Em uma situação de fluxo a velocidade de deformação é em função da velocidade do fluido e o diâmetro do tubo,

em uma situação de agitação a velocidade de agitação é proporcional a velocidade de rotação, em ambos os casos é possível a medição do esforço e da deformação caracterizando o fluido, sendo assim este é o princípio do viscosímetro rotacional. O princípio aplicado em um viscosímetro rotacional é ter uma parte móvel giratória e uma cabeça que registre o binário de torção produzido pela resistência ao movimento do fluido (SANTIAGO; MONTEALVO; FERIA, 2001).

5.10 IMPORTÂNCIA DA ANÁLISE REOLÓGICA

Uma compreensão do comportamento de escoamento é necessária para determinar o tamanho de bombas e tubos assim como as exigências de energéticas. Os modelos reológicos obtidos a partir das medições experimentais são úteis na concepção de projetos de engenharia, juntamente com o impulso, energia e os balanços de massas. Efeitos do tratamento sobre as propriedades reológicas devem ser conhecidos para o melhor controle de processos (SAHIN; SUMNU, 2005).

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para as análises foram utilizadas duas marcas de azeite de abacate, onde foram denominados como marca 1 o Óleo de abacate Extra virgem – marca COPRA e marca 2 o Azeite de Abacate marca - Ômega 3 Ouro, ambos foram adquiridos no mercado local e analisados sem nenhum tratamento adicional. Foram realizados os seguintes métodos descritos.

6.1. VALIDAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Visando à validação do viscosímetro da marca Quimis (modelo Q860M21) adaptado ao banho termostático conectado a um trocador de calor com volume de 70 ml, acoplado a um banho termostático com controle de temperatura, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa de Fluidos Complexos da UTFPR, conforme pode ser observado na figura 5.

Para o procedimento de medida foi realizada a leitura do óleo padrão, para fins de comparação, com valores de viscosidade disponíveis na literatura para este óleo vegetal.



Figura 5 – Fotografia do Viscosímetro da marca Quimis com porta amostra acoplado ao banho termostático, desenvolvido pelo grupo de pesquisa de fluidos complexos da UTFPR.

Fonte: Autoria própria.

6.2 MEDIDAS DE VISCOSIDADE

Para a determinação da viscosidade dos diferentes tipos de azeites foi utilizado o viscosímetro da marca Quimis (modelo Q860M21). Este instrumento é equipado com cilindros de diâmetros diferentes (*splindles*), em que se utiliza o cilindro adequado conforme a viscosidade do fluido. O viscosímetro dispõe de um porta amostra acoplado a um banho termostático que permitiu mensurar a viscosidade dos óleos no intervalo de 15 a 45°C.

Para avaliação do comportamento reológico dos óleos estudados, foram avaliados diagramas de Rotação (Rotação por minuto) em função da viscosidade para as diferentes temperaturas, os quais serão analisados conforme dados fornecidos pelo equipamento. As análises foram realizadas em duplicata.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente visando à validação do viscosímetro da marca Quimis (modelo Q860M21) com porta amostra acoplado a um banho termostático foram realizados alguns testes, utilizando para efeito de comparação o valor de viscosidade de um óleo de soja calibrado anteriormente, sendo este considerado como padrão. Os valores podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1 – Comparação entre valores medidos e da amostra padrão para viscosidade – para calibração do viscosímetro Quimis (modelo Q860M21)

| <i>Fluidos</i> | <i>Viscosidade (mPa.s)</i> | | | |
|----------------|----------------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| | T (°C) | Este trabalho | Óleo padrão | Literatura |
| Óleo de soja | 21 | 79,2 | 59,7 ^a | 59,0 ^b |

Fonte: ^a Amostra padrão calibrada, em concordância com a literatura; ^b BROCK et al, 2008.

Esta alteração dos valores obtidos é provocada pelo porta amostra, que aumenta a taxa de cisalhamento, utiliza-se a razão entre do valor de viscosidade medido pelo valor de viscosidade do óleo padrão, obteve-se a calibração do equipamento e este foi usado em todas as posteriores leituras.

