



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



DISSERTAÇÃO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DE MÉIS
DE ABELHA (*Apis mellifera* L.) DO ESTADO DO PIAUÍ

CLAUDÉCIA LEITE DA SILVA

Campina Grande - Paraíba
SETEMBRO - 2001





UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Engenharia Agrícola
Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

**CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DE MÉIS DE ABELHA
(*Apis mellifera* L.) DO ESTADO DO PIAUÍ**

Claudécia Leite da Silva- Engenheira Agrônoma

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Prof.^a Dr.^a Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

(Orientadores)

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas.

Campina Grande – PB

Setembro – 2001

CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DE MÉIS DE ABELHA
(*Apis mellifera* L.) DO ESTADO DO PIAUÍ

por

Claudécia Leite da Silva

Dissertação aprovada em 20 de setembro de 2001

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Alexandre J M Queiroz

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

(Orientador)

APROVADA

Rossana M^a F. de Figueirêdo

Prof^a. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

(Orientadora)

Aprovada

Melitans

Prof^a. Dra. Maria Elita Duarte Braga

(Membro)

Aprovada

A. Rodrigues

Prof^a. Dra. Adriana Evangelista Rodrigues

(Membro)

Aprovada

Campina Grande – PB

A Minha Família

Que pacientemente suportou a minha ausência durante esse período, dando-me forças para vencer essa batalha. Especialmente:

➤ *A minha Mãe, Terezinha Leite pela lição de vida, ensinamentos e esforços realizados para garantir-me esta vitória.*

➤ *Aos meus irmãos: Tetê, Ana e Bernardo (cunhado), Corrinha, Antônio Cláudio, Derinha, Aldeny e Kaio Danilo (sobrinho), pela união e carinho recebido.*

➤ *Aos meus tios e Avó, pelo constante apoio; alguns mesmo não estando mais entre nós, sei que estarão sempre torcendo por mim.*

Dedico!!!

Agradecimentos

- A Deus, por esta bênção que é a vida e que me deu a coragem para sonhar e força para realizar o sonho de vencer esta batalha.*
- A meus Pais e Irmãos, que me conduziram por toda a infância e juventude, com todo carinho, agradeço tudo que sou.*
- Ao Prof. Dr. Alexandre e a Profa. Dra. Rossana Maria, pela oportunidade, orientação e paciência durante a realização deste trabalho.*
- Ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização deste trabalho.*
- A CAPES, pela bolsa concedida durante a realização deste trabalho.*
- A todos os professores da Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, em especial à Profa. Dra. Maria Elita, pelos seus constantes ensinamentos e participação na banca examinadora.*
- A Profa. Dra. Adriana Evangelista Rodrigues pela participação na banca examinadora.*
- Ao Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia -CCA-UFPB.*
- A todos os funcionários do Departamento, em especial D. Rivanilda, secretária da Pós-Graduação de Eng. Agrícola, uma pessoa formidável, uma grande amiga. D. Cida e a D. Socorro, pessoas de grande importância.*
- A todos os amigos e colegas do mestrado, pela paciência e amizade, em especial: Anko Márcio, Sheylla Nadjane, Zilmar, Íris, Alane, Edmir, Ítalo, Marcelo Muniz, Edênia Diniz, Nayara Lya, Robert, Eliane, Edinalva, Kleber, Hellen Lira, Juci, Milene, Clóvis e o Cândido.*
- A todos os amigos que muito me apoiaram durante minha estadia nesta cidade: Josenira, Joselita, D. Luzia, Rosilene, Lucinha, D. Mariquinha, Sr. Ferreira (esposo da Íris), Socorro-CE, Antônio Carlos (Nego-BA), Johilse (primo), Hélio (esposo da Alane), Márcia, Spachson e o Marinaldo.*
- Enfim a todos os amigos que fiz ao longo dos anos em Campina Grande, e que de alguma forma contribuíram comigo.*

Muito Obrigada!!!

Homenagens Póstumas

A Cláudio Pedro;

Meu Pai, que Deus o chamou e ele partiu deixando uma lacuna em nossas vidas, porém sei que está entre nós, sempre presente.

A Carmem Leite;

Minha irmã, cuja vida foi ceifada tão cedo, sem dó, deixando-nos chorando porque te perdíamos e não mais te encontrava participando das nossa alegrias.

A Francisca Leite;

Minha Tia, que partiu para encontrar-se com Deus, mas sei que estará sempre olhando por mim e todos os meus familiares.

No entanto, tenho a certeza de que estão sorrindo, alegres, felizes, por que estão com Deus em sua companhia.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
NOMENCLATURA.....	ix
RESUMO.....	xi
SUMMARY.....	xiii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Objetivos.....	3
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 – O Mel.....	4
2.1.1 – Considerações gerais: histórico, definição.....	4
2.1.2 – Produção.....	7
2.1.3 – Composição química.....	9
2.1.4 – Métodos de avaliação e controle de qualidade.....	15
2.1.4.1 – Acidez.....	16
2.1.4.2 – Resíduo mineral.....	17
2.1.4.3 – Umidade.....	18
2.1.4.4 – Potencial hidrogeniônico (pH).....	20
2.1.4.5 – Hidroximetilfurfural (HMF).....	20
2.1.5 – Cristalização.....	22

2.1.6 – Higroscopicidade.....	23
2.2 – Reologia.....	23
2.2.1 – Classificação do comportamento reológico.....	25
2.2.1.1 – Fluidos newtonianos.....	26
2.2.1.2 – Fluidos não-newtonianos.....	27
2.2.1.2.1 – Dependentes do tempo.....	29
2.2.1.2.2 – Independentes do tempo.....	30
2.2.2 – Modelos reológicos.....	31
2.2.2.1 – Modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência).....	32
2.2.2.2 – Modelos que consideram a tensão de inicial.....	33
2.2.2.2.1 – Modelo de Bingham.....	33
2.2.2.2.2 – Modelo de Casson.....	34
2.2.2.2.3 – Modelo de Herschel-Bulkley.....	34
2.2.2.2.4 – Modelo de Mizrahi-Berk.....	35
2.2.3 - Reologia de méis de <i>Apis mellifera</i>	36
2.2.3.1 – Viscosidade.....	37
2.3 – Efeito da temperatura na viscosidade.....	37
CAPÍTULO 3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1 – Área do experimento.....	39
3.2 – Obtenção das amostras.....	39
3.3 – Determinação das características físico-químicas.....	41
3.3.1 – Umidade.....	41
3.3.2 – Hidroximetilfurfural.....	41

3.3.3 – Açúcares redutores.....	41
3.3.4 – Sacarose aparente.....	42
3.3.5 – Cinzas.....	42
3.3.6 – Acidez livre.....	42
3.3.7 – Sólidos insolúveis em água.....	43
3.3.8 – Atividade diastásica.....	43
3.4 – Análise estatística.....	43
3.5 – Determinação das características reológicas.....	44
3.5.1 – Viscosidade.....	44
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1 – Caracterização físico-química.....	45
4.1.1 – Umidade.....	46
4.1.2 – Hidroximetilfurfural (HMF).....	47
4.1.3 – Açúcares redutores.....	48
4.1.4 – Sacarose aparente.....	49
4.1.5 – Cinzas.....	50
4.1.6 – Acidez livre.....	51
4.1.7 – Sólidos insolúveis em água.....	52
4.1.8 – Atividade diastásica (DN).....	53
4.1.9 - °Brix.....	54
4.1.10 – pH.....	54
4.2 – Caracterização reológica.....	55
4.2.1 – Modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência).....	56

4.2.2 – Modelo de Herschel-Bulkley.....	56
4.2.3 – Viscosidade Aparente.....	63
4.2.4 – Equação de Arrhenius.....	70
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	72
CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÊNDICE A.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Características físico-químicas de méis de abelha (<i>Apis mellifera</i> L) produzidos no estado do Piauí.....	45
Tabela 4.2 – Parâmetros de ajuste do modelo de Herschel-Bulkley nos méis estudados.....	62
Tabela 4.3 – Viscosidades aparentes calculadas a uma taxa de deformação de 32 s ⁻¹	63
Tabela 4.4 – Valores dos parâmetros da Equação de Arrhenius.....	70
Tabela A.1 – Parâmetros de ajuste do modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) nos méis estudados.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Classificação dos fluidos não-newtonianos.....	28
Figura 3.1 – Fluxograma das etapas do processamento do mel.....	40
Figura 4.1 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley do mel da florada de Angico de Bezerra nas temperaturas de 20 a 40°C.....	57
Figura 4.2 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley do mel da florada Silvestre nas temperaturas de 20 a 40°C	58
Figura 4.3 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley do mel da florada Marmeleiro nas temperaturas de 20 a 40°C.....	59
Figura 4.4 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley do mel da florada Camaratuba nas temperaturas de 20 a 40°C.....	60

Figura 4.5 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley do mel da florada Jitirana nas temperaturas de 20 a 40°C.....	61
Figura 4.6 – Influência da temperatura na viscosidade aparente de diferentes méis para uma taxa de deformação de 32 s ⁻¹	64
Figura 4.7 – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do mel de Jitirana nas temperaturas de 20 a 40°C.....	65
Figura 4.8 – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do mel de Camaratuba nas temperaturas de 20 a 40°C.....	66
Figura 4.9 – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do mel de Silvestre nas temperaturas de 20 a 40°C.....	67
Figura 4.10 – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do mel de Angico de Bezerra nas temperaturas de 20 a 40°C.....	68
Figura 4.11 – Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do mel de Marmeleiro nas temperaturas de 20 a 40°C.....	69
Figura 4.12 – Relação entre a viscosidade aparente e a temperatura com ajuste pela Equação de Arrhenius.....	71

Figura A.1 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo da Lei da Potência do mel da florada de Marmeleiro nas temperaturas de 20 a 40°C.....	85
Figura A.2 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo da Lei da Potência do mel da florada de Angico de Bezerra nas temperaturas de 20 a 40°C.....	85
Figura A.3 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo da Lei da Potência do mel da florada Silvestre nas temperaturas de 20 a 40°C.....	86
Figura A.4 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo da Lei da Potência do mel da florada Camaratuba nas temperaturas de 20 a 40°C.....	86
Figura A.5 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo da Lei da Potência do mel da florada Jitirana nas temperaturas de 20 a 40°C.....	87

NOMENCLATURA

K – Fator de consistência (Pa.s)

K_c e k_{co} – Constantes do modelo de Casson (Pa.s e $\text{Pa}^{0.5}$, respectivamente)

K_H – Fator de consistência no modelo de Herschel-Bulkley (Pa.s^n)

K_M – Fator de consistência no modelo de Mizrahi-Berk (Pa.s^n)

K_{OM} – Raiz quadrada da tensão inicial do modelo de Mizrahi-Berk (Pa)

n – Índice de comportamento de fluxo (adimensional)

n_H – Índice de comportamento de fluxo consistência no modelo de Herschel-Bulkley (adimensional)

n_M – Índice de comportamento de fluxo consistência no modelo de Mizrahi-Berk (adimensional)

T – Temperatura absoluta (K)

E_a – Energia de ativação (kJ/g mol)

R – Constante universal dos gases perfeitos (J/g.mol.K)

Gregas

$\dot{\gamma}$ - Taxa de deformação (s^{-1})

τ - Tensão de cisalhamento (Pa.s)

τ_{OH} - Tensão de cisalhamento inicial no modelo de Herschel-Bulkley (Pa)

η_0 - constante (Pa.s)

η - Viscosidade aparente (Pa.s)

reológico, os dados experimentais foram coletados com auxílio de um viscosímetro da marca Brookfield, modelo RVT, com geometria de cilindros concêntricos, nas temperaturas de 20, 25, 30, 35 e 40°C. Os dados reométricos foram ajustados através dos modelos empíricos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e Herschel-Bulkley. De acordo com os resultados obtidos ($R^2 > 0,98$), verifica-se que pode ser utilizado qualquer um dos modelos na estimativa do comportamento reológico dos méis estudados. Todas as amostras apresentaram comportamento não-newtoniano, com característica de fluido pseudoplástico. A viscosidade aparente dos diferentes méis, para uma taxa de deformação fixa (32 s^{-1}) variou entre 0,19 e 6,53 Pa.s. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente seguiu uma relação do tipo Arrhenius.

**Rheological and physical-chemistry characterization of bee honeys
(*Apis mellifera* L.) of the state of Piauí**

Author: **Claudécia Leite da Silva**

Advisors: **Alexandre José de Melo Queiroz**

Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Agricultural Engineering Department - DEAg - September / 2001

SUMMARY

The objective of this work has been to characterize the physical-chemical parameters and the rheological behavior of bee honeys samples (*Apis mellifera* L.) which have been produced in the state of Piauí. The determination of these parameters, were accomplished in samples of "Marmeleiro" (*Croton sonderianus* Müll. Arg.), "Jitirana" (*Hyptis suaveolens*), "Camaratuba" (*Cratylia mollis* Mart. Benth), "Silvestre" (*Serjania glabrata*) and "Angico de Bezerro" (*Piptadenia muniliformis*) honeys; all these samples collected in the state of Piauí, at Picos, Itainópolis, Vera Mendes and Isaías Coelho cities. It had been followed the recommendation of the Ministry of the Agriculture and provision to make the physical-chemical characterization of these samples. The found medium values were: humidity 19,4%, hydroxymethylfurfural 3,7 mg HMF/kg honey, reducer sugars 77,2%, apparent sucrose 2,47%, ashes 0,10%, free acidity 23 meq/kg honey, insoluble solids in water 0,4%, diastase activity 15,9 DN, °Brix 78,9 and pH 4,2 and all the samples were inside of the demanded patterns by the Ministry of the Agriculture and Provision. The experimental data were collected for the study of the rheological behavior with the aid

Key Words: rheological, honey, physical-chemistry

of a Brookfield viscometer model RVT, with geometry of concentric cylinders, in the temperatures of 20, 25, 30, 35 and 40°C. The rheometric experimental data were adjusted by the empiric models of the rheological behavior of Ostwald-of-Waele (Law of Potency) and Herschel-Bulkley, and both represented a good adjustment to the experimental data. According to the obtained results ($R^2 > 0,98$) we can note that any model in the estimation of rheological behavior of the studied honeys can be used. All the samples presented non-newtonian behavior, with characteristic of pseudoplastics fluid the apparent viscosity of different honeys varied between 0,19 and 6,53 Pa.s for a fix deformation rate (32 s^{-1}). The temperature effect in the apparent viscosity followed a Arrhenius relation.

Key Words: rheological, honey, physical-chemistry

1. INTRODUÇÃO

No início da década de 70, o Brasil colocava-se em 17º lugar na produção de mel entre as nações, chegando em 1985 ao 5º lugar. A partir de 1990 ocorreu o incremento da produção de própolis, geléia real e apitoxina com os respectivos subprodutos, gerando renda adicional aos apicultores. O Brasil é hoje um dos poucos países do mundo que tem abelhas rústicas, não utilizando qualquer produto defensivo em suas colméias, das quais, 80% estão instaladas em florestas nativas, e por isso tem as melhores condições para oferecer ao mercado interno e externo, produtos apícolas orgânicos sem resíduos impróprios à saúde humana (SOMMER, 1998).

O mel é um alimento rico em nutrientes importantes para a dieta humana. Contudo, suas características físicas, químicas e reológicas ainda são pouco conhecidas, principalmente nas regiões tropicais onde existe maior diversidade da flora apícola, associada à taxas elevadas de umidade e temperatura.

Visto sua crescente importância como alimento e substituto do açúcar na alimentação humana, bem como o seu emprego na área terapêutica e sendo, dos produtos das abelhas, o mais conhecido e comercializado, aliado ao fato de que diversos fatores influenciam a composição final do mesmo, faz-se necessária a caracterização deste produto, a fim de identificar fatores importantes nas etapas de processamento e comercialização.

O estudo das propriedades reológicas dos alimentos tem um papel importante na ciência e tecnologia desses produtos. As propriedades reológicas estão intimamente relacionadas com a composição e estrutura dos alimentos, tendo em vista que a viscosidade de cada produto está diretamente relacionada com a qualidade de alimentos que se apresentam na forma de fluidos, influenciando diretamente na textura, e portanto, na qualidade sensorial destes. Por outro lado, é

de grande interesse industrial, o conhecimento do comportamento reológico dos alimentos durante o processo de elaboração (concentração, mistura, pasteurização e outras operações unitárias), tanto para as condições de processamento como para o projeto e seleção de equipamentos (DURAN, 1991), como bombas, trocadores de calor, evaporadores, esterilizadores, filtros e misturadores, os quais devem ser avaliados e projetados considerando as características reológicas dos produtos a serem processados.

1.1 OBJETIVOS

Diante do exposto, o trabalho tem como objetivo estudar méis piauienses para a sua caracterização quanto aos parâmetros químicos e físicos: umidade, hidroximetilfurfural (HMF), açucares redutores, sacarose aparente, minerais-cinzas, acidez livre, sólidos insolúveis em água, atividade diastásica e comportamento reológico nas temperaturas de 20, 25, 30, 35 e 40°C.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O Mel

2.1.1 - Considerações gerais: histórico, definição

Desde tempos remotos o homem aprendeu a apreciar os produtos das abelhas. Inscrições primitivas em cavernas, pinturas e escritos egípcios, leis e trabalhos gregos, atestam o permanente interesse suscitado por estes insetos àqueles povos. Tem assim a apicultura raízes que reportam-na há 15.000 anos atrás (MARCHENAY, 1986).

Dentre os produtos da atividade apícola, o mel foi o que primeiro chamou a atenção do homem. A partir daí, este procurou trazer para junto de si as abelhas, dando início as primeiras tentativas de racionalização da apicultura. Primeiro adoçante natural, o mel suscitou durante muitos anos, questionamento, estudos e hipóteses sobre sua produção e manipulação pelas abelhas. Foi então que, partindo do interesse e/ou da simples curiosidade do homem por este produto, desenvolveu-se a atividade apícola, aos moldes atuais, possibilitando a descoberta e utilização de produtos oriundos desta exploração (SEGUI, 1998).

O mel é um produto universal que ao contrário da maioria dos produtos agrícolas, é explorado em praticamente todo o mundo onde é possível a criação de abelhas. Desconhece assim fronteiras, perpetuando-se sua fama através das várias espécies de abelhas existentes, nativas ou exóticas numa região e, particularmente através da *Apis mellifera* L. conduzidas pelos colonizadores e imigrantes para o novo mundo (NOGUEIRA NETO, 1972), essas espécies de abelhas tornaram-se as principais responsáveis pela produção de mel no mundo. A exploração desordenada das matas e florestas levou, provavelmente, à extinção de espécies nativas em alguns locais, ocupando as *Apis* este espaço, perpetuando assim o interesse e

curiosidade pelo precioso alimento (KERR, 1998; HORN, 1998; RIBEIRO, 1998; PAMPLONA, 1996).

Muitas pessoas procuram descrever o mel, o que levou a diversas interpretações. Particularmente, a partir de adulterações observadas, a comunidade pesquisadora apícola procurou estabelecer parâmetros para sua definição (ROOT, 1985). Apesar de alguns pormenores, concorda-se em termos gerais que o mel é produzido pelas abelhas, recolhido em nectários intra ou extra-florais, processado e armazenado em favos na colméia (GONNET, 1982; CRANE, 1983; MARQUES & WIESE, 1987; HORN, 1996).

HORN (1996), define o mel como sendo uma substância doce, produzida pelas abelhas a partir do néctar de flores ou a partir de secreções de partes vivas de algumas plantas, que são coletadas, transformadas e combinadas com substâncias específicas e estocados em favos.

Segundo a Legislação Brasileira (BRASIL, 2000), "entende-se por mel o produto alimentício produzido pelas abelhas melíferas, a partir do néctar das flores ou das secreções procedentes de partes vivas das plantas ou de excreções de insetos sugadores de plantas que ficam sobre partes vivas de plantas, que as abelhas recolhem, transformam, combinam com substâncias específicas próprias, armazenam e deixam maturar nos favos da colméia".

Entende-se portanto que o mel é um produto da abelha, sendo esta a única capaz de assim o produzir. Esta observação é importante, haja visto a elaboração artificial de certos produtos, como a glicose de milho, que são comercializadas como mel, ou podem ser utilizados para adulteração deste. Todavia, o mel não deve ser caracterizado diretamente como de origem animal, já que a abelha não o secreta (CAMPOS, 1987). Sendo assim processado, o produto final está sujeito à sua origem, enquanto a concentração em açúcares, minerais, vitaminas, etc., será a base para a composição final do mel. É corriqueiro definir-se que o aroma, sabor e a cor

do produto, são variáveis em função da sua origem floral (CRANE, 1983). Para fins de comercialização, o mel poderá ser classificado de acordo com sua origem botânica, procedimento de obtenção, apresentação e segundo seu destino (BRASIL, 2000).

É importante salientar que as abelhas podem ainda elaborar "mel" a partir de outras substâncias açucaradas. Como por exemplo, tem-se a coleta de soluções adocicadas eliminadas por insetos afídeos, que podem ser processadas e armazenadas pelas abelhas.

As definições apresentadas demonstram o consenso sobre a origem floral do mel, todavia, a utilização de expressões como "substâncias doces" ou mesmo "secreções", permite o enquadramento do melato ou pseudoméis como sendo mel. O melato é produzido a partir de "excreções de um grande número de espécies de homópteros, que vivem como parasitas sugadores da seiva elaborada do floema. Estes líquidos açucarados são procurados e colhidos pelas abelhas como se fossem néctar, sofrem os mesmos processos enzimáticos e são tratados igualmente àquele" (BARTH, 1989). Apesar disso, o produto final é diferente do mel floral (ROOT, 1985; JEAN-PROST, 1989), pois apresenta propriedades físico-químicas diferentes (BARTH, 1989), é rico em sais minerais (White, citado por MACHADO & CAMARGO, 1972), o que lhe confere maiores valores de pH (ROOT, 1985). O percentual de açúcares e a diversidade destes oscila, apresentando maiores percentuais de sacarose (ROOT, 1985) e proteína (White, citado por MACHADO & CAMARGO, 1972; ROOT, 1985).

As abelhas podem elaborar mel a partir de outras "substâncias açucaradas", como suco de frutas em decomposição ou resultantes da transpiração das plantas (MARQUES & WIESE, 1987), porém, as abelhas fazem uso destes sucos somente quando não há néctar disponível (Standifer, citado por MACHADO & CAMARGO, 1972).

No Piauí, as abelhas coletam o sumo do caju, pseudofruto do cajueiro (*Anacardium occidentale L.*), quando de sua queda e conseqüentemente rompimento e exposição (FREITAS, 1994). A cultura do cajueiro oferece suporte para a produção apícola piauiense, notadamente no segundo semestre do ano, proporcionando grandes colheitas de mel da flor do cajueiro, bem como do pseudofruto (FREITAS, 1991; ALCOFORADO FILHO, 1998). Nota-se ainda que normalmente o mel da primeira coleta do ano nesta região, possui um considerável percentual de "mel de caju", produzido a partir destes (ALCOFORADO FILHO, 1996).

A produção brasileira de mel é em torno de 25.667.767 kg/ano (IBGE, 2000). Todavia seu potencial apícola, ao contrário das grandes regiões produtoras do mundo, ainda é subaproveitado. Dotado de uma diversidade de flora e clima, o Brasil é um celeiro de mel a ser explorado. De fato, o subaproveitamento dos recursos florais, sua destruição indiscriminada, a falta de tecnologia em algumas regiões, ou ainda a inexistência de uma política apícola nacional e estadual, condenam a atividade ao atraso e a subprodutividade.

A Região Nordeste ocupa o segundo lugar na produção nacional de mel, tendo atingido 1.974.661 kg de mel em 2000, sendo o Piauí o maior produtor de mel da região e o segundo do Brasil (IBGE, 2000). No entanto, ainda utiliza um baixo nível tecnológico de exploração apícola, comprometendo a sua rentabilidade, uma vez que ainda é grande a quantidade de mel desperdiçado por causa da manipulação errônea de meleiros.

2.1.2 - Produção

A produção do mel começa a partir da simbiose abelha-planta que, em troca da polinização, entrega o néctar à abelha. O funcionamento do modelo, em termos de otimização vai depender da existência de enxames e pasto apícola ou para a

manutenção anual do enxame é necessária a diversificação do pasto apícola. A otimização é atingida quando há enxames com número e força suficientes para executar a tarefa. Na apicultura regional, onde há intervenção humana, os indicadores de otimização diferem, pois a média de rendimento por colméia tem que ficar acima da obtida pelos enxames simplesmente inseridos no meio, mesmo em condições ideais (MORAES, 1996).

O néctar é um líquido açucarado, constituído principalmente por água e sacarose, produzido durante a fotossíntese realizada pelas plantas verdes. O néctar contém também outros açúcares (derivados da sacarose), sais minerais, substâncias antibióticas, etc. Muitas flores produzem néctar para atrair as abelhas que irão promover ali a fecundação que dará origem a frutos e sementes. Também existem nectários extraflorais, isto é fora das flores, nesse caso sua função talvez seja a de atrair formigas que poderão proteger a planta. Às vezes, as abelhas também se abastecem nesses nectários. Além disso, as abelhas podem recolher a seiva, assim como a secreção açucarada de insetos sugadores de seiva. Nesse último caso trata-se de melato (NOGUEIRA NETO, 1997).

Roubik *et al.*(1989) citado por NOGUEIRA NETO (1997) afirma que os Trigonini aparentemente evitam colher néctares ricos em frutose e glicose . Essas abelhas, por outro lado, visitam prontamente plantas que possuem pistilo e apresentam teores elevados de sacarose. Comparando suas observações no Paraná e as de pesquisadores nos trópicos, com as de Southewick e colaboradores no estado de New York, verificou que em ambos os casos o teor de açúcar nos néctares era quase igual. No primeiro caso (Paraná) esse teor foi de 19% a 72% (Roubik & Buchmann) e de 10% a 65% (Roubik *et al.*). No caso do estado de New York (Southwick *et al.*) o teor de açúcar variou de 18% a 68%.

Quando as abelhas campeiras chegam à colméia trazendo o néctar, freqüentemente o entregam a outras abelhas, que se encarregam de desidratá-lo. Para isso, durante certo tempo essas abelhas expõem uma gotícula de néctar, na

ponta da língua. Com a evaporação crescente da água existente no néctar, o líquido resultante vai ficando mais denso. Além disso, a maior parte da sacarose presente no néctar, sob a ação de certas enzimas se desdobram em frutose e glicose. Há também produção de piróxido e oxigênio e outros fatores antibióticos, bem como a colheita de substâncias anti-microbianas nas flores (NOGUEIRA NETO, 1997).

Segundo BASSI (1991) para a obtenção do mel, o néctar deve passar por duas modificações: uma física e outra química. A modificação química se resume na perda de grande quantidade de água, provocada pelo calor na colméia, trabalho que é executado pelas operárias. Enquanto o néctar sofre a desidratação, ocorrem mudanças químicas, ou seja, a enzima invertase desdobra a sacarose em glicose e frutose. Quando o mel contiver 20% de água, as abelhas operárias operculam as células com uma cobertura de cera.

Durante quase toda a existência da humanidade, o mel foi praticamente a sua única fonte conectada de substâncias açucaradas, mais precisamente de açúcares em solução. Até hoje o mel é um grande abastecedor de açúcares desdobrados em condições naturais, pois tem uma considerável procura por parte de milhões de pessoas. O mel produzido pelas abelhas indígenas sem ferrão (Meliponíneos) possui muitos apreciadores. Há imensas regiões do planeta onde é mais apreciado que o mel das *Apis*, não somente pelo seu paladar, mas também porque pode ser obtido em certas regiões em melhores condições de produção (NOGUEIRA NETO, 1997).

2.1.3 - Composição química

O mel é uma substância complexa, formada por açúcares, com predominância de glicose e frutose, água, enzimas, aminoácidos, ácidos orgânicos, minerais, substâncias aromáticas, pigmentos, cera, vitaminas e pólen, em quantidade variáveis (WHITE Jr, 1989; BALBACH, 1992; BRASIL, 1997). É constituído em maior parte por

açúcares, sendo aproximadamente 80% a participação deste no mel (BIANCHI, 1989), destacando-se a glicose, frutose e sacarose. A quantidade de frutose é ligeiramente superior a de glicose (MUXFELD, 1982; RAMALHO *et al.*, 1987; MORSE & HOOPER, 1986). BALBACH (1992), acredita que a transferência de glicose para substâncias denominadas "aceitadores", levando à formação de oligossacarídeos, pode explicar porque a relação frutose/glicose é superior a um.

A composição química do mel foi objeto de revisões bibliográficas como a realizada por Campos (1981) e Serrano *et al.* (1985), citado por VILHENA & ALMEIDA-MURADIAN (1999), que sugeriram ser a composição do mel dependente de muitos fatores tais como: espécies colhidas, natureza do solo, raça de abelhas, estado fisiológico da colônia, estado de maturação do mel, condições meteorológicas, etc. Além dos açúcares em solução, o mel também contém ácidos orgânicos, enzimas, vitaminas, acetilcolina, flavonóides, minerais e uma extensa variedade de compostos orgânicos que contribuem para sua cor, odor e sabor, e que até agora ainda não são totalmente conhecidos. Todos estes compostos menores somados, representam em massa, uma pequena parcela do mel.

O percentual de açúcares no mel varia em função da matéria-prima utilizada para sua elaboração. Frutose e glicose representam aproximadamente 70% dos açúcares do mel (CRANE, 1983; CAMPOS, 1987). Além destes, encontram-se ainda sacarose, maltose e outros açúcares em menor quantidade como: isomaltose, nigeriose, turanose, maltulose, kogibiose, neotrellose, genciobiose, laminariobiose, melezitose, erlose, cestose, dextrantiose e outros observados em quantidades vestigiais (GONNET, 1982; Siddiqui & Furgal, 1967/68, citados por CAMPOS, 1987).

Segundo CRANE (1983), "o grupo mais importante do mel depois dos monossacarídeos (glicose e frutose) e da sacarose, são os dissacarídeos redutores (maltose, etc.). Como resultado da atividade enzimática, sua quantidade parece aumentar durante o armazenamento, dependendo das condições de estocagem".

Os principais açúcares do mel originam-se a partir da sacarose. Com a adição da invertase ao néctar, pela abelha, propicia-se a quebra deste sacarídeo em glicose e frutose. O teor de sacarose no mel é variável, sendo porém pequeno, alguns autores admitem um teor de 10% (VERÍSSIMO, 1985), outros de no máximo 5% (GONNET, 1982).

RAMALHO *et al.* (1987), estudando méis de laranja (*Citrus sp.*) encontram um intervalo de 7% a 18% de sacarose para as amostras, tendo como teor médio 12%. Apesar deste intervalo, em geral pode-se supor méis com teores abaixo de 5%, ou aproximadamente 1% (MORSE & HOOPER, 1986).

Além da grande quantidade de açúcares, o mel ainda é composto de água e outras substâncias menores. HOOPER (1981), afirma que "o que torna o mel único é a vasta mistura de substâncias que se encontra nesta pequena parcela, aproximadamente 3%, tais como: vitaminas, pigmentos, enzimas, minerais, ácidos orgânicos, aminoácidos, proteínas, ácidos graxos, hormônios de crescimento de plantas e composto de enraizamento". Esta diversidade de constituintes dá a noção exata de que "qualquer mel depende, principalmente, das fontes vegetais dos quais é derivado, mas também do tempo, solo e outros fatores, fazendo com que dois méis nunca sejam idênticos" (BALBACH, 1992).

Por ocasião da coleta do néctar, este é diluído pelo acréscimo de saliva contendo secreções de várias glândulas, especialmente as hipofaringeanas, que contribuem com enzimas usadas na elaboração do mel, tais como: invertase (glucosidase/sacarase/glucose-invertase), diastase (amilase), glicose-oxidase, catalase e fosfatase (GONNET, 1982; CRANE, 1983; WHITE Jr., 1989; CAMPOS, 1987 e HORN, 1996).

A grande importância das enzimas no mel é verificada pela inversão da sacarose em glicose e frutose (invertase), ou pela característica bactericida (glicose-oxidase), ou ainda por possibilitar conhecer-se o tempo de armazenamento do mel

(diástase) (HOOPER, 1981). A diástase ou amílase presente no mel permite, a partir da determinação do Índice de Diástase, conhecer as condições de armazenamento do mel, se este foi aquecido ou se esteve armazenado durante longos períodos, pois sendo sensível ao calor é facilmente degradada. Sua presença no mel ainda não está totalmente esclarecida, uma vez que o mel não contém amido. Parece haver dúvida de que a maior porção de diástase no mel tenha origem na abelha e a variabilidade provavelmente reflete as condições específicas durante a colheita e maturação do néctar (CAMPOS, 1987).

De fato, alguns pesquisadores questionam a origem da diástase. Alguns atribuem ao pólen presente no mel, outros à abelha, ou néctar, e ainda alguns admitem uma dupla participação destes (FIEHE, 1930; BRAUNSDORF & WEISHAAR, 1933; HOOPER, 1981; SOMMER, 1998).

Atribui-se à glicose-oxidase e a catalase a resistência do mel a ação destruidora de microorganismos como fermentos e fungos. Alguns estariam presentes junto aos nectários, sendo assim conduzidos à colméia. A glicose-oxidase origina o ácido glucônico, a partir da glicose, com a conseqüente liberação de peróxido de hidrogênio, principal responsável pela ação bactericida do mel (RAMALHO *et al.*, 1987). O peróxido de hidrogênio (água oxigenada) protege-o, até que o conteúdo de água esteja baixo, de modo a dificultar a fermentação. No entanto, esta substância é instável e a atividade da glicose-oxidase, em alguns méis, é destruída pela luz visível (CRANE, 1983); a catalase (Peroxidase) influencia a quantidade de peróxido acumulado.

Diversas vitaminas são identificadas no mel, embora em quantidades pequenas e variáveis, de acordo com sua origem floral e seu conteúdo em pólen (WHITE Jr, 1989). As principais vitaminas presentes no mel seriam: B1, B2, B3, B5, B6, B8, B9, A, C, G, H, PP (WHITE Jr, 1989; MUXFELD, 1982; ROOT, 1985). A pequena participação das vitaminas na constituição do mel suscita discussões sobre a importância destas. ROOT (1985) e WHITE Jr (1989) relatam as discordâncias que

existem sobre este assunto, concluindo, no entanto que a contribuição em vitaminas para dieta humana é pequena, não podendo porém ser desprezada.