7.1 MEDIDAS DE VISCOSIDADE

Nesta seção serão apresentados os resultados das medidas de viscosidade, bem como a análise para o comportamento reológico das diferentes marcas de azeite de abacate.

Para avaliação do comportamento reológico dos azeites estudados foram avaliados diagramas de viscosidade em função da rotação, para as temperaturas de 15 a 45°C, os quais foram obtidos a partir das medidas realizadas no viscosímetro. Em nosso viscosímetro o que se mede é o torque provocado pela força “cisalhante”

em um *spindle* cilíndrico. O valor de RPM é uma variável utilizada para determinar a taxa de cisalhamento em um viscosímetro.

Nos Gráficos 1 e 2 são apresentados os diagramas de viscosidade por Rotação em temperaturas de 15 a 45°C para os azeites de abacate estudados. Para todas as temperaturas foi possível observar que com o aumento da rotação a viscosidade manteve-se constante o que caracteriza um comportamento de fluido Newtoniano, este comportamento foi observado para diferentes óleos vegetais em estudo realizado por Brock et al (2008).

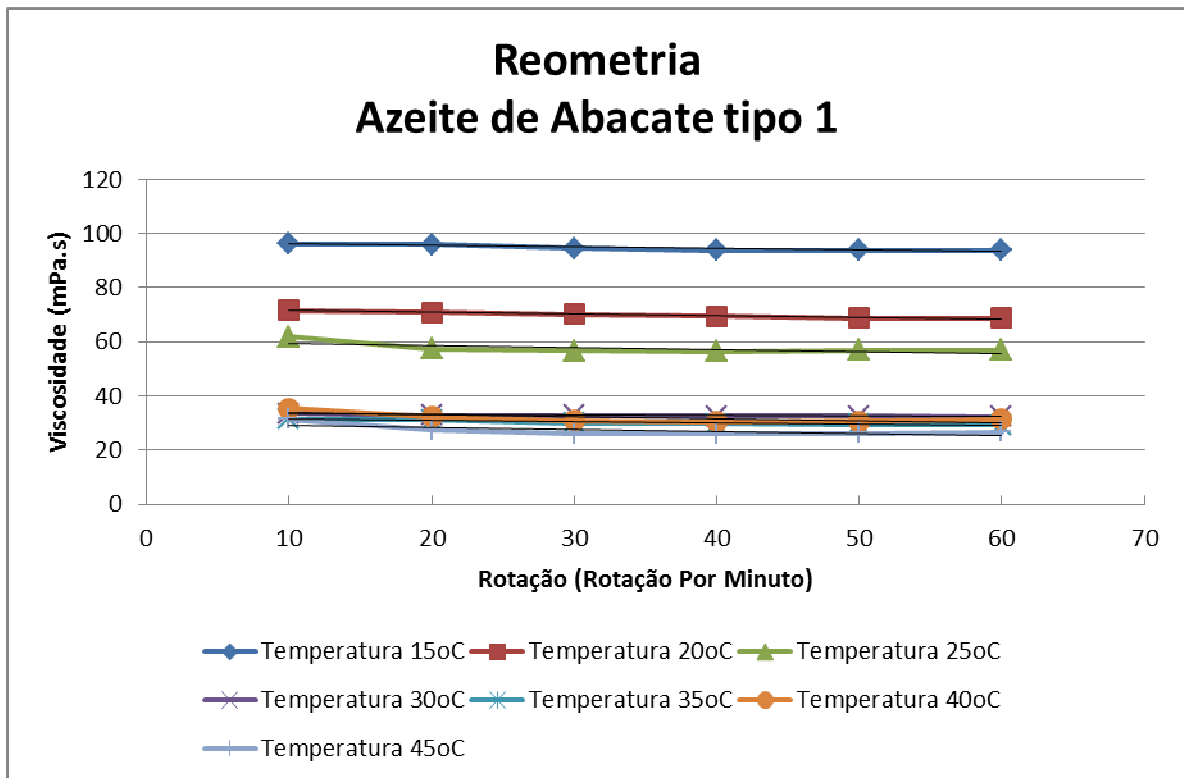


Gráfico 1 – Diagrama de viscosidade por rotação do azeite de abacate da marca 1 em diferentes temperaturas.