Os méis são geralmente pobres em proteínas (GONNET, 1982). HOOPER (1983), cita 4 proteínas no mel. CAMPOS (1987), citando diversos autores, discute a origem das proteínas, concluindo serem principalmente de origem animal. Algumas contudo, são de origem vegetal conferindo a certos tipos de méis características gelatinosas, ou ainda são responsáveis pela redução da tensão superficial do mel, tornando-o mais propenso a reter bolhas de ar e formar espuma (CRANE, 1983; ROOT, 1972).

Os aminoácidos são produtos da quebra das proteínas pela ação de processos digestivos ou químicos. Isolaram-se no mel cerca de vinte diferentes aminoácidos. A prolina é o mais importante, seguido pela lisina, o ácido glutâmico e o aspártico. Tem-se ainda: alanina, arginina, cistina, glicina, histidina, isoleucina, leucina, metionona, felilalanina, serina, treonina, triptofano, tirosina e valina (CRANE, 1983; HOOPER, 1983). A presença de aminoácidos nos méis pode fornecer a estes "impressões digitais", relacionando-os ainda com a sua origem floral ou geográfica (CAMPOS, 1987; BARTH *et al.*, 1996; SANTOS, 1996).

O hidroximetilfurfural (HMF) é outro produto presente no mel de abelha, resultante da quebra de açúcares hexoses, como a glicose e frutose (SOMMER, 1998), ou frutose simplesmente como afirmam CAMPOS (1987) e HOOPER (1981), na presença de ácidos. Este processo é acelerado pelo calor ou devido ao envelhecimento. Sua presença causa provavelmente o escurecimento do mel, mas não é prejudicial (HOOPER, 1981).

A quantidade de HMF é muito pequena em méis recentemente colhidos e importante para indicar as condições de manipulação e armazenagem (BIANCHI, 1992). Os níveis de HMF aceitos pela Comunidade Européia, bem como pela Legislação Brasileira, são de no máximo 60 mg/kg (VERÍSSIMO, 1987; HOOPER,

1981; CRANE, 1983). Na Alemanha o máximo admitido é de 14 ppm, enquanto na União Européia aceita-se 15 ppm. VERÍSSIMO (1987) indica um valor médio de HMF de 5,83 mg/kg, para méis de Santa Catarina.

Além da temperatura e do tempo de armazenagem, o pH é importante para a velocidade de formação do HMF. Sabe-se todavia que méis de igual pH, possuem níveis distintos de HMF (BIANCHI, 1992). Em alguns casos o nível do HMF, particularmente em regiões tropicais, pode estar acima do estabelecido pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 2000), pois forma-se naturalmente em qualquer tipo de mel (RAMALHO, 1985).

Alguns microorganismos estão presentes no mel, particularmente leveduras. Quando a umidade eleva-se e a temperatura é favorável, estes passam a proliferar, iniciando o processo fermentativo. *Zygosaccharomyces*, *Saccharomyces*, *Nematóspora*, *Schizosaccharomyces* e *Tórula*, são exemplos de microorganismos presentes em méis. O acesso ao mel poderá dar-se através do néctar, do corpo das abelhas, do solo ao redor da colméia, do ar do apiário, dos equipamentos, ou ainda das embalagens de envase (CRANE, 1983; BARTH, 1996; MORETTO, 1996). Embora o mel possua em si substâncias com ação bactericida baseada na produção de peróxido de hidrogênio, a partir da glicose-oxidase, a inversão deste favorecia a proliferação dos microorganismos (HOOPER, 1983).

Genericamente pode-se dizer que o mel é composto de glicose (80%), água (17%) e outras substâncias (3%). Entre estas substâncias encontram-se minerais, enzimas, ácidos orgânicos, aminoácidos, proteínas e vitaminas. O mel é, portanto, um alimento complexo do ponto de vista biológico e também analítico, pois sua composição varia muito em função de sua origem floral geográfica e de safra para safra, envolvendo condições climáticas. O estudo dos açúcares do mel vem sendo efetuado desde o século passado, já que os açúcares são os compostos mais abundantes do mel, porém um avanço significativo nesta área foi alcançado a partir dos anos 50, pois a adulteração do mel com xarope de amido de milho ou com

açúcar invertido passou a ser freqüente nos EUA e os órgãos fiscalizadores desenvolveram então métodos analíticos visando averiguar a presença de fraude. Os açúcares do mel originam-se do material açucarado coletado pelas abelhas que pode ser: a) Néctar das flores- possui apenas (ou principalmente) sacarose, frutose e glicose, que podem estar em proporções diferentes em função do tipo de flor; b) Exsudatos sacarínicos de alguns apídeos que sugam o sistema vascular das plantas – são coletados pelas abelhas originando o mel que chama-se melato (honeydew), contendo sacarose, algumas dextrinas de baixo peso molecular, glicose, frutose e segundo alguns autores o trissacarídeo melizitose; c) Exsudatos de cana-de-açúcar-mel e cana contendo sacarose. Vários trabalhos procuram quantificar e identificar os oligossacarídeos presentes no mel, com a finalidade de verificar a possibilidade de detectar-se a adulteração com xaropes artificiais ou mesmo identificar o mel quanto à sua origem botânica ou geográfica através de proporções definidas entre estes açúcares (BASTOS, 1994).

2.1.4 - Métodos de avaliação e controle de qualidade

Para que se obtenha um perfeito conhecimento da constituição do mel e de sua qualidade, este deverá ser analisado sob vários aspectos, tais como: composição botânica, constituição físico-química, espectro microbiano e parâmetros reológicos. Em geral a escolha do método de análise será procedida de acordo com o laboratório ou centro de pesquisa, no entanto, tem-se como referência metodologias reconhecidas nacionalmente e internacionalmente, propostas pela AOAC (1997), Instituto Adolfo Lutz (LARA *et al.*, 1985), FAE (1994) e APHA (1992). O Ministério da Agricultura, através da Instrução Normativa nº11, de 20 de outubro de 2000, indica as análises as quais deverá ser submetido o mel brasileiro, bem como as metodologias. A eficiência dos métodos, é medida pelo nível de precisão desejada, bem como pelos padrões de composição adotados para cada país, haja visto a possibilidade de existirem méis de caráter regional.

Reconhecendo a dificuldade existente na regulamentação de normas para produção e comercialização do mel devido à particularidades locais, os países membros do MERCOSUL, através da Resolução MERCOSUL/GMC/RES Nº 89/99, estabeleceram parâmetros para resolver as discrepâncias existentes, permitindo deste modo a circulação do produto entre estes.

De acordo com as normas brasileiras, mel de abelhas deverá ser avaliado em função de suas características físico-químicas. Deverão ser realizadas as seguintes análises: açúcares redutores, umidade, sacarose aparente, sólidos insolúveis em água, minerais, acidez livre, atividade diastásica e hidroximetilfurfural (BRASIL, 2000).

2.1.4.1 – Acidez

A acidez é uma característica importante do mel, uma vez que influenciará no sabor e apresentação do produto. Pode ser influenciada pela origem botânica do néctar, por reações enzimáticas que ocorrem continuamente nestes méis, pela quantidade de minerais ou pela ação de microrganismos no interior do produto (HORN, 1996; ROOT, 1985 e Ruiz-Arqueso & Rodrigues-Navarro, citados por WHITE Jr., 1989).

O mel contém ácidos que contribuem para sua resistência a vários organismos (CRANE, 1983; ROOT, 1985). Dentre estes destaca-se o ácido glucônico, produzido pela ação da glicose-oxidase (CORTOPASSI-LAURINO & GELLI, 1991; CAMPOS, 1987; WHITE Jr., 1989; FARIA, 1993). Além deste, outros ácidos são citados: fórmico, acético, benzóico, butírico, cítrico, isovalérico, clorídrico, cúprico, fosfórico e tânico (MUXFELD, 1982; HOOPER, 1981; VERÍSSIMO, 1985; HORN, 1996).

Segundo BIANCHI (1992), os ácidos do mel resultam fundamentalmente das secreções salivares das abelhas através de processos enzimáticos e fermentativos.

Os ácidos apresentam-se em pequena quantidade (<0,5%), porém influem sobre o sabor do mel (ROOT, 1985). Segundo FLECTMANN *et al.* (1982), todo mel é ácido. Acreditava-se que essa característica estivesse associada a níveis elevados de ácido fórmico, no entanto comprovou-se que sua presença ocorre somente em quantidades diminutas (GONNET, 1982; CRANE, 1983; ROOT, 1985; WHITE JR., 1989).

Geralmente mede-se o valor da acidez do mel em miliequivalente-grama por quilograma (meq/kg). Segundo o Ministério da Agricultura admite no máximo 50 meq/kg de acidez livre nos méis brasileiros (BRASIL, 2000). Este padrão é adotado pelos países integrantes do MERCOSUL, bem como pela FAO/OMS (CAMPOS, 1987). GONNET (1982), afirmando ser a acidez variável entre tipos de méis, cita um intervalo de 10 a 60 meq/kg de mel.

DURAN *et al* (1996) ao analisar amostras de méis brasileiros, encontrou um intervalo entre 7,5 e 67,0 meq/kg, com valor médio de 28,1 meq/kg. HORN (1997) avaliando méis nordestinos, verificou um intervalo de 17,9 a 49,3 meq/kg. VERRÍSSIMO (1987) ao analisar méis de Santa Catarina, constatou acidez média de 21,38 meq/kg de mel.

2.1.4.2 - Resíduo mineral

O teor de minerais no mel é descrito como cinzas ou resíduo mineral. É considerada uma análise importante na avaliação da qualidade e origem do produto, uma vez que mel de flores apresenta menor quantidade de minerais que o melato (GONNET, 1982; ROOT, 1985; WHITE Jr., 1989; HORN, 1996). Os minerais estão

presentes em pequenas quantidades, 0,02% a 1,0% (CRANE, 1983; ROOT, 1985; MORSE & HOOPER, 1986).

O percentual de cinzas em méis brasileiros não deverá exceder 0,6% para os de origem floral, e até 1,2% para os méis de melato e suas misturas (BRASIL, 2000). VERÍSSIMO (1985) caracteriza o mel como sendo de primeira qualidade quando o teor de cinzas é de no máximo 0,3%.

Foram encontrados no mel os seguintes elementos: Ca, P, S, K, Cl, Na, Mg, F, Mn, Cu, Si, e N (ROOT, 1985; MUXFELD, 1982). Os méis escuros, em geral apresentam resíduo mineral mais elevado que os méis claros (CRANE, 1983; MORSE & HOOPER, 1986; WHITE Jr., 1989). O potássio é o elemento que está em maior quantidade no mel, praticamente 1/3 das cinzas e o sódio chega a 1/10 no máximo (SOMMER, 1998).

O conteúdo de minerais no mel varia ainda em função do tipo de solo. Lasceve & Gouner (1974), citados por CAMPOS (1987), demonstram a relação existente entre a composição mineral do mel e sua origem geográfica. FELLER-DEMALSY *et al.* (1989) confirmaram a correlação entre o conteúdo mineral e o local de procedência dos méis.

2.1.4.3 – Umidade

A determinação da umidade no mel está relacionada diretamente às características que permitem o armazenamento do produto, bem como sua conservação após o fracionamento para comercialização. Neste caso, o excesso contribui para o desenvolvimento de microorganismos fermentativos e conseqüente deterioramento do produto (CRANE, 1983). Mede-se sua quantidade em percentual de umidade, utilizando refratômetro e a tabela de CHATAWAY (AOAC, 1997). A

umidade é uma característica importante, influenciando também, a granulação e a apresentação do produto (WHITE Jr., 1989).

O teor de umidade no mel é variável (GONNET, 1982; ROOT, 1985), assim como os demais constituintes, e será influenciado pela umidade do néctar, pelas condições ambientais, pelo fluxo nectarífero quando abundante, o que dificultaria a retirada da água, ou ainda pelo manejo inadequado do apicultor por ocasião da extração, embalagem e armazenamento do mel. Estes fatores isolados ou em conjunto, contribuem para elevação da umidade do mel (RUHLE, 2000).

O percentual de umidade do mel embora variável, deverá está em torno de 17%, condição considerada ideal. Admite-se, no entanto um teor de 17% a 20% (CRANE, 1983). MACHADO & CAMARGO (1972) ao estudarem alguns méis, constataram uma variação de 13% a 25%, enquanto JEAN-PROST (1989) refere-se ao intervalo de 14% a 23%, porém, todo mel com umidade acima de 18% está sujeito a fermentação (Gonnet citado por RAMALHO, 1985). DURAN *et al.* (1996) observaram um intervalo de 15,9% a 22,4% de umidade em méis brasileiros, com média de 18,7%. VERÍSSIMO (1985) considera o intervalo de 17% a 18% como ideal, embora admita a variação de 16% a 20%.

De acordo com a Legislação Brasileira o teor máximo de umidade nos méis não deve superar os 20% (BRASIL, 2000). Para a comunidade Européia admite-se um teor médio de 21%, enquanto que para a Farmacopéia Portuguesa pode-se atingir 22% (FELLER-DEMALSY *et al.*, 1989). Porém, não é raro que méis de reconhecida autenticidade apresentem umidade acima dos índices de exigência legal (20% a 21%) ou ideal (18%) de qualidade (Crane & Walker, citados por RAMALHO, 1995).

2.1.4.4 - Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH do mel é função da quantidade de ácidos ionizáveis que contém, bem como da composição mineral (GONNET, 1982).

A maior parte dos néctares são ácidos ou neutros (pH 3,7 a 6,4), mas alguns são alcalinos (pH 9,1), o que pode influenciar o pH do mel (CRANE, 1983). Quando a taxa de minerais é elevada, o pH do mel tende a neutralidade (GONNET, 1982).

A determinação do potencial hidrogeniônico (pH), é uma medida complementar na avaliação da qualidade do mel (BRASIL, 1985), relacionando-se diretamente com a acidez. Quanto menor o pH maior a acidez ativa (Walton, citado por ROOT, 1985). Apesar disso a Instrução Normativa nº11, de 20 de outubro não inclui a determinação do pH como análise obrigatória (BRASIL, 2000).

Assim como os demais constituintes do mel o pH poderá variar, de acordo com BRASIL (1985) os méis brasileiros devem apresentar valores num intervalo de 3,3 a 4,6.

O mel em geral é ácido, apresentando um pH de 3,9 (ROOT, 1985; CAMPOS, 1987). DURAN *et al.* (1996) ao analisarem méis brasileiros das regiões sul, norte e sudeste determinaram como valor médio o pH 3,8 para um intervalo de 3,0 a 5,7, e com relação ao nordeste verificaram valores variando de 3,0 a 4,4.

2.1.4.5 – Hidroximetilfurfural (HMF)

As adulterações no mel são feitas com emprego de xarope de milho, de beterraba e "xarope invertido". O xarope invertido é obtido por hidrólise ácida do xarope de milho e contém teores altos de hidroximetilfurfural (HMF). O mel das

abelhas contém pequena quantidade de HMF, mas com o armazenamento prolongado em temperatura ambiente alta e/ou superaquecimento estes valores aumentam. Assim, a pesquisa deste composto é feita no mel para verificar a existência de adulteração com açúcar comercial, ou estocagem inadequada ou, se o produto foi superaquecido. Caso isso ocorra, o mel terá seu valor nutricional alterado. O HMF servirá como indicador da qualidade do mel, pois quando este fator estiver presente em concentrações elevadas, provavelmente, já poderá ter ocorrido perda de algumas enzimas, como por exemplo, a glicose-oxidase (VILHENE & ALMEIDA-MURADIAN, 1999).

Todo mel passa por transformações que alteram sua composição inicial estas modificações podem ser originadas a partir de fatores internos e externos ao produto (GONNET, 1982).

Analisando a composição do mel verifica-se a presença de enzimas, como a invertase e a diastase. Estas continuam ativas, após a elaboração do mel proporcionando pequenas alterações, sendo portanto consideradas de importância para o controle de armazenamento do produto (CRANE, 1983). O nível de hidroximetilfurfural, igualmente presente, eleva-se no decorrer do tempo (CRANE, 1983; MENDES, 1983; ROOT, 1985; CAMPOS, 1987; BIANCHI, 1989). Além das características inerentes ao produto, outros fatores contribuirão para modificá-lo. Assim, o acúmulo de HMF, reações de fermentação e cristalização proporcionarão pequenas ou grandes alterações no mel. Os fatores externos podem ser divididos em ambientais e aqueles originados a partir da manipulação do produto durante e após a colheita. Luz, temperatura e umidade são os principais fatores deteriorantes do mel (MENDES, 1983). Os dois primeiros atuam sobre as enzimas e o acúmulo de HMF, no segundo caso, o aumento de umidade e a contaminação por agentes microbianos, contribuem para a deterioração mais repentina, levando à fermentação.

2.1.5 - Cristalização

Por "modificar" aparentemente o mel, a cristalização despertou ao longo dos tempos a curiosidade dos pesquisadores. Sendo uma solução supersaturada de açúcar, com o tempo este excesso precipita, formando cristais (MORSE & HOOPER, 1986). A cristalização do mel ocorre a partir da precipitação da glicose com a formação de hidratos de carbono (CAMPOS, 1987).