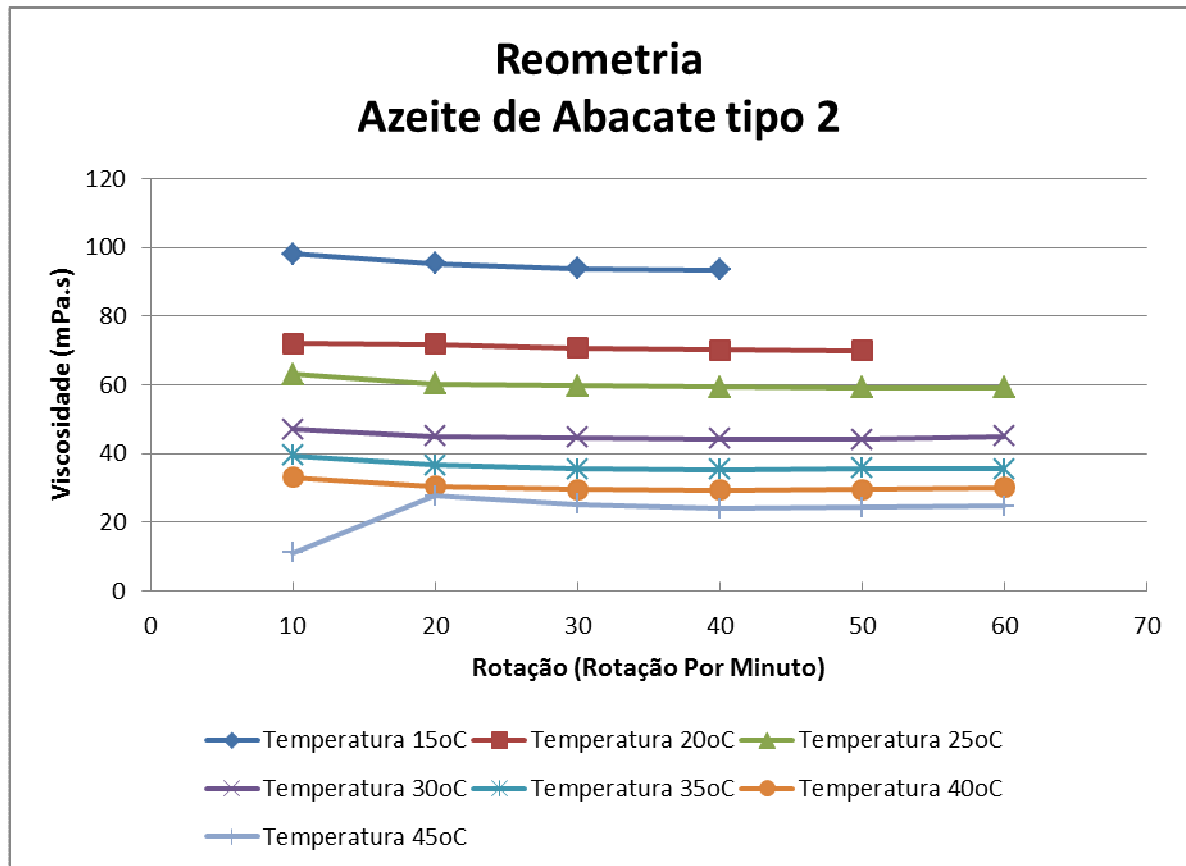


Gráfico 2 – Diagrama de viscosidade por rotação do azeite de abacate da marca 2 em diferentes temperaturas.

Pode-se observar, a partir dos Gráficos 3 e 4, uma diminuição acentuada na viscosidade dos azeites a medida que a temperatura é acrescida. Este é um comportamento típico de fluidos Newtonianos, o ganho energético possibilita o afastamento das moléculas e conseqüentemente uma diminuição do número de moléculas por unidade, a redução da força de coesão entre as moléculas reduz a viscosidade do fluido.