A cristalização do mel é influenciada pela temperatura, percentual de água, composição do mel, presença de partículas (núcleos de cristalização) como pólen, cera e poeira, por bolhas de ar, ou pelo tipo de embalagem (CRANE, 1983; MORSE & HOOPER, 1986; HOOPER, 1983). A temperatura ideal para o início da cristalização é de 13°C a 15°C, interrompendo-se o processo quando atinge de 34° a 36°C (HOOPER, 1983).

CRANE (1983), relatou que méis com menos de 17% de umidade são mais susceptíveis de cristalizar que aqueles com 18%, e méis com mais de 30% de glicose raramente ou nunca cristalizam.

A cristalização provoca a mudança da coloração do mel, tornando-o opaco (GONNET, 1982; CAMPOS, 1987). HOOPER (1987) alerta que méis claros tendem a perder o paladar quando cristalizam, ao contrário daqueles escuros que, devido ao teor mais elevado de minerais e proteínas, conservam o sabor original.

Ao granular, o mel poderá atingir variados aspectos ou texturas, em função da origem floral e manipulação sofrida. Tem-se assim, méis com textura cremosa, pastosa, de granulação fina ou grosseira. A cristalização é uma característica do mel puro, voltando ao estado líquido quando aquecido em banho-maria à 50°C - 60°C (NORONHA, 1997).

2.1.6 – Higroscopicidade

Por ser constituído basicamente de açúcares, o mel é altamente higroscópico, sendo esta característica atribuída à frutose (GONNET, 1982; FARIA, 1983). Sua manipulação pelas abelhas quando em período de chuva é dificultada, haja visto a super-saturação de água do ar (RAMALHO, 1985). Normalmente as abelhas não tapam os opérculos antes de terem atingido pelo menos 82,5% de matéria seca (CAMPOS, 1987). Contudo, é possível encontrarmos méis com percentuais de umidade acima de 18%. Isto deve-se provavelmente à particularidades de alguns méis, às condições ambientais desfavoráveis, ou a um grande fluxo de néctar a ser trabalhado, em curto período de tempo (Worwohl. citado por RAMALHO, 1985).

2.2 – Reologia

× A ciência que estuda a relação entre a deformação do fluido devido à força nele aplicada é chamada de reologia. No processamento de alimentos, o interesse principal está voltado para os coeficientes de transferência de calor, perda de carga em tubulações, taxas de evaporação, etc., que são estudados na área de engenharia. Contudo, a reologia também tem aplicação prática no controle de qualidade de produtos alimentícios (VAN WAZER *et al.*, 1963).

Reologia consiste no estudo físico da deformação dos materiais sob a ação de forças mecânicas (CHEFTEL *et al.*, 1989; SGARBIERI, 1998). O parâmetro fundamental obtido no estudo do comportamento reológico de alimentos líquidos e semi-líquidos, é a viscosidade, a qual é considerada o meio de fundamento para se caracterizar a textura do fluido (ALONSO *et al.*, 1990). As propriedades reológicas podem influenciar no caráter sensorial de um alimento, especialmente a textura. Sendo as boas características sensoriais consideradas como fator crucial na

aceitabilidade de novos produtos alimentícios pelos consumidores (BORDERIAS & MONTERO, 1988).

A viscosidade ou, mais abrangente, o comportamento reológico dos alimentos fluidos é usado, de um lado como medida de qualidade desses produtos e por outro, é indispensável para o projeto, avaliação e operação dos equipamentos de processos (IBARZ *et al.*, 1996). No projeto de equipamentos destinados ao processamento de alimentos fluidos, o conhecimento das propriedades ligadas aos seus padrões de comportamento reológico determina a sua concepção e o dimensionamento de bombas, tubulações, filtros, agitadores, evaporadores, pasteurizadores, resfriadores, congeladores, etc. (QUEIROZ *et al.*, 1996). χ

Vale ressaltar que o conhecimento do comportamento reológico de produtos alimentícios é importante em várias outras aplicações, entre as quais, no controle de qualidade, na correlação com a avaliação sensorial do produto, visando a aceitabilidade pelo consumidor, na compreensão de estrutura de polímeros e na correlação da viscosidade com outras propriedades físicas, cujas determinações sejam mais simples (SARAVACOS, 1970; HOLDSWORTH, 1971; BOGER & TIU, 1974; RAO, 1986; ALVARADO & ROMERO, 1989).

Os alimentos são materiais estruturalmente e reologicamente complexos. Muitos alimentos ainda apresentam características que variam de um ponto a outro dentro de sua massa. Apesar destes fatores, vários pesquisadores tem observado que os alimentos se comportam de uma maneira previsível e que conceitos baseados nas teorias de elasticidade, plasticidade e viscosidade podem ser usados para interpretar suas respostas à forças a eles aplicadas (FINNEY Jr., 1973). Atualmente, os parâmetros reológicos tem sido utilizados em diferentes campos da ciência. JENKINS *et al.* (1978), estudaram a influência da viscosidade de fibras dietéticas e análogas (guar, pectina, carragena, metilcelulose, dentre outras) na absorção de glicose pelo organismo humano.

Segundo BEZERRA (2000), fluidos reais deformam-se irreversivelmente, ou seja, quando tensões são aplicadas sobre esses materiais, eles escoam. A energia de deformação é dissipada dentro dos fluidos em forma de calor e não pode ser recuperada se a tensão aplicada for cessada. Aqui é importante ressaltar que devido ao escoamento, esses materiais são estudados na reologia, pela relação entre sua taxa de deformação e tensão de cisalhamento

De acordo com BARNES *et al.* (1989), Isaac Newton introduziu o conceito de viscosidade em 1687, dando atenção para líquidos (água e óleos) e apresentou hipóteses associadas com o escoamento simples de fluidos entre duas placas paralelas. A viscosidade é sinônimo de atrito interno e é a medida da resistência ao escoamento entre camadas de moléculas do fluido. χ

χ 2.2.1 – Classificação do comportamento reológico

Os fluidos podem ser classificados como newtonianos ou não-newtonianos. Esta classificação envolve a determinação e análise da relação entre a tensão de cisalhamento e o gradiente de velocidade, que é chamado de taxa de deformação, para uma determinada condição de temperatura e pressão. Assim sendo, a viscosidade de um fluido alimentar depende da sua temperatura, composição e pode também depender da taxa de deformação aplicada, da duração da aplicação da taxa de deformação, bem como do histórico anterior de cisalhamento (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977a, 1977b; RAO, 1986).

2.2.1.1– Fluidos Newtonianos

Quando o fluido apresenta uma relação linear entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento, ou seja, a viscosidade é constante, é chamado de newtoniano. Portanto, os fluidos newtonianos tem um comportamento característico onde a viscosidade não depende da taxa de deformação. Uma única determinação experimental é suficiente para definir o único parâmetro reológico do fluido newtoniano, a sua viscosidade absoluta, pois a razão entre a tensão cisalhante e a taxa de deformação é constante. Alguns produtos alimentícios que apresentam esse tipo de comportamento são: leite, café, cerveja, vinho, óleo, mel e sucos de maçã e uva, desde que submetidos a situações de taxa de deformação moderada. (MULLER, 1977; RAO, 1986; GONÇALVES, 1989).

A equação matemática que descreve seu comportamento é dada por:

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (2.1)$$

Onde:

τ = Tensão de cisalhamento ($\text{N.m}^{-2} = \text{Pa}$)

$\dot{\gamma}$ = Taxa de deformação (s^{-1})

η = Viscosidade absoluta (Pa. s)

De acordo com Rao, citado por QUEIROZ (1998) e TELL *et al.* (1996), inúmeros produtos alimentícios em forma de solução aquosa, solução de sacarose, sucos de frutas clarificados, apresentam comportamento newtoniano.

A representação gráfica, curva de escoamento ou reograma dos fluidos newtonianos apresentam relação linear. O reograma em coordenadas cartesianas, de um fluido newtoniano é linear e passa pela origem, sendo a sua inclinação igual a viscosidade do fluido. Pode-se analisar o comportamento de um fluido através da relação entre a sua viscosidade e a taxa de deformação. Para os fluidos

newtonianos, esta relação é uma reta paralela ao eixo da taxa de deformação (CONCEIÇÃO, 2000).

2.2.1.2– Fluidos não-newtonianos

Quando a relação entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação não é constante, dependendo ainda do tempo de observação ou de forças de recuperação elástica, os fluidos são chamados de não-newtonianos. Existe na literatura vários modelos empíricos que correlacionam a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação (SHERMAN, 1999; SKELLAND, 1967; VAN WAZER *et al.*, 1963). A maioria dos alimentos fluidos, tais como sucos e purês de frutas, pastas e emulsões não apresentam viscosidade constante (RAO, 1986; SARAVACOS, 1970; VAN WAZER *et al.*, 1963).

Os fluidos não-newtonianos são classificados como independentes do tempo, dependentes do tempo e viscoelásticos (Figura 2.1). Para os fluidos não-newtonianos independentes do tempo, à temperatura e composição constantes, a viscosidade aparente depende somente da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977a). Para efeito de estudo, os fluidos não-newtonianos são classificados em categorias, de acordo com o desvio que apresentam à Lei de Newton da viscosidade.

Para fluidos não-newtonianos o termo de viscosidade é substituído por η_a , que é a viscosidade aparente, onde esta é dada em função do gradiente de velocidade. A viscosidade aparente é definida como o quociente entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, isto é, a tangente da curva de escoamento no ponto considerado:

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.2)$$

Onde:

η_a = Viscosidade aparente (Pa.s)

τ = Tensão de cisalhamento (N.m⁻² = Pa)

$\dot{\gamma}$ = Taxa de deformação (s⁻¹)

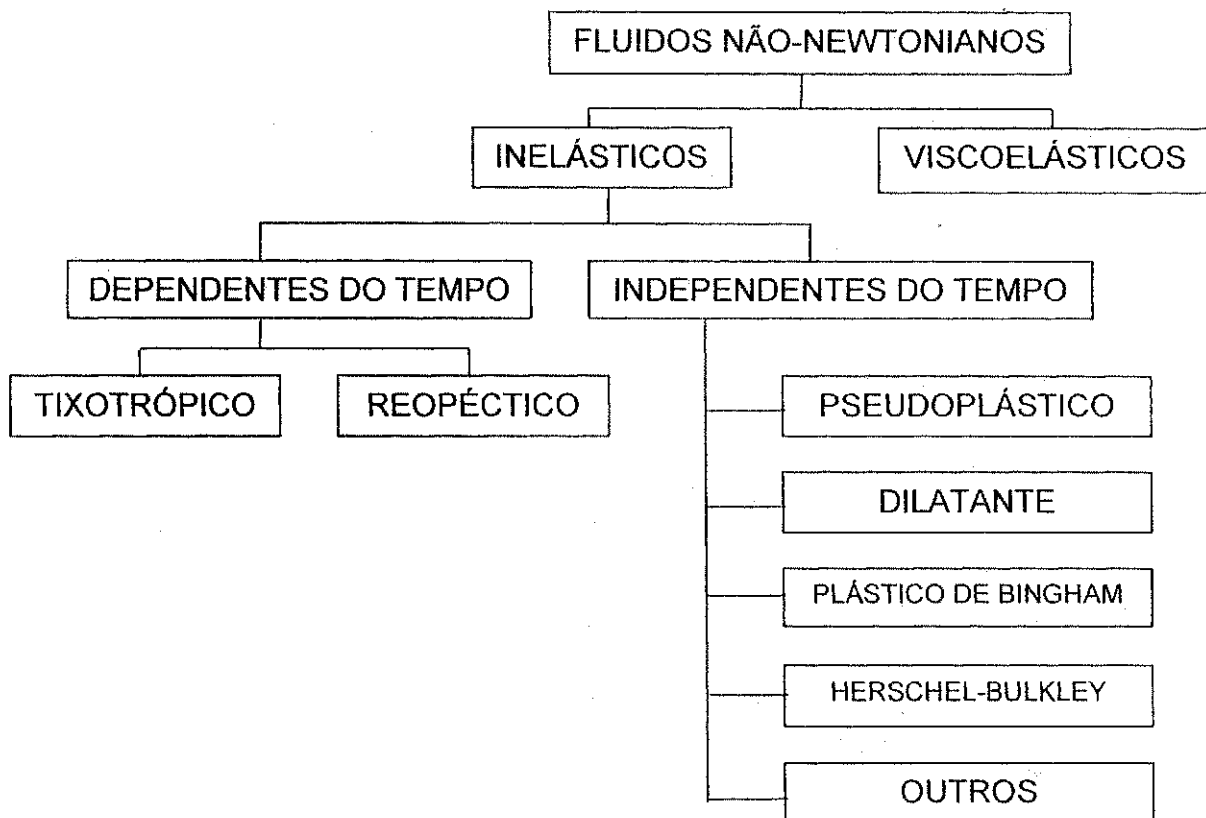


Figura 2.1 - Classificação dos fluidos não-newtonianos

2.2.1.2.1 – Dependentes do tempo

Os fluidos não-newtonianos dependentes do tempo são divididos em tixotrópicos e reopécticos.

De acordo com GONÇALVES (1989), nos fluidos tixotrópicos, a viscosidade aparente diminui com o aumento do tempo de aplicação da tensão de cisalhamento. Os fluidos tixotrópicos são similares aos pseudoplásticos, mas no primeiro caso, a viscosidade aparente diminui com o tempo embora a taxa de deformação seja mantida constante. Extrato de tomate, que é tixotrópico, torna-se menos viscoso quando sujeito à agitação permanente, cessada a agitação torna a apresentar a aparência de um produto mais espesso e consistente. Outros produtos alimentícios considerados tixotrópicos são: suco de maçã com polpa, suco concentrado de maracujá, alguns méis de abelha, leite condensado açucarado, clara de ovo e maionese.

Os fluidos reopécticos apresentam comportamento inverso aos tixotrópicos, entretanto são casos muito complexos e raros, notadamente na área de alimentos processados. Segundo SILVA (1999), fluidos desse grupo apresentam comportamento reológico semelhante ao comportamento dilatante, onde a viscosidade aparente aumenta com a taxa de deformação. Diferencia-se, entretanto, porque esse aumento não está relacionado somente com a taxa de deformação, mas também depende do tempo, ou seja, a viscosidade aparente e a tensão de cisalhamento crescem reversivelmente com o tempo de aplicação da taxa de deformação, quando a temperatura, a composição e a taxa de deformação são mantidas constantes.

2.2.1.2.2 – Independentes do tempo

Fluidos pseudoplásticos

BEZERRA (2000), afirma que neste grupo está a maioria dos fluidos de componentes de comportamento não-newtoniano. São fluidos independentes do tempo, sem tensão residual, que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais. Para os fluidos pseudoplásticos, a taxa de acréscimo na tensão de cisalhamento diminui com o aumento da taxa de deformação, ou seja, o índice de comportamento de fluxo é menor que um e a viscosidade aparente do fluido diminui ao aumentar a taxa de deformação do mesmo.

Esta classe é representada por produtos como polpas e sucos concentrados de frutas, caldos de fermentação, melaço de cana (CHARM, 1960; HOLDSWORTH, 1971).

De acordo com SILVA (1999), o comportamento pseudoplástico é explicado pela modificação da estrutura de cadeias longas de moléculas com o aumento do gradiente de velocidade. Essas cadeias tendem a se alinhar paralelamente às linhas de corrente diminuindo a resistência ao escoamento. Esses fluidos tendem a um comportamento newtoniano a grandes gradientes de velocidade, devido ao total alinhamento molecular. Também em baixos gradientes de velocidade tendem ao comportamento newtoniano devido a distribuição totalmente casual das partículas.

Fluidos dilatantes

Esse comportamento é raramente encontrado, tendo sido reportado em mel de abelha proveniente da florada do eucalipto, cujas propriedades dilatantes, assim

como a viscoelasticidade, são atribuídas a polímeros de dextrana, e em suspensões de goma de amido. É caracterizado pelo aumento da viscosidade aparente com a taxa de deformação, ou seja, a tangente em cada ponto da curva de escoamento (viscosidade aparente) aumenta com o aumento da taxa de deformação (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977a, 1977b; RAO, 1986, SILVA, 1999).

Diante da necessidade de bombeamento do fluido, esse comportamento é importante, pois poderá se tornar semi-sólido no interior da tubulação, dificultando a operação industrial. A maioria dos fluidos dilatantes retorna à sua viscosidade original quando a agitação é cessada (GONÇALVES, 1989).

Fluidos Plástico de Bingham

Os fluidos de Bingham são independentes do tempo, apresentando tensão inicial a partir da qual o fluido apresenta um comportamento linear na relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. São geralmente soluções e ou suspensões concentradas de polímeros, como são os casos de amido e proteínas, conforme VAN WAZER *et al.* (1963) e de acordo com MENJIVAR & RHA (1980) são exemplos desse comportamento a mostarda, o catchup, o chocolate fundido, purê de batata e creme batido.

2.2.2 – Modelos reológicos

Esses modelos podem ser isotérmicos ou não isotérmicos. No primeiro caso, descrevem comportamento do fluido a uma temperatura fixa, no último, incluem relações específicas, como funções da temperatura. Dependendo do modelo utilizado, possuem ou não a tensão inicial (BRANCO, 1995).

2.2.2.1 - Modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência)

O modelo de Ostwald-de-Waele, também conhecido como Lei da Potência, é muito utilizado para representar os fluidos não-newtonianos, principalmente os pseudoplásticos e dilatantes. É uma equação de dois parâmetros (K e n) e pela sua simplicidade pode ser facilmente manuseável na forma logarítmica (BEZERRA, 2000). É definido matematicamente pela equação:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2.3)$$

ou

$$\log_{10} \tau = \log_{10} K + n \log_{10} \dot{\gamma} \quad (2.4)$$

Onde:

τ = Tensão de cisalhamento (Pa)

K= Índice de consistência (Pa.sⁿ)

n= Índice de comportamento de fluxo (adimensional)

$\dot{\gamma}$ = Taxa de deformação (s⁻¹)

A viscosidade aparente (η_a) é expressa como:

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.5)$$

Segundo QUEIROZ (1998), a equação que representa o modelo newtoniano pode ser igualada ao caso particular da equação de Ostwald-de-Waele, com n=1 e o valor de K igual ao valor de η . Na Equação (2.3), pode-se observar que para valores de n<1 a viscosidade aparente η_a decresce com o aumento do gradiente de

velocidade, caracterizando o fluido como pseudoplástico, enquanto que no caso inverso, $n > 1$, é descrito o comportamento dos fluidos dilatantes.

O modelo da Lei da Potência tem sido utilizado para descrever o comportamento reológico de polpa de manga (BEZERRA, 1997), suco de acerola (MATSUURA *et al.*, 1998).

2.2.2.2 - Modelos que consideram a tensão inicial

GONÇALVES (1989), descreve que estes modelos são usados para fluidos que só iniciam o processo de escoamento quando a tensão de cisalhamento aplicada supera uma tensão inicial que é própria de cada um destes materiais.

2.2.2.2.1 – Modelo de Bingham

Para que haja alguma deformação, o fluido plástico de Bingham ou plástico ideal requer a aplicação de uma tensão mínima, denominado de limite de escoamento. A equação matemática que define o fluido de Bingham é:

$$\tau - \tau_0 = \eta_p \dot{\gamma} \quad (2.6)$$

Onde:

τ = Tensão de cisalhamento (Pa)

τ_0 = Tensão inicial (Pa)

η_p = Viscosidade plástica de Bingham (Pa.s)

$\dot{\gamma}$ = Taxa de deformação (s^{-1})

O modelo de Bingham tem sido empregado para descrever o comportamento reológico de purê de damasco (SCHALLER & KNORR, 1973).

2.2.2.2.2 – Modelo de Casson

O modelo de Casson tem sido usado para alimentos, particularmente para estimar a tensão inicial (K_{oc}). Este modelo foi desenvolvido para escoamento de suspensão de partículas interagindo em um meio newtoniano, conforme relatado por GEHRKE (1996). CASSON (1959) propôs a seguinte expressão matemática:

$$\tau^{1/2} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{1/2} \quad (2.7)$$

Onde:

τ = Tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = Taxa de deformação (s^{-1})

$K_{oc}^2 = \tau_{oc}$ = Tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_c = Viscosidade plástica de Casson ($Pa \cdot s^n$)

2.2.2.2.3 – Modelo de Herschel-Bulkley

De acordo com RAO & COOLLEY (1982), o modelo de Herschel-Bulkley é uma forma modificada do modelo de Ostwald-De-Waele, ou seja, o que diferencia um do outro é a presença (no primeiro modelo) ou ausência (no último) do termo da

tensão de cisalhamento inicial. É um modelo análogo ao de Bingham, sendo representado por a seguinte equação matemática:

$$\tau - \tau_{OH} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2.8)$$

Onde:

τ = Tensão de cisalhamento (Pa)

τ_{OH} = Tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_H = Índice de consistência (Pa.sⁿ)

n_H = Índice de comportamento de fluxo (adimensional).

$\dot{\gamma}$ = Taxa de deformação (s⁻¹)

2.2.2.2.4 – Modelo de Mizrahi-Berk

MIZRAHI & BERK (1972), desenvolveram um modelo reológico a partir da modificação do modelo de Casson. O desenvolvimento deste modelo foi baseado no modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico. A equação resultante é:

$$\tau^{1/2} - K_{OM} = K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (2.9)$$

Onde:

τ = Tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = Taxa de deformação (s⁻¹)

K_M = Índice de consistência (Pa.sⁿ)

n_M = Índice de comportamento de fluxo (adimensional)

K_{OM} = Raiz quadrada da tensão inicial (Pa)

De acordo com RAO (1995), K_{OM} é afetado pela concentração de partículas suspensas e concentração da pectina solúvel, K_M e η_M são determinados principalmente pelas propriedades do solvente. X

2.2.3 – Reologia de méis de *Apis mellifera*

RAO (1977) estudando a reologia de alimentos líquidos, diz que alguns méis apresentam comportamento de um fluido newtoniano, bem como o leite, café, cerveja, vinho, óleo, e sucos de maçã e uva. No entanto, SHERMAN (1999), analisando reologicamente alguns alimentos líquidos, afirmou que alguns méis de abelha são considerados tixotrópicos. Dada a grande diversidade da flora apícola e levando-se em consideração que o mel de abelha tem suas características dependentes da florada de origem, se explica os diferentes comportamentos reológicos descritos pelos autores.

BHANDARI *et al.* (1999), determinaram o comportamento reológico de méis de abelha comercializados na Austrália, utilizando um viscosímetro Brookfield DV II+, (RV, spindle 7, na velocidade 2,5 rpm), nas temperaturas variando de 4°C a 30°C. Na análise dos dados experimentais, utilizaram a equação de Arrhenius para descrever o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente. Os méis estudados, por estes pesquisadores, apresentaram comportamento de fluidos newtoniano. O mesmo comportamento foi determinado por KULMYRZAEV & JULIAN (2000), JUNZHENG & CHANGYING (1998) e SOLORZA-FERIA (2001), estudando a reologia de mel de abelha (*Apis mellifera*) comercializados no México, a temperatura de em 25°C, utilizando reômetro de cilindros concêntricos.

BATH & SINGH (1999), fizeram a comparação reológica e físico-química entre o mel das floradas: *Helianthus annuus* e *Eucalyptus lanceolatus*, e verificaram que

existe diferença significativa entre estas, onde a primeira apresenta comportamento newtoniano e a segunda apresenta características de um fluido tixotrópico. Essa mesma característica de fluido newtoniano foi descrita por MULLER (1977), também em méis de Eucalipto.

2.2.3.1 – Viscosidade

O mel é um líquido viscoso (ROOT, 1985; MORSE & HOOPER, 1986). Sua viscosidade é afetada principalmente pela umidade, temperatura e composição química (GONNET, 1982).

Alguns méis apresentam particularidades ou anomalias em relação à sua viscosidade. Assim, é possível encontrar-se méis com a consistência gelatinosa ou de viscosidade muito elevada (CRANE, 1983; CAMPOS, 1987). No Piauí é freqüente os méis produzidos no primeiro semestre apresentarem-se mais fluidos que aqueles coletados no segundo semestre, particularmente em anos de chuvas abundantes. A umidade do ar bem como a precipitação pluviométrica, ou ainda particularidades de cada florada são provavelmente as responsáveis por estas características (FREITAS, 1994; SOBENKO, 2001).

2.3 – Efeito da temperatura na viscosidade

O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente de um fluido não-newtoniano pode ser expressa pela Equação de Arrhenius (2.9) a uma taxa de deformação específica, onde essa equação é expressa por:

$$\eta = \eta_0 \exp(E_a / RT) \quad (2.10)$$

Onde:

η = viscosidade aparente (Pa.s)

η_0 = constante (Pa.s)

E_a = energia de ativação (kcal/g mol)

R = constante universal dos gases perfeitos (8,314J/g mol.K)

T = temperatura absoluta (K)

Zapico *et al.* citado por VIEIRA (1996), afirmam que a equação de Arrhenius também se aplica para representar o efeito da temperatura sobre o índice de consistência (K) da Lei da Potência. Segundo VIEIRA (1996), uma combinação entre os modelos reológicos e a Equação de Arrhenius são úteis na aplicação em cálculos de operações que envolvem transferência de calor. Para Holdsworth (1971) e Rao (1986) citados por SILVA (1999), a equação indica a tendência geral observada de uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura e geralmente, quanto maior for a energia de ativação, maior será o efeito da temperatura sobre a viscosidade do fluido.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Área do experimento

Para atender aos objetivos propostos, foi considerada como área experimental o Estado do Piauí. Contribuíram como fornecedores das amostras, os seguintes municípios: Picos, Itainópolis, Vera Mendes e Isaías Coelho.

3.2 - Obtenção das amostras

As amostras foram obtidas a partir de coletas realizadas por apicultores, associações e cooperativas de apicultura no decorrer do ano 2000. Estas foram encaminhadas ao Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, na Universidade Federal da Paraíba, onde realizaram-se as análises quanto a composição química e caracterização física e reológica, segundo metodologias próprias a cada determinação.

O mel coletado foi identificado inicialmente quanto a origem botânica de acordo com as informações dos apicultores, recebendo identificação da localidade onde foi coletado. As amostras foram centrifugadas, filtradas e decantadas e depois foram acondicionadas em recipientes apropriados e armazenadas para a utilização nos ensaios. Na Figura 3.1 é mostrado o fluxograma das etapas do processamento dos méis que foram classificados, em correspondência com a florada predominante a partir da qual foram elaborados, em mel de marmeleiro (*Croton sonderianus* Müll. Arg.), jitirana (*Hyptis suaveolens*), camaratuba (*Cratylia mollis* Mart. ex Benth), silvestre (*Serjania glabrata*) e angico de bezerro (*Piptadenia moniliformis*).

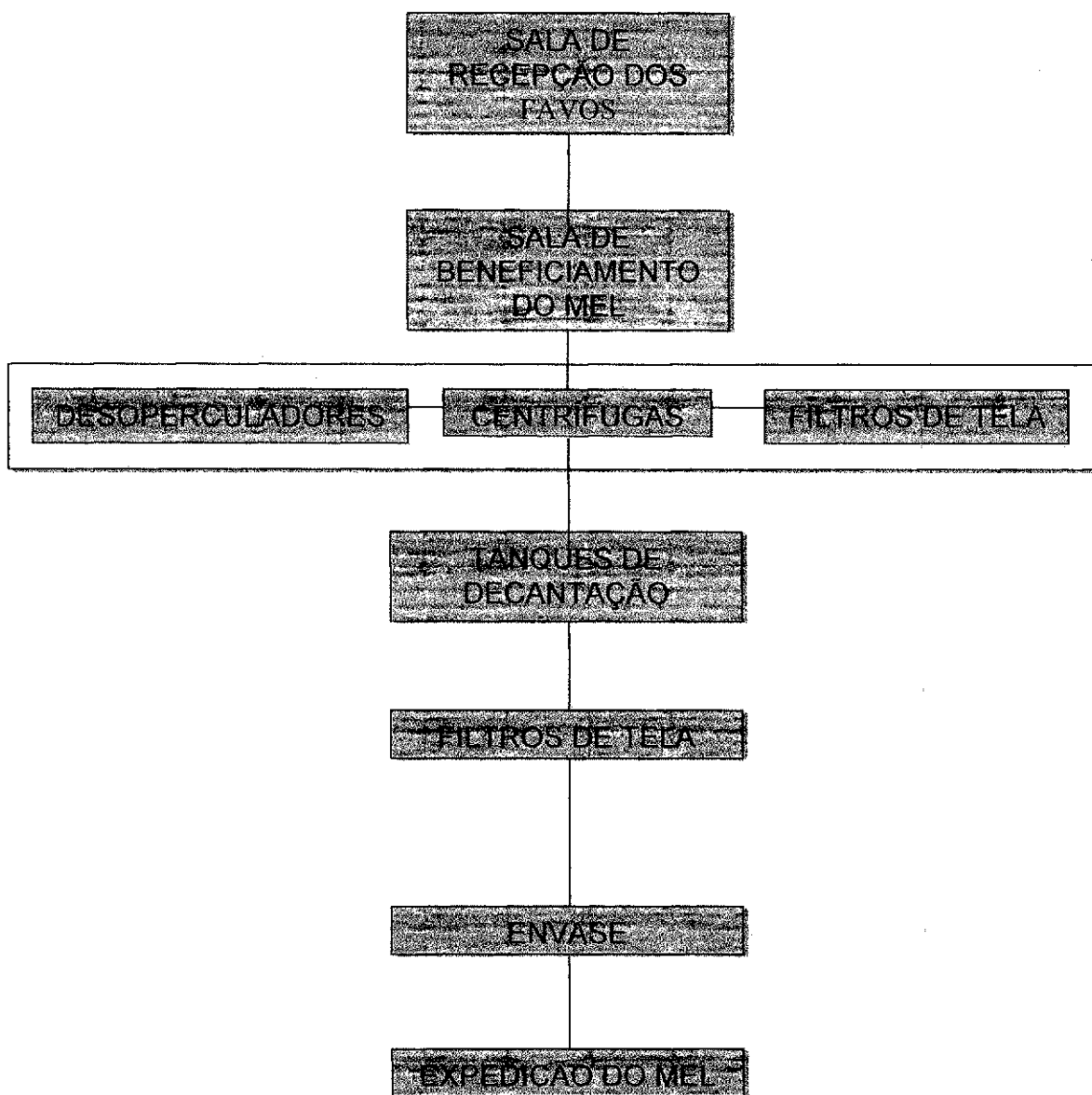


Figura 3.1. Fluxograma das etapas do processamento do mel

3.3 - Determinação das características físico-químicas

3.3.1 – Umidade

X A umidade do mel foi determinada por refratometria, segundo o Método nº 969.38b (AOAC, 1998), recomendado como metodologia oficial do Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BRASIL, 2000). O princípio deste método consiste na determinação do índice de refração do mel a 20°C que é convertido para o conteúdo de umidade através de uma tabela de referência a qual fornece a concentração como uma função do índice de refração. X

3.3.2 - Hidroximetilfurfural (HMF)

Este é um método quantitativo que consiste na verificação do HMF, utilizando-se método espectrofotométrico a 284 e 336 nm. Segundo o método nº 980.23 (AOAC, 1998), recomendado por BRASIL (2000).

3.3.3 - Açúcares redutores

Através da modificação do procedimento de LANE e EYNON, envolvendo a redução da solução de Fehling modificada por Soxhlet, durante a titulação no ponto de ebulição, com uma solução de açúcares redutores do mel, usando azul de metileno como indicador, foram determinados os açúcares redutores nas amostras de méis, segundo o método do CAC (1990).

3.3.4 - Sacarose aparente

A sacarose aparente foi determinada de acordo com o método do Ítem 7.2 CAC (1990), o qual determina a sacarose aparente após a inversão por hidrólise ácida. Recomendado pela Instrução normativa do Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BRASIL, 2000).

3.3.5 - Cinzas

Através da incineração das amostras em mufla aquecida a 600°C determinou-se a quantidade de cinzas nos méis (CAC, 1990). É o método recomendado pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BRASIL, 2000). Através deste método é possível determinar algumas irregularidades no mel, como exemplo a falta de higiene e a não decantação e/ou filtração no final do processo de retirada do mel pelo apicultor.

3.3.6 - Acidez livre

A acidez livre foi determinada segundo o método nº 962.19 da AOAC (1998), este é baseado na titulação da amostra, com solução de NaOH 0,05N, até atingir o pH de 8,5. Recomendado pelo Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel (BRASIL, 2000).

3.3.7 - Sólidos insolúveis em água

Segundo o método CAC (1990), determinou-se o teor de sólidos insolúveis em mel por gravimetria. É o método recomendado pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BRASIL, 2000).

3.3.8 - Atividade diastásica

Determinado pelo método CAC (1990). O resultado foi expresso como ml de solução de amido a 1% hidrolizado pela enzima em 1 g de mel em 1 hora. Este método é recomendado pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BRASIL, 2000).

3.4 – Análise estatística

A comparação entre as médias dos dados experimentais das análises físico-químicas foi feita pelo teste de Tukey utilizando o programa computacional ASSISTAT 6.2 (SILVA, 1996).

3.5 - Determinação das características reológicas

X 3.5.1 - Viscosidade

As medidas reológicas dos méis de *Apis mellifera* foram feitas nas temperaturas de 20, 25, 30, 35 e 40°C à pressão ambiente, utilizando um viscosímetro Brookfield-RVT, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, E.U.A, com spindle nº5 e 6. Para a realização dessas medidas, fez-se uso de um conjunto de implementos: uma cuba de vidro onde foi colocado um aquecedor com bomba de circulação, um béquer de 600 ml onde se colocou cerca de 500 ml da amostra e o viscosímetro para obtenção da leitura. Quando a amostra atingia a temperatura desejada, efetuava-se a leitura do torque após um tempo de 30s em cada velocidade, que variava de 0,5 a 100 rpm. Os experimentos foram feitos em sextuplicata, efetuando-se esse procedimento em todas as amostras.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Caracterização físico-química

Quando se trabalha com mel, é comum encontrar variações na sua composição física e química, tendo em vista que são vários os fatores que interferem na sua qualidade, tais como: tipo de florada, condições climáticas, estágio de maturação, espécie de abelha, processamento e armazenamento.