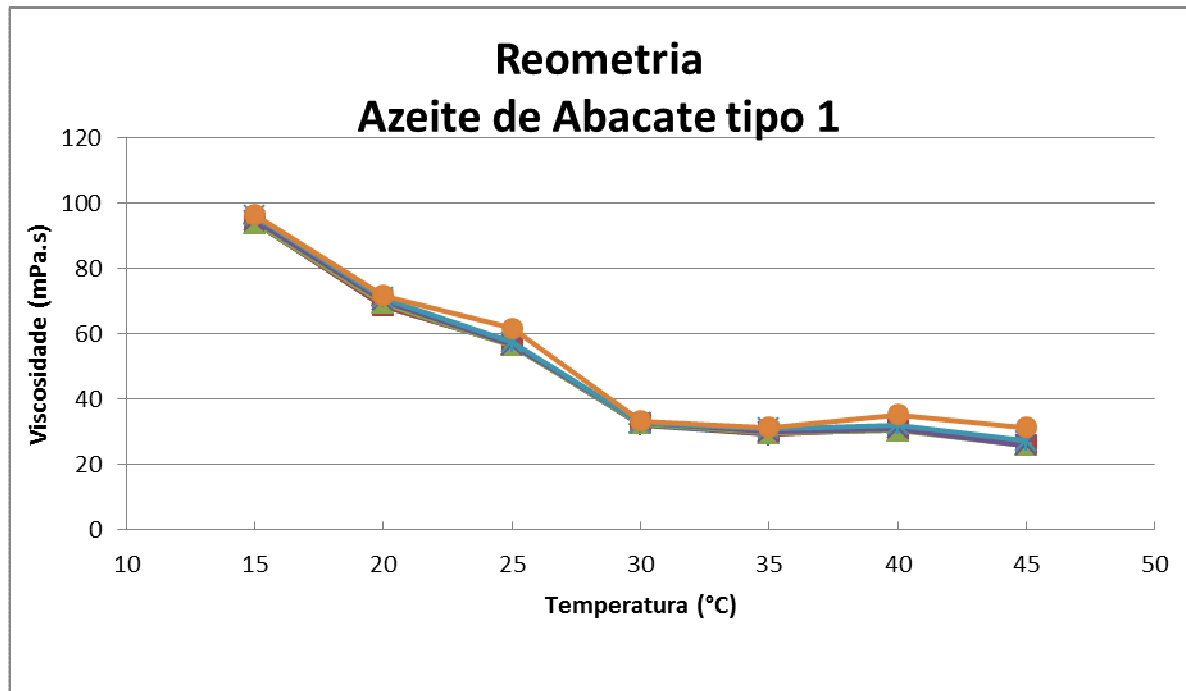


Gráfico 3 – Diagrama de viscosidade por temperatura do azeite de abacate da marca 1 em diferentes rotações (RPM).

Conforme Santiago, Montealvo, Feria (2001) a diminuição de viscosidade de um líquido com acréscimo de temperatura não é somente em função do aumento de volume, mas também julgam importantes as interações intermoleculares cuja intensidade varia com a composição química deste.

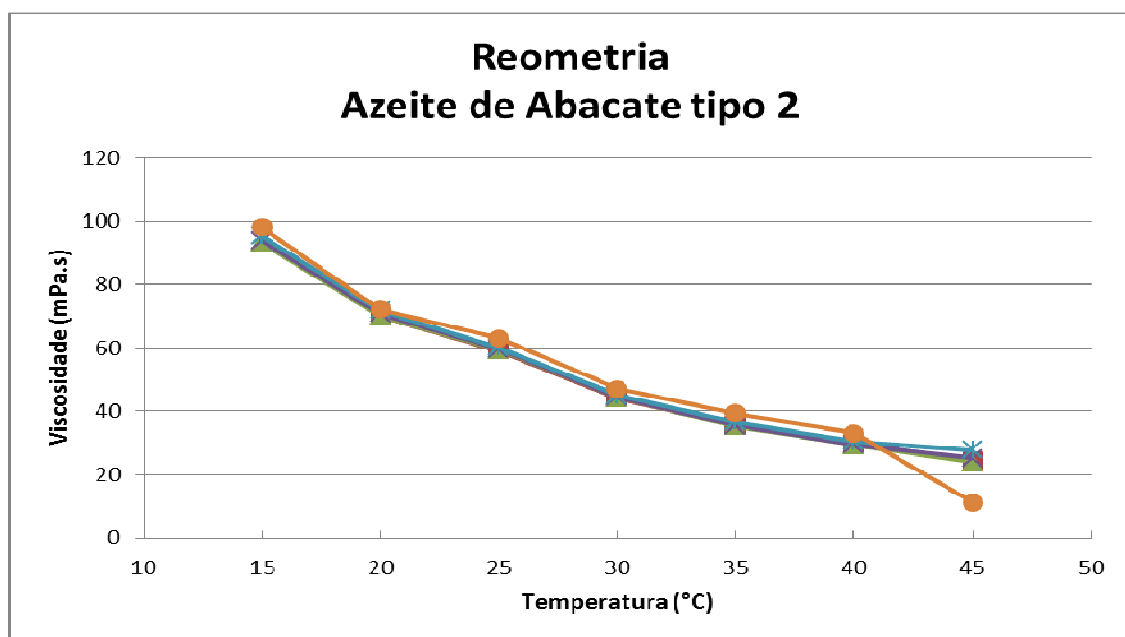


Gráfico 4 – Diagrama de viscosidade por temperatura do azeite de abacate da marca 2 em diferentes rotações (RPM).

Quando comparamos os azeites em uma mesma rotação, o azeite de abacate da marca 2 apresentou comportamento diferente do azeite de abacate da marca 1, não sendo possível mensurar a viscosidade deste em temperaturas de 15 e 20°C, conforme apresentado no gráfico 6. Podemos dizer que este azeite apresentou um comportamento de fluido não newtoniano a baixas temperaturas. O viscosímetro mensura medidas de viscosidade de fluidos Newtonianos.

Observou-se uma diferença na coloração entre as duas marcas estudadas, outro fator citado por Santiago, Montealvo e Feria (2001) um aumento da saturação do óleo eleva sua viscosidade. Estudos para verificação de grau de degradação dos azeites poderiam ser úteis para a justificativa desta diferença.