Os resultados das análises físico-químicas dos méis obtidos a partir das floradas de Marmeleiro (*Croton sonderianus* Müll. Arg.), Jitirana (*Hyptis suaveolens*), Camaratuba (*Cratylia mollis* Mart. ex Benth), Silvestre (*Serjania glabrata*) e Angico de Bezerra (*Piptadenia moniliformis*), encontram-se na Tabela 4.1. Os valores encontrados, nessa tabela, são médias de três repetições.

Tabela 4.1. Características físico-químicas de méis de abelha (*Apis mellifera* L.) produzidos no estado do Piauí

DETERMINAÇÕES	FLORADAS				
	MARMELEIRO	JITIRANA	CAMARATUBA	SILVESTRE	ANGICO BEZERRA
Umidade (%)	18,8d	19,5c	17,6e	19,6b	19,7a
HMF (mg HMF/Kg mel)	0,30e	8,96a	1,45d	4,33b	3,44c
Açúcares Redutores (%)	68,92e	71,57d	83,59b	85,49a	76,36c
Sacarose Aparente (%)	2,93b	3,07a	2,55c	1,57e	2,24d
Minerais – Cinzas (%)	0,07c	0,06c	0,10b	0,11b	0,14a
Acidez Livre (meq/Kg mel)	25,43c	10,10e	28,33b	31,03a	19,99d
Sólid. Ins. em Água (%)	0,08b	0,06c	0,09a	0,08b	0,08b
Ativid. Diastásica (DN)	10,11c	10,08c	20,83a	20,74a	17,65b
°Brix	76,07e	79,20c	80,80a	79,50b	78,70d
pH	3,54e	3,70d	3,75c	4,68b	5,30a

Obs.: as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

HMF - hidroximetilfurfural

4.1.1 - Umidade

O mel de abelha piauiense apresentou teor médio de umidade de $19,4 \pm 0,88\%$, para um intervalo de variação de 17,6% a 19,7% (Tabela 4.1). As análises estatísticas mostraram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade no conteúdo de umidade das amostras e o teste de Tukey mostrou que as médias diferem estatisticamente entre si. Esses valores encontram-se abaixo do limite máximo permitido pela legislação vigente, que é de 20%, estabelecido pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BRASIL, 2000), estão próximos dos encontrados por diversos autores (RAMALHO, 1987; CAMPOS, 1987; DURAN et al., 1996; HORN et al., 1997; NORONHA, 1997) que indicam um teor médio de umidade 19%; 19,8%; 21%; 18,9%; 17,8%, respectivamente, embora não tenham estudado os mesmos tipos de méis, ou seja, méis produzidos das mesmas floradas em estudo, pesquisaram méis da região semi-árida, de clima semelhante ao da região onde as amostras do presente estudo foram produzidas.

Na Tabela 4.1 pode-se ver que apenas uma amostra não apresentou teor superior a 18%. Dentre as amostras com percentuais de umidade maior que 18%, três foram coletadas nos meses de janeiro a abril, período em que concentram-se as chuvas na região em estudo. É provável que os méis produzidos durante a época chuvosa apresentem maior umidade em função da saturação do ar e/ou do grande fluxo de néctar existente logo após as chuvas, o que poderá oferecer dificuldade às abelhas para remoção da água, como afirma RAMALHO (1985) e NORONHA (1997). Isto confirma a observação dos apicultores, que em geral, observa-se que méis produzidos no primeiro semestre do ano são mais fluidos, sendo provavelmente devido a menor concentração do néctar, por este apresentar-se mais aquoso. Assim,

as chuvas bem como a saturação do ar pela água provocariam a diluição do néctar, diminuindo sua concentração em açúcares. Estes valores podem ainda estar relacionados à manipulação errônea do produto, apontando a necessidade do aprimoramento da técnica apícola, uma vez que todo mel com umidade superior a 18% está sujeito à fermentação (GONNET, 1982; NORONHA, 1997).

Um possível problema relacionado ao processamento e que resultaria no aumento do teor de umidade apresentada pelos méis, poderia ainda ser atribuída a falta de cuidados durante a extração. Neste caso, o uso de desumidificadores que promovem a diminuição da umidade do ar na sala de extração e estocagem, podem auxiliar na queda dos níveis de umidade no mel. A desumidificação poderá ser realizada também no produto, porém deverão ser adotadas medidas preventivas para evitar danos ao material (CRANE, 1983; HORN, 1997). Por fim, o apicultor deverá evitar que o mel entre em contato com recipientes e equipamentos úmidos, esteja exposto ao ar e/ou seja acondicionado em embalagens que apresentam defeitos na vedação. Neste caso a depreciação não se restringe somente ao aumento da umidade, mas também acarreta a perda de substâncias voláteis que influem diretamente no sabor e aroma do mel.

4.1.2 – Hidroximetilfurfural (HMF)

Para a variável hidroximetilfurfural a média dos valores obtidos foi de $3,7 \pm 3,34$ mg HMF/kg de mel, para um intervalo de 0,30 a 8,96 mg HMF/kg de mel (Tabela 4.1), o que indica que as amostras analisadas encontram-se dentro dos padrões exigidos pela legislação vigente, onde o Ministério da Agricultura e do Abastecimento estabelece um máximo de 40 mg HMF/kg de mel (BRASIL, 2000). Das amostras analisadas, o mel da florada de jítirana foi o que apresentou maior quantidade dessa variável, 8,96 mg HMF/kg de mel, seguido do silvestre que apresentou 4,33 mg HMF/kg de mel. A florada do marmeleiro foi o que apresentou menor teor, que foi de

0,30 mg HMF/kg de mel (Tabela 4.1). Esses valores encontram-se próximos aos determinados por BIANCHI (1989) e HORN (1997). Observou-se ainda, que os méis de coloração mais escura apresentaram valores maiores de HMF em relação aos méis mais claros, o mesmo também foi observado por HORN (1998).

Apenas uma pequena quantidade de enzima é encontrada nos méis maduros, onde estas podem sofrer desidratação e ao mesmo tempo formar o HMF. Teoricamente, méis com maior taxa de frutose darão origem a maiores taxas de HMF ao longo da armazenagem do que os méis com maiores taxas de glicose. Uma pequena quantidade de HFM é encontrada nos méis recém colhidos produzidos pelas abelhas, mas se o mel for aquecido, essa quantidade aumenta de acordo com a taxa inicial, com a temperatura e também com o período de estocagem (MENDES, 1983; HORN, 1997). O HMF também é formado durante o método industrial da hidrólise ácida na produção do açúcar invertido a partir da sacarose, especialmente em altas temperaturas, e nesse caso, o alto teor de HMF pode indicar adulteração no mel com açúcar invertido. FARIA (1993) encontrou aumento desse parâmetro em méis estocados por 450 dias, porém esses valores não ultrapassaram os 3,5 mg HMF/kg de mel.

As análises estatísticas mostraram diferenças significativas no intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade na quantidade de HMF das amostras analisadas e o teste de Tukey mostrou que as médias diferem estatisticamente entre si.

4.1.3 – Açúcares redutores

Os méis do Piauí apresentaram um valor médio de açúcares redutores de 77,25% para um intervalo de variação 68,92 a 85,49% (Tabela 4.1), o que está condizente com os valores encontrados por KOMATSU et al. (1996) e PAMPLONA

(1996), bem como dentro dos padrões estabelecidos pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento BRASIL, 2000), que pela legislação vigente exige um mínimo de açúcares redutores de 65% para méis de flores.

Os resultados das análises estatísticas, mostraram-se significativos no intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade na quantidade de açúcares redutores das amostras analisadas e o teste de Tukey mostrou que as médias diferem estatisticamente entre si.

Verificou-se que o mel da florada silvestre foi o que apresentou maior percentual de açúcares redutores, que foi de 85,49%, seguido da florada de camaratuba que apresentou um valor igual a 83,59%. Esses méis apresentaram coloração mais escura que os demais o que de acordo com CORTOPASSI-LAURINO *et al.* (1991), é uma característica dos méis que contém maiores quantidades de açúcares redutores.

4.1.4 – Sacarose aparente

O percentual de sacarose aparente nas amostras analisadas mostrou-se com valor médio igual $2,5 \pm 0,6\%$, com o intervalo de variação de 1,57 a 3,07% (Tabela 4.1). Percentuais semelhantes foram encontrados por BONILLA (2000), NORONHA (1997) e CORTOPASSI-LAURINO *et al.* (1991). De acordo com os dados apresentados na Tabela 4.1, verifica-se que as amostras analisadas encontram-se dentro dos padrões técnicos de identidade e qualidade de mel, estabelecidos pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BRASIL, 2000), onde se determina que o percentual máximo permitido é de 6% para méis de flores e 15% para méis de melato. No entanto, HORN (1997) afirma que em relação a sacarose, a sua proporção no mel é em torno de 2-3% e quando esse valor é muito alto, cresce a

suspeita de se tratar de mel verde ou proveniente de colmeias alimentadas artificialmente.

A amostra que apresentou maior percentual de sacarose aparente foi o da florada de jitirana com 3,07%, seguido do mel de marmeleiro com 2,93% e o que apresentou menor percentual foi o silvestre com apenas 1,57%. KOMATSU *et al.* (1996) analisando méis de flores silvestres produzidos por *Apis mellifera* no estado de São Paulo, encontrou uma faixa de variação de 0,2 a 2,74% e um valor médio de 2,4% de sacarose aparente.

Foram significativos no intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade, os resultados das análises estatísticas quanto ao teor de sacarose aparente das amostras analisadas e médias diferem estatisticamente entre si com aplicação do teste de Tukey.

4.1.5 – Cinzas

O conteúdo de cinzas nas amostras analisadas mostrou-se variável entre as mesmas, apresentando um percentual médio de $0,10 \pm 0,03\%$ para um intervalo de variação de 0,06 a 0,14%, como pode ser verificado na Tabela 4.1. Esses valores são próximos aos determinados por vários autores (CARVALHO *et al.*, 1998; MARCHINI *et al.*, 1998 e AZEREDO 1998) bem como, encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente para o mel de abelha, que determina um valor máximo permitido de cinzas no mel de 0,6% (BRASIL, 2000).

Observou-se que houve uma diferença considerável entre os méis de coloração mais clara, como é o caso do mel de jitirana, que apresentou menor percentual de minerais que foi igual a 0,06%, seguido do mel de marmeleiro que tem valor igual a 0,07%, o que está de acordo com FELLER-DEMALSY *et al.* (1989), que

ao analisarem méis do Canadá, mostrou que méis de cor clara apresentam menor quantidade de minerais. Os méis com coloração mais escura, variando do âmbar ao âmbar escuro, tendem a apresentar maiores quantidades de minerais como afirma CRANE (1983).

De acordo com os resultados das análises estatísticas quanto ao percentual de minerais-cinzas das amostras analisadas as médias diferem estatisticamente entre si com aplicação do teste de Tukey e foram significativas no intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade.

4.1.6 – Acidez livre

Os níveis de acidez dos méis piauienses mostraram uma acentuada variação com o valor médio de $23,0 \pm 8,28$ meq/kg de mel para uma faixa de variação de 10,10 a 31,03 meq/kg de mel (Tabela 4.1), mas no entanto, encontram-se dentro dos padrões de qualidade exigidos pela legislação vigente, que determina um limite máximo de 60 meq/kg de mel (BRASIL, 2000). Esse valores estão condizentes com os determinados por NORONHA (1997) e BONILLA (2000). No entanto, CORTOPASSI-LAURINO & GELLI (1991) determinou que a média da acidez livre dos méis de *Apis mellifera* é de 12,1 meq/kg de mel, enquanto que FARIA (1993) afirma que no mel de Citrus é de 9,0 meq/kg de mel.

A grande variação apresentada confirma as afirmações de GONNET (1982), que indica um intervalo de 10 a 60 meq/kg de mel para acidez no mel de abelha, isso é explicado em decorrência dos tipos de floradas, uma vez que a acidez no mel tem origem a partir dos variados ácidos orgânicos contidos no néctar por ocasião da coleta pelas abelhas (ROOT, 1985), pela ação da glicose-oxidase, originando o ácido glucônico (WHITE Jr, 1989; HORN, 1996), pela ação das bactérias durante a maturação do mel (Ruiz-Argueso & Rodrigues Navarro, citados por WHITE Jr, 1989)

e/ou sendo ainda influenciada pela quantidade de minerais nele presentes (BARTH, 1996).

A origem do mel a partir do néctar, sugere a possibilidade de que a fonte floral tenha efeito sobre as características apresentadas por este. GONNET (1982) descreve alguns ácidos de origem vegetal e ROOT (1985), reportando-se a estes, afirma serem os ácidos responsáveis diretos pelo sabor do mel. É provável portanto que estes influenciem a acidez do mel, podendo refletir particularidades da fonte de onde se originaram.

A elaboração de parâmetros físico-químicos para os méis tendo como base normas estrangeiras (MERCOSUL/GMC/ RES N° 89/99), o pouco conhecimento do pasto apícola brasileiro em algumas regiões, a escassez de trabalhos sobre a composição química dos méis nacionais e a possibilidade da existência de características regionais, apontam para a necessidade de um esclarecimento sobre as particularidades dos méis brasileiros.

Os resultados das análises estatísticas quanto ao conteúdo de acidez-livre das amostras analisadas, indica que as médias diferem estatisticamente entre si com aplicação do teste de Tukey e foram significativas no intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade.

4.1.7 – Sólidos insolúveis em água

O percentual médio de sólidos insolúveis em água nos méis analisados apresentou um valor médio de $0,08 \pm 0,01\%$ para uma variação de 0,06 a 0,09%, o que pode-se observar na Tabela 4.1, valores próximos a esses foram determinados por vários autores (MARCHINI *et al.*, 1998; ISSA *et al.*, 1998; CARVALHO, 1988 e CASTRO, 1998). As amostras analisadas encontram-se dentro dos padrões que é

permitido pela legislação vigente que estabelece um teor máximo de sólidos insolúveis em água de 0,1% , tanto para o mel de flores como para o mel de melato (BRASIL, 2000).

Os resultados das análises estatísticas, as amostras foram significativas no intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade na quantidade de sólidos insolúveis em água, nos méis analisados e o teste de Tukey mostrou que as médias diferem estatisticamente entre si.

4.1.8 – Atividade diastásica (DN)

O índice médio de diástase nos méis do Piauí foi de $15,9 \pm 5,42$ DN, onde os valores variaram de 10,08 a 20,83 DN, é o que pode ser observado na Tabela 4.1. Valores semelhantes foram determinados por KOMATSU (1996) e RODRIGUES (1996). Comparando-se os resultados obtidos com as especificações estabelecidas pela legislação brasileira para qualidade de mel, foi verificado que as amostras analisadas estavam em conformidade com as especificações oficiais, uma vez que esta estabelece que o mínimo de atividade diastásica no mel deve ser de 8 DN (na escala Göthe).

Verificou-se que os méis de cor mais escura foram os que apresentaram maior índice de diástase, como é o caso do mel de camaratuba que na média das três repetições teve um valor igual a 20,83 DN, o maior valor entre todas as amostras, seguido do mel silvestre que apresentou um valor igual 20,74 DN, semelhante ao observado por BIANCHI (1989) ao analisar méis da Argentina e FELLER-DEMALSY *et al.* (1989) ao analisarem méis do Canadá. Méis com maiores índice de diástase tendem a apresentar coloração escura, é o que afirma CAMPOS (1987).

Os resultados das análises estatísticas indicam que as amostras foram significativas no intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade no índice de diástase e o teste de Tukey mostrou que as médias diferem estatisticamente entre si.

4.1.9 - °Brix

O °Brix nas amostras analisadas apresentou um valor médio igual a $78,70 \pm 1,74$, em uma faixa de variação de 76,07 a 80,80 °Brix, como pode-se observar na Tabela 4.11. Esses valores são próximos aos encontrados por HORN (1997), CARVALHO *et al.* (1998) e MARCHINI *et al.* (1998). Pela legislação vigente tanto no Brasil, bem como no exterior, já não é mais exigido essa determinação no controle de qualidade de méis de mesa, seja méis de flores ou méis de melato.

Nas análises estatísticas do °Brix, as amostras de méis analisadas foram significativas no intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade e o teste de Tukey mostrou que as médias diferem estatisticamente entre si.

4.1.10 – pH

Os méis piauienses apresentaram como valor médio de pH $4,2 \pm 0,76$ para um intervalo de 3,54 a 5,30 (Tabela 4.1). A média observada encontra-se um pouco acima dos valores descritos por RAMALHO (1985), DURAN *et al.* (1996) e NORONHA (1997), 3,95, 4,0 e 4,1, respectivamente. Porém as oscilações apresentadas enquadram-se dentro dos valores apresentados por ROOT (1985), RAMALHO *et al.* (1987), CAMPOS (1987) e HORN *et al.* (1997).

Embora, atualmente, o pH não seja indicado como análise obrigatória no controle de qualidade dos méis brasileiros, mostra-se como parâmetro auxiliar para avaliação da qualidade, uma vez que tem relação direta com a acidez ativa neste (Walton, citado por ROOT, 1985).