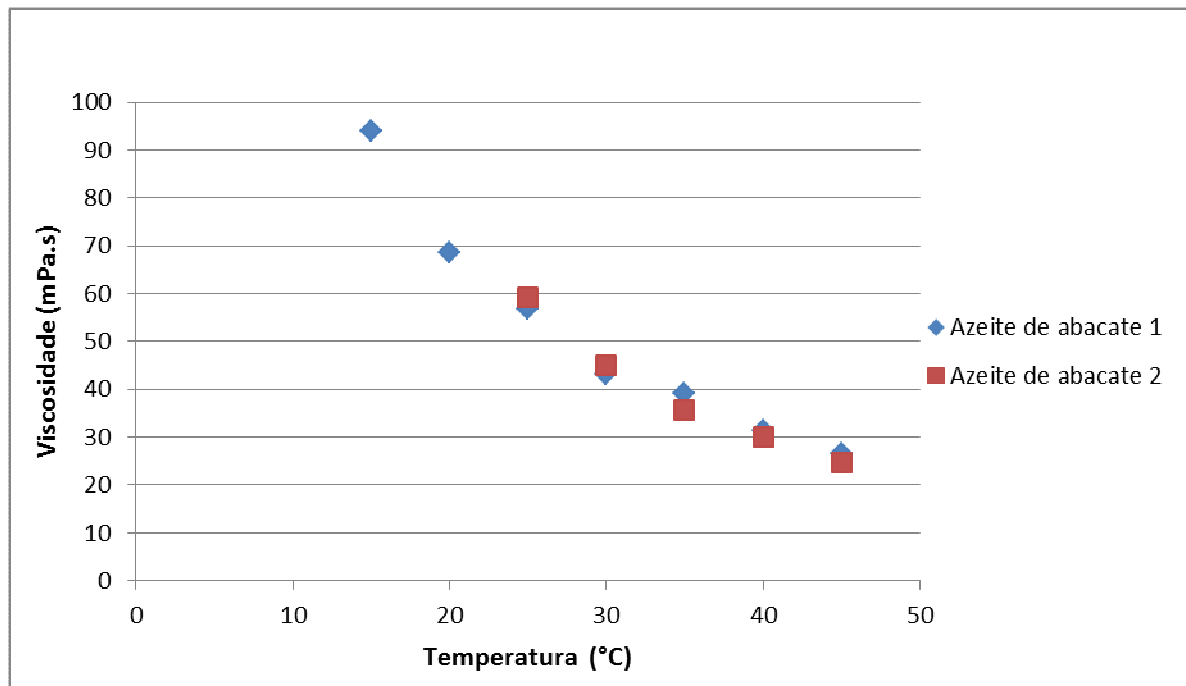


Gráfico 5 – Diagrama de viscosidade por temperatura dos Azeites de Abacates em uma única rotação (60 Rotações por minuto).

A Tabela 2 apresenta os valores de viscosidade medidos para diferentes óleos vegetais no intervalo de 20 a 30°C, obtidos a uma RPM constante, observa-se uma viscosidade inicial maior para os azeites, incluindo o azeite de oliva.

Tabela 2 – Valores de viscosidade medidos para diferentes óleos vegetais em função da temperatura.

| T (° C) | Canola | Girassol | Milho | Soja | Oliva | Abacate 1 | Abacate 2 |
|---------|--------|----------|-------|------|-------|--------------|--------------|
| 20°C | 60.1 | 60.9 | 62.8 | 59.1 | 68.1 | 68.7 | - |
| 25°C | 48.2 | 35.3 | 48.5 | 40.7 | 58.7 | 56.9 | 59.1 |
| 30°C | 48.2 | 28.6 | 36.9 | 33.8 | 41.5 | 43.2 | 45.1 |

De maneira geral os óleos vegetais apresentaram comportamentos reológicos semelhantes, onde temos uma diminuição da viscosidade com o acréscimo de temperatura. Os resultados assemelha-se aos obtidos por Brock et al (2008) para todos os óleos, com exceção dos azeites de abacate, que não temos referências na literatura.

8 CONCLUSÃO

A partir das análises verificou-se que a viscosidade dos óleos vegetais é significativamente influenciada pela temperatura, onde o acréscimo desta provoca uma diminuição da viscosidade dos óleos.

Com relação ao comportamento reológico, o azeite de abacate pode ser classificado como um fluido Newtoniano. Este comportamento assemelha-se com o observado em outros óleos vegetais, inclusive o azeite de oliva, sendo assim o azeite de abacate pode ser usado como substituto deste em processos industriais não sendo necessária a modificação de equipamentos.

REFERÊNCIAS

- ABIOVE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ÓLEOS VEGETAIS. São Paulo [Acesso em 08/12/2013]. Disponível em: www.abiove.com.br.
- BARNES, H. A., HUTTON, J. F., WALTERS, K. **An introduction to rheology**. 1. ed. New York: Elsevier, p. 199, 1989.
- BROCK, Josiane *et al.* Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. **Ciênc. e Tecnol. Alimentos**, Campinas, v. 28 n.3: p. 564-570, jul. - set. 2008.
- CORAZZA, Sonia. **Aromacologia, uma ciência de muitos cheiros**. São Paulo: Senac, 2002.
- CREDIDIO, Edson V. **Estudo do Efeito do Abacate nos Lipídeos sanguíneos em Humanos**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2010.
- DANIELLE, Flavia. **Óleo de abacate (*Persea americana Mill*) como matéria prima para a indústria alimentícia**. 2006. 48 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- DUESTER, K.C. – Abacate fruta é uma rica fonte de beta-sitosterol. **Journal American Dietetic Association**.; vol.101, n.4, p. 404-405, 2001
- ESALQ/USP- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo. **Situação Atual e Perspectivas da Cadeia Produtiva do Abacate no Brasil**, 2014. Disponível em http://www.esalq.usp.br/cprural/artigos.php?col_id=32 > Acesso em 31mar. 2014.
- EUROMONITOR INTERNATIONAL. **Oil and Fats – Brazil**. 2009. Disponível em <http://www.euromonitor.com/oils-and-fats-in-brazil/report> acesso 10/01/2014.
- FELLOWS, Peter J. Propriedades dos alimentos e teoria do processamento in__**Tecnologia do processamento de alimentos** – princípios e praticas. 2ªed. Porto Alegre: Artmed, p. 25-74, 2006.
- FERREIRA, Eliomar E. et al. Reologia de suspensões minerais: uma revisão. **Rev. Esc. Minas**. vol. 58, n.1, p. 83-87, 2005.
- KAWATRA, S.K., BAKSHI, A. K. On-line measurement of viscosity and determination of flow types for mineral suspensions. **International Journal of Mineral Processing**. v. 47, p.275-283, 1996.
- MACHADO, José C. V. Fundamentos in__ **Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria de petróleo**. Rio de Janeiro: Petrobras, p.01-18, 2002.

MANDARINO, J. M.G.; ROESSING, A.C; BENASSI, V.T., Introdução in: __ **Óleos – alimentos funcionais**, Londrina, Embrapa soja, p. 14-16, 2005.

OLIVEIRA, M.C. et al. Características fenológicas e físicas e perfil de ácidos graxos em oliveiras no sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.30-35, 2012.

OLIVEIRA, Ana F.; ROMAN, Janesca A. Lipídeos in: __. **Nutrição para Tecnologia e Engenharia de Alimentos**. Curitiba: CRV, p. 61-78, 2013.

SAHIN, Serpil; SUMNU Servet G. Size, Shape, Volume, and Related Physical Attributes in __ **Physical Properties of Foods**. Middle East Technical University Ankara: Turkey, 2005.

SALGADO, G.A; GÓMEZ P. J.H, CANO-SALAZAR, J.A. **Evolución Del proceso de extracción de aceite de aguacate hass (*Persea americana Mill*) utilizando tratamiento enzimático**. Revista lasallista de investigación- v.9, n.2, p. 138-150, 2012.

SALGADO, J.M., et al. Óleo de abacate (*Persea americana Mill*) como matéria prima para a indústria de alimentícia. **Ciênc. e Tecnol. Alimentos**, Campinas, v. 28: p.20-28, 2008.

SANTIAGO, Maria del C. N., MONTEALVO, Maria G. del C. M., FERIA Javier S. **Introducción a la Reología**. Instituto Politécnico Nacional, Mexico, 2001.

SHARAMM, Gebhard. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos**, ed. Artliber, São Paulo, 2006.

SISSON, Lighton E., PITTS, Donald R. Quadro de propriedades e funções in __ **Fenômenos de transporte**, p.706-736, ed. Guanabara, Rio de Janeiro, 1998.

TANGO, João. S.; TURATTI, J. M. Óleo de abacate. In: TANGO, J. S.; TURATTI, J. M. **Abacate - cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos**. Campinas: ITAL, p.156-192, 1992.

TANGO, João S.; CARVALHO, Cassia R. L.; SOARES, Nilberto B. Caracterização física e química de frutos de abacate visando seu potencial para extração de óleo. **Revista Brasileira de fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 26, n. 1, p, 17-23, 2004.

VALENZUELA, B.A.; GARRIDO, G.A.- Os fitoesteróis: agentes hipocolesterolêmicos naturais de origem não farmacológica. **Revista Chile Nutrition**. v.27, p.220-225, 2000.