Comparados aos méis produzidos em alguns estados nordestinos (RAMALHO *et al.*, 1987), os méis piauienses apresentaram-se menos ácidos que os demais. Todavia, é reforçada a característica ácida para méis, como afirma GONNET (1982).

A variação observada no pH, é provável que deva-se à particularidades da composição florística nas áreas de coleta, uma vez que o pH do mel poderá ser influenciado pelo pH no néctar (CRANE, 1983). Diferenças na composição do solo, afirma NORONHA (1997), ou a associação de espécies vegetais para composição final do mel poderão igualmente está influenciando a variação observada entre os tipos de méis estudados.

Os resultados das análises estatísticas indicam que as amostras foram significativas no intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade no pH e o teste de Tukey mostrou que as médias diferem estatisticamente entre si.

4.2 – Caracterização reológica

O comportamento reológico das amostras de mel expresso em termos de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação foi representado pelos pontos experimentais e ajustado pelos modelos de Herschel-Bulkley (Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 e Tabela 4.2) e Ostwald-de-Waele (Figuras A.1, A.2, A.3, A.4 e A.5 e Tabela A.1 – no Apêndice A).

4.2.1 – Modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência)

O modelo de Ostwald-de-Waele apresentou um bom ajuste aos dados experimentais em todos os tipos de méis analisados, apresentando valores do coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,99. Apenas em um único caso, como pode-se observar na Tabela A.1, a amostra de camaratuba na temperatura de 30°C apresentou um coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,98, levemente inferior aos demais.

Apesar dos bons ajustes proporcionados pelo modelo de Ostwald-de-Waele, este foi superado pelo modelo de Herschel-Bulkley sendo o escolhido para a representação das curvas de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação.

Pode-se observar nas Figuras A.1 a A.5 (em anexo), que as curvas apresentaram comportamentos distintos, identificando-se que a temperatura influenciou no comportamento das amostras, ou seja, com o aumento da temperatura as tensões de cisalhamento diminuíram para as taxas de deformação em estudo, significando que as viscosidades aparentes dos méis diminuem com o aumento da temperatura.

4.2.2 – Modelo de Herschel-Bulkley

A relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para os méis das diferentes floradas, ajustadas pelo modelo de Herschel-Bulkley encontram-se nas Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

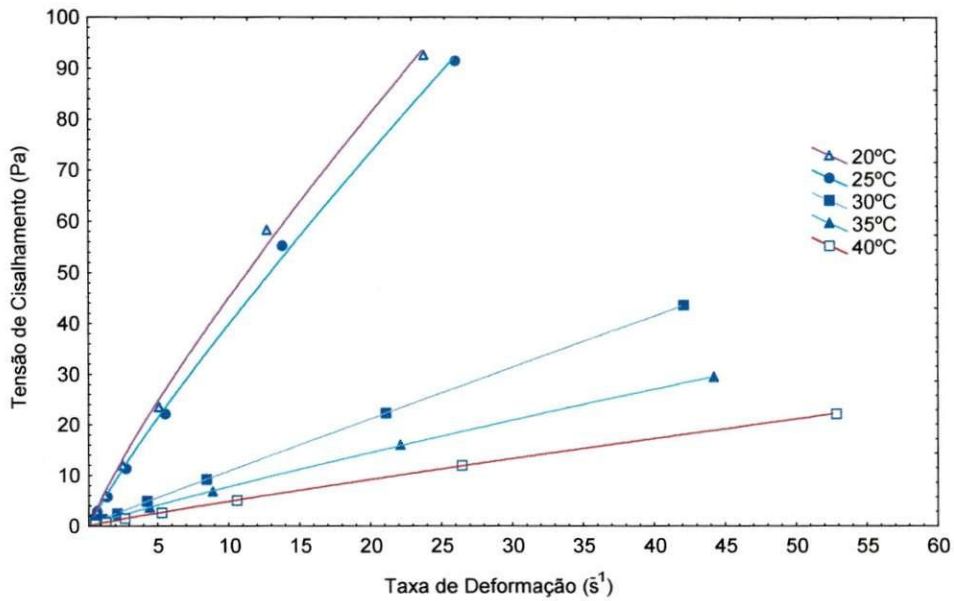


Figura 4.1. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley do mel da florada Angico de Bezerra nas temperaturas de 20 a 40°C

Na Figura 4.1 pode-se observar as reduções nas relações de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação com os aumentos de temperatura para o mel de Angico de Bezerra. A curva referente a 25°C pouco se distancia da curva referente a 20°C, resultando em dois conjuntos de curvas formados pelas curvas de 20°C e 25°C e pelas curvas de 30°, 35° e 40°C.

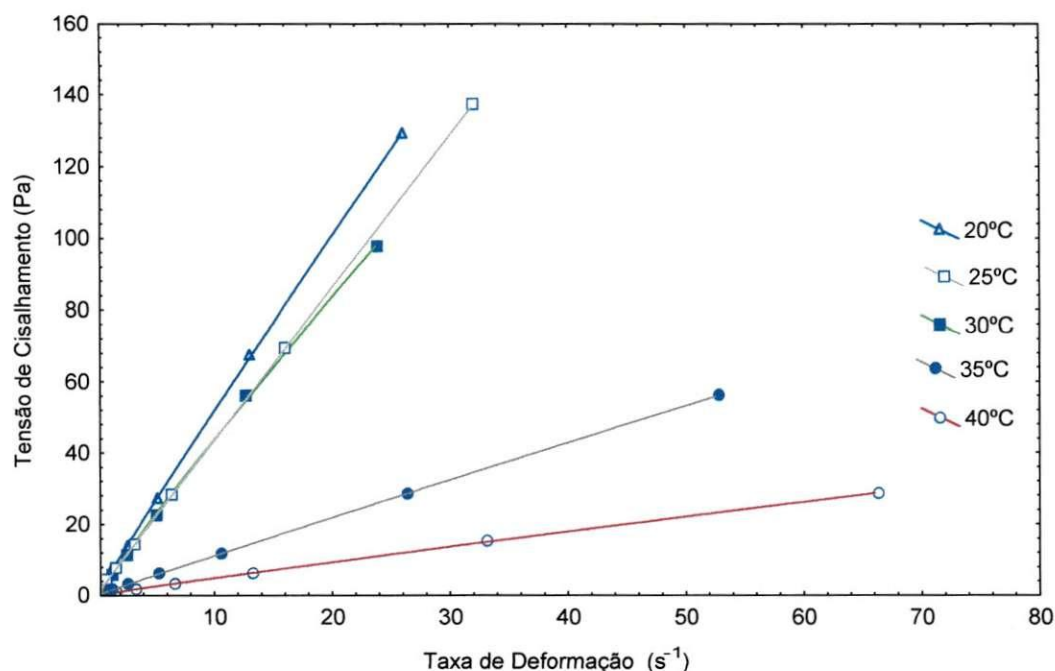


Figura 4.2. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley do mel da florada Silvestre nas temperaturas de 20 a 40°C

Na Figura 4.2 a representação das tensões de cisalhamento versus taxa de deformação para o mel da florada Silvestre segue evidenciando reduções nas relações com a temperatura, todavia com efeitos diferentes nas posições relativas das curvas. Neste caso pouca diferença se nota da curva referente a 30°C em relação à curva a 25°C. Assim como visto com o mel de Angico de Bezerra (Figura 4.1), destacam-se dois grupos de curvas, sendo um formado pelas curvas de 20°, 25° e 30°C e o outro pelas curvas de 35° e 40°C.

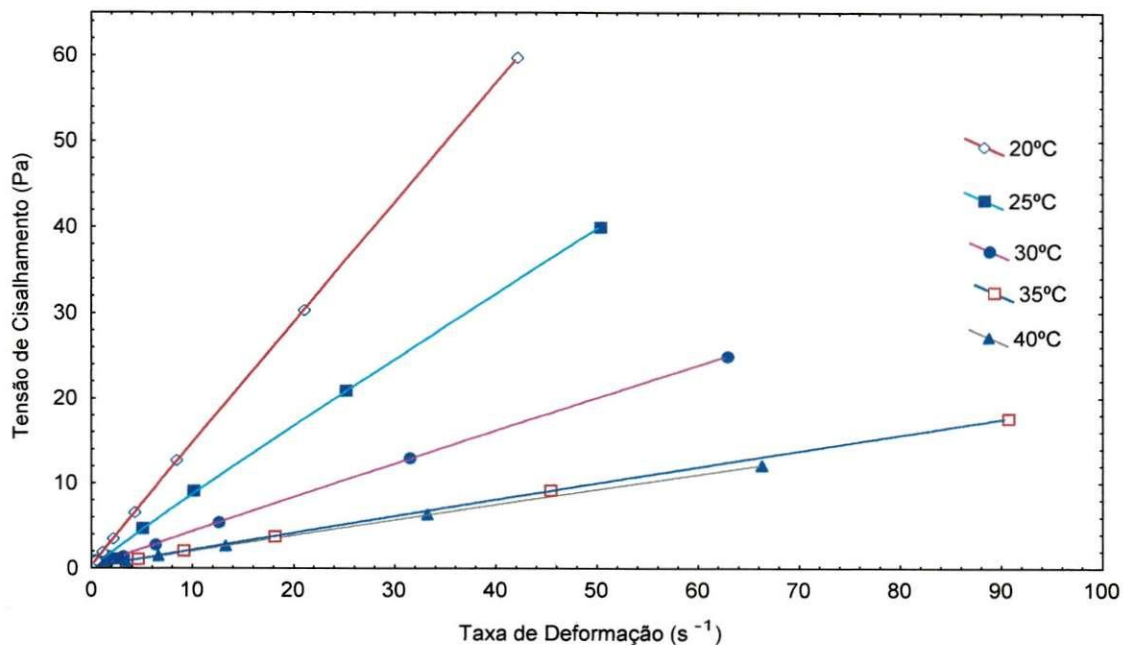


Figura 4.3. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley do mel da florada de Marmeleiro nas temperaturas de 20 a 40°C

Na Figura 4.3 pode-se observar o efeito da temperatura sobre o comportamento viscoso do mel de Marmeleiro. Com exceção das curvas referentes a 35°C e 40°C, que praticamente se sobrepõem, as demais denotam com clareza reduções na relação tensão de cisalhamento versus taxa de deformação com o aumento de temperatura.

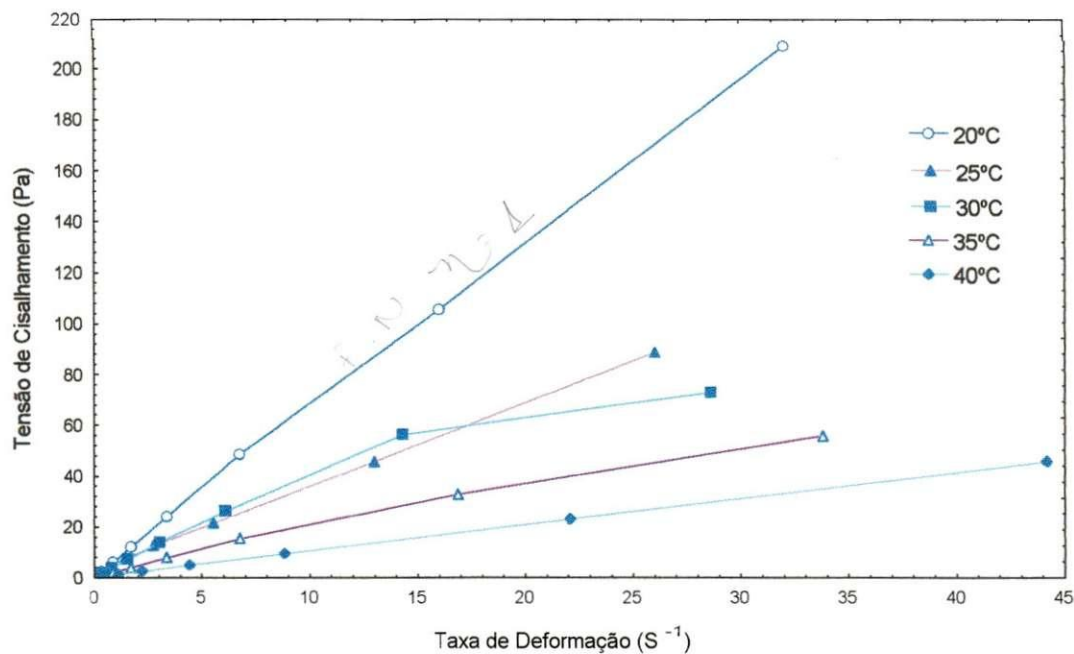


Figura 4.4. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley do mel da florada de Camaratuba nas temperaturas de 20 a 40°C

Na representação do comportamento reológico do mel de Camaratuba mostrado na Figura 4.4 as temperaturas mais altas sempre resultam em relações, tensão de cisalhamento versus taxa de deformação menores para taxa de deformação acima de $15 s^{-1}$. Abaixo de $15 s^{-1}$ e para as temperaturas de 25°C e 30°C as curvas praticamente se confundem.

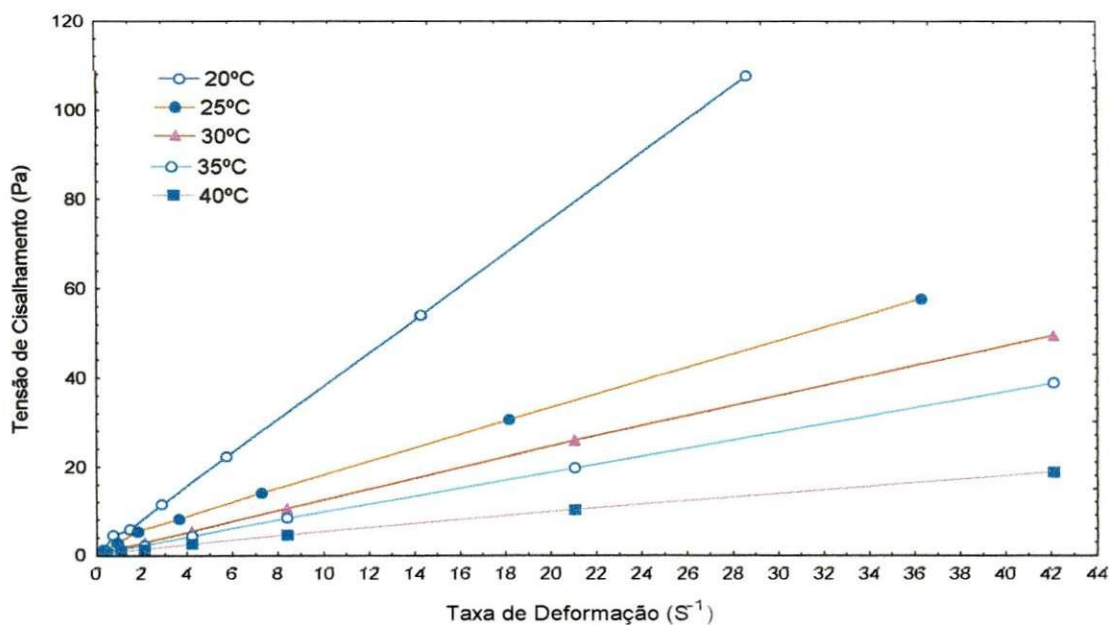


Figura 4.5. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley do mel da florada de Jitirana nas temperaturas de 20 a 40°C

No comportamento reológico do mel de Jitirana, como pode ser observado na Figura 4.5, praticamente se repete o observado no comportamento dos outros méis com a temperatura. Neste caso o que se pode notar é a distinção de posição de todas as curvas desde as menores taxas de deformação.

Do conjunto das Figuras 4.1 a 4.5 o que se conclui é que apesar dos aumentos de temperatura reduzirem as relações tensão de cisalhamento versus taxa de deformação, essa influência é desigual entre os tipos de méis estudados.

Na Tabela 4.2 encontram-se os valores dos parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley e os parâmetros estatísticos dos ajustes.

Tabela 4.2. Parâmetros de ajuste do modelo de Herschel-Bulkley nos méis estudados

AMOSTRA	T (°C)	τ_{0H} (Pa)	K_H (Pa.s ⁿ)	n_H	Erro (τ_{0H})	Erro (K_H)	Erro (n_H)	χ^2	R^2
Jitirana	20	0,71076	3,78805	0,9958	0,02367	0,00008	0,000	0,00002	0,99989
	25	0,66376	2,28340	0,8942	0,02781	0,00109	0,000	0,00006	0,99970
	30	0,38093	1,38096	0,9559	0,05024	0,00003	0,000	0,00010	0,99995
	35	0,13871	0,99042	0,9777	0,02187	0,00001	0,000	0,00002	0,99997
	40	0,10008	0,71704	0,8721	0,13506	0,00000	0,000	0,00011	0,99997
Camaratuba	20	0,06564	7,46956	0,9611	0,00121	0,00004	0,000	0,00021	0,99999
	25	1,07415	4,13154	0,9358	0,02026	0,00045	0,000	0,00010	0,99997
	30	-5,2418	11,6717	0,8785	0,03621	0,00063	0,004	0,00001	0,99995
	35	-0,8470	3,57274	0,8863	0,01913	0,00032	0,000	0,00001	0,99996
	40	0,19769	1,10878	0,9802	0,01851	0,00000	0,000	0,00000	1,00000
Silvestre	20	0,57602	5,32115	0,9908	0,00011	0,00036	0,000	0,00000	0,99999
	25	0,52049	4,41086	0,9739	0,00102	0,00054	0,001	0,00000	0,99998
	30	0,13299	1,17456	0,9559	0,00201	0,00027	0,003	0,00000	0,99998
	35	0,00815	0,74834	0,9359	0,00013	0,00063	0,000	0,00000	0,99999
	40	0,00092	0,56419	0,9216	0,00252	0,00001	0,001	0,00001	0,99998
Angico de Bezerro	20	1,67246	6,97723	0,8642	0,00012	0,00001	0,000	0,00000	0,99936
	25	1,05002	5,58607	0,8253	0,00032	0,00003	0,002	0,00000	0,99981
	30	0,29932	1,12117	0,9763	0,00002	0,00005	0,000	0,00000	0,99998
	35	0,01198	0,99586	0,8942	0,00001	0,00000	0,001	0,00001	0,99994
	40	0,01383	0,59270	0,9120	0,00003	0,00025	0,003	0,00000	0,99996
Marmeleiro	20	0,34358	1,51822	0,9800	0,00010	0,00023	0,000	0,00001	0,99999
	25	0,07813	0,98553	0,9449	0,00021	0,00015	0,001	0,00000	0,99992
	30	0,19541	0,44986	0,9676	0,00001	0,00004	0,000	0,00000	0,99996
	35	0,15221	0,22139	0,9695	0,00003	0,00061	0,002	0,00000	0,99992
	40	0,20087	0,20037	0,9735	0,00001	0,00054	0,001	0,00000	0,99993

Pode-se observar que esse modelo empírico de comportamento reológico, apresentou um excelente ajuste aos dados experimentais, com todos os valores do coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,999 atingindo na amostra de mel de camaratuba e na temperatura de 40°C valor igual a 1. Verifica-se dos resultados obtidos que, de maneira geral o índice de consistência (K_H) decresceu com o aumento da temperatura, com a única exceção observada na amostra de mel de Camaratuba na temperatura de 30°C, onde houve um aumento pontual no valor de K_H . O índice de comportamento de fluxo (n_H) não sofreu influencia direta do aumento da temperatura.

Os méis analisados apresentaram comportamento não-newtoniano, com característica de fluidos pseudoplásticos, conforme se verifica pelos valores de n_H inferiores a 1. Tal resultado se enquadra na variabilidade do comportamento reológico dos méis reportado em literatura, como se vê em DURAN (1991), que caracterizou o mel como fluido newtoniano e, MULLER (1977) que estudando mel procedente de flores de eucalipto (*Eucalyptus ficifolia*), afirmou que o mel tem comportamento não-newtoniano e reopético.

4.2.3 –Viscosidade aparente

Na Tabela 4.3 tem-se as viscosidades aparentes de cada amostra, calculadas a partir do modelo reológico de Herschel-Bulkley na taxa de deformação de 32 s^{-1} .

Tabela 4.3. Viscosidades aparentes calculadas a uma taxa de deformação de 32 s^{-1}

TEMPERATURA (°C)	η (Pa.s)				
	Camaratuba	Angico Bezerro	Jitirana	Silvestre	Marmeleiro
20	6,52952	4,41054	3,75552	5,17216	1,42729
25	4,37172	3,08181	1,60322	4,04565	0,81665
30	3,34093	1,04211	1,20455	1,01224	0,40818
35	2,38269	0,69054	0,92109	0,59952	0,20394
40	1,04142	0,43733	0,46342	0,42998	0,18906

Observam-se grandes variações nas viscosidades aparentes dos méis provocadas pelo aumento de temperatura. Estas variações, calculadas entre as temperaturas de 20°C e 40°C variaram de 84% no mel de Camaratuba a até 92% no mel da florada Silvestre. Na comparação entre viscosidades aparentes dos diferentes méis também se observam variações consideráveis. Fazendo-se a média das viscosidades aparentes nas cinco temperaturas para os méis que apresentaram maiores diferenças (Camaratuba e Marmeleiro) e comparando as médias de cada

um desses méis tem-se uma diferença de 83% entre o valor da viscosidade aparente do mel de Camaratuba e o mel de Marmeleiro. Isto significa que a variação entre a viscosidade aparente de diferentes méis foi de ordem de grandeza semelhante a variações provocadas por diferenças de temperatura de cerca de 20°C, observadas nos méis estudados.

Na Figura 4.6 tem-se a representação gráfica das viscosidades aparentes dos cinco méis estudados nas temperaturas de 20°C a 40°C. Pode-se observar que a partir dos 30°C os méis das floradas Angico, Jitirana e Silvestre apresentaram valores aproximados de viscosidades aparentes, ao contrário dos méis de Camaratuba e Marmeleiro cujas viscosidades aparentes não se confundiram com as viscosidades aparentes das demais amostras.

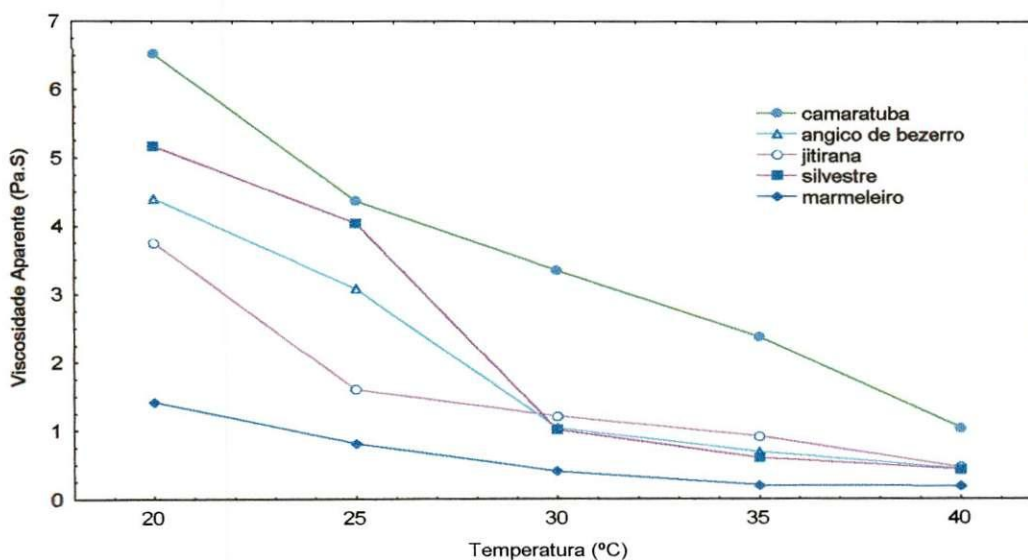


Figura 4.6. Influência da temperatura na viscosidade aparente de diferentes méis para uma taxa de deformação de 32 s^{-1}

Nas Figura 4.7 a 4.11, são apresentadas as curvas de viscosidade aparente versus taxa de deformação de cada uma das amostras estudadas. É possível observar as reduções da viscosidade aparente com o aumento das taxas de deformação para todos os méis e em todas as temperaturas, demonstrando o caráter pseudoplástico das amostras estudadas.

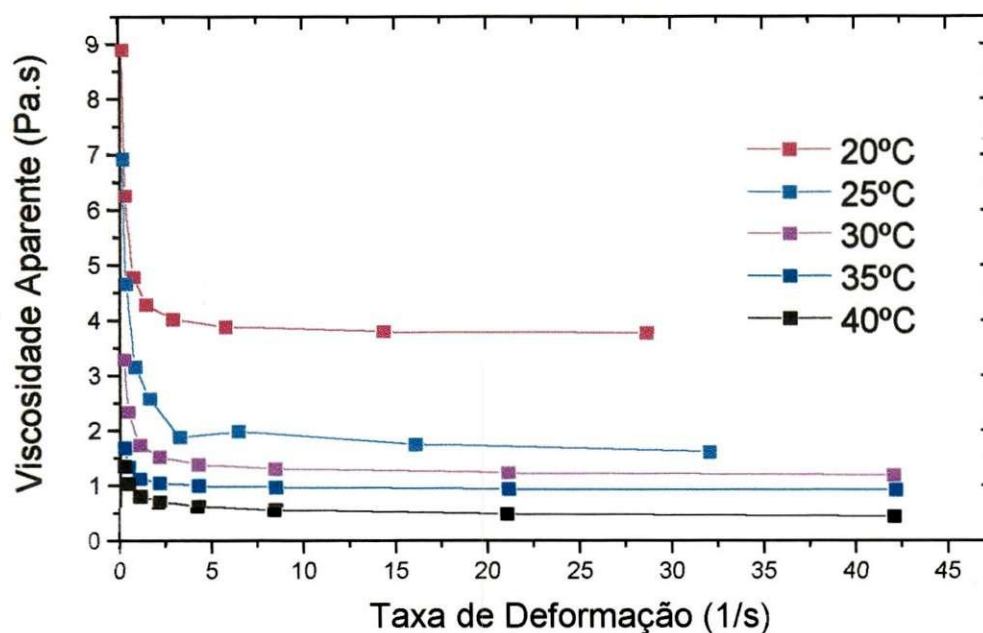


Figura 4.7. Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do mel de Jitirana, nas temperaturas de 20°C a 40°C

Na Figura 4.8 observa-se que no mel da florada de Camaratuba as viscosidades aparentes nas temperaturas de 20°C e 40°C apresentaram um comportamento distinto se comparado as demais temperaturas, com tendência a igualdade entre os seus valores a partir da taxa de deformação de $2,5 \text{ s}^{-1}$, conseqüência da sua baixa pseudoplasticidade.

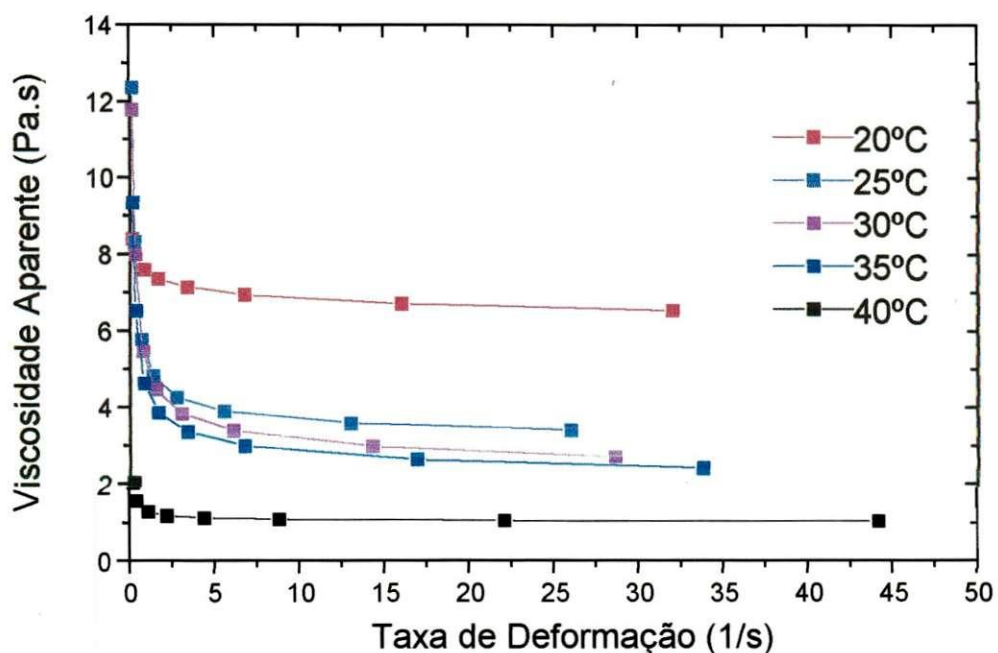


Figura 4.8. Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do mel de Camaratuba, nas temperaturas de 20°C a 40°C

No mel elaborado a partir da florada Silvestre (Figura 4.9) as curvas referentes às temperaturas de 20° e 25°C se destacam das demais em razão de seus valores de viscosidade aparente superarem entre quatro a cinco vezes, aproximadamente, as viscosidades aparentes às demais temperaturas. Esta diferença de escala torna pouco perceptível a pseudoplaticidade do mel de Silvestre nas temperaturas mais altas, como pode-se observar na Figura 4.9.

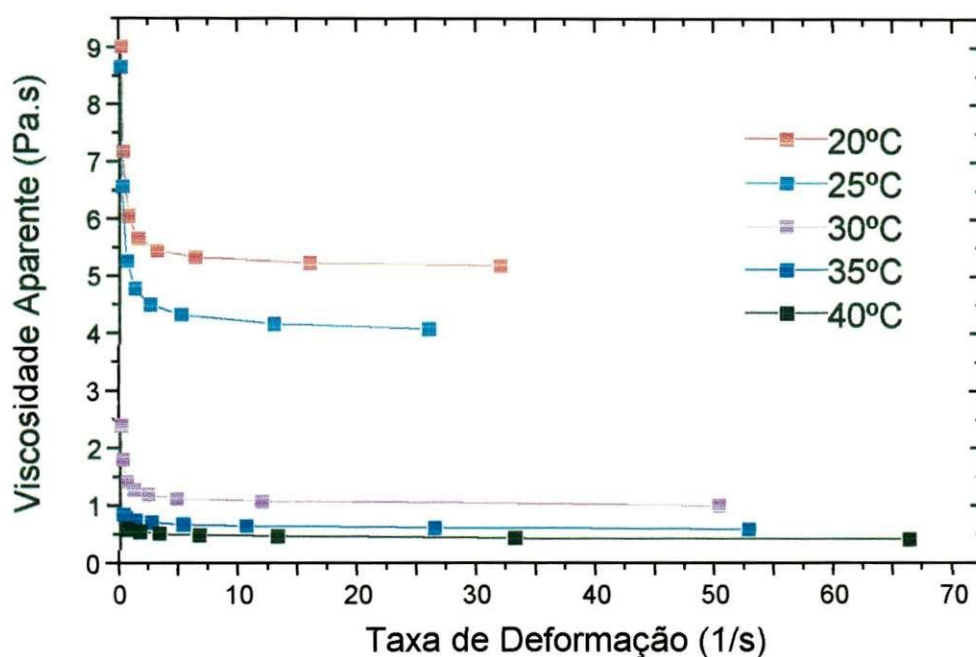


Figura 4.9. Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do mel Silvestre, nas temperaturas de 20°C a 40°C

Na Figura 4.10 observa-se a relação entre as viscosidades aparentes e as taxas de deformação do mel de Angico de Bezerra. Apesar da pseudoplasticidade, comprovada pelo índice de comportamento de fluido, estar caracterizada em todas as curvas, a diferença é relativamente grande entre os valores de viscosidade aparente das curvas nas temperaturas de 20° e 25°C em relação às demais; da mesma forma como ocorreu com os méis da florada Silvestre, torna-se pouco visível a pseudoplasticidade dos méis nas temperaturas mais altas.

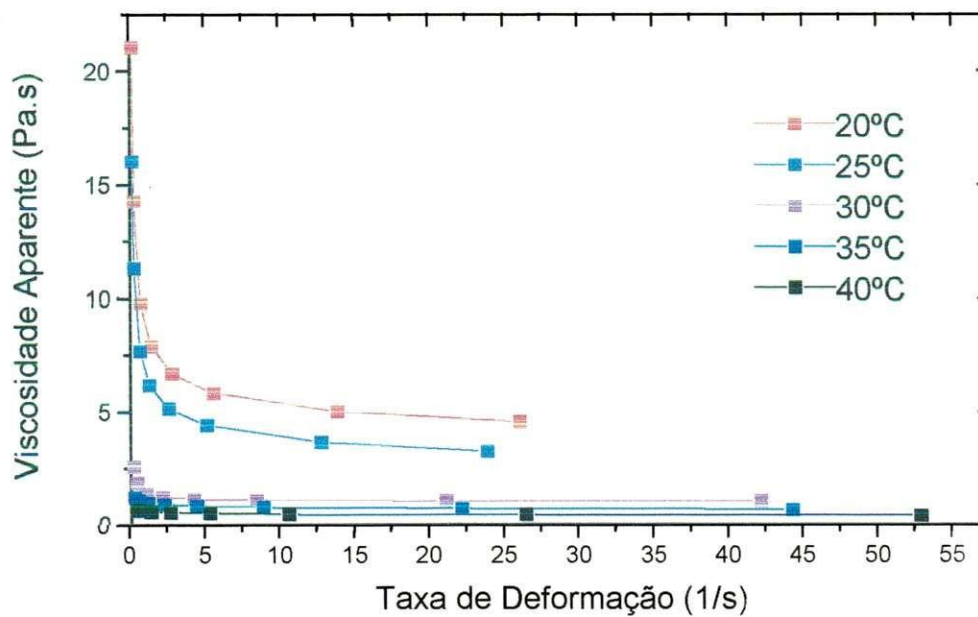


Figura 4.10. Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do mel de Angico de Bezerra, nas temperaturas de 20°C a 40°C

A relação entre as viscosidades aparentes e as taxas de deformação do mel de Marmeleiro encontra-se representada na Figura 4.11, observa-se a sobreposição das curvas referentes a temperatura de 35° e 40°C, com valores semelhantes de viscosidades aparentes. Pode-se ver em todas as curvas a pseudoplasticidade do mel nas cinco temperaturas estudadas, apesar de uma exceção representada na taxa de deformação 3,15 (1/s) a 30°C.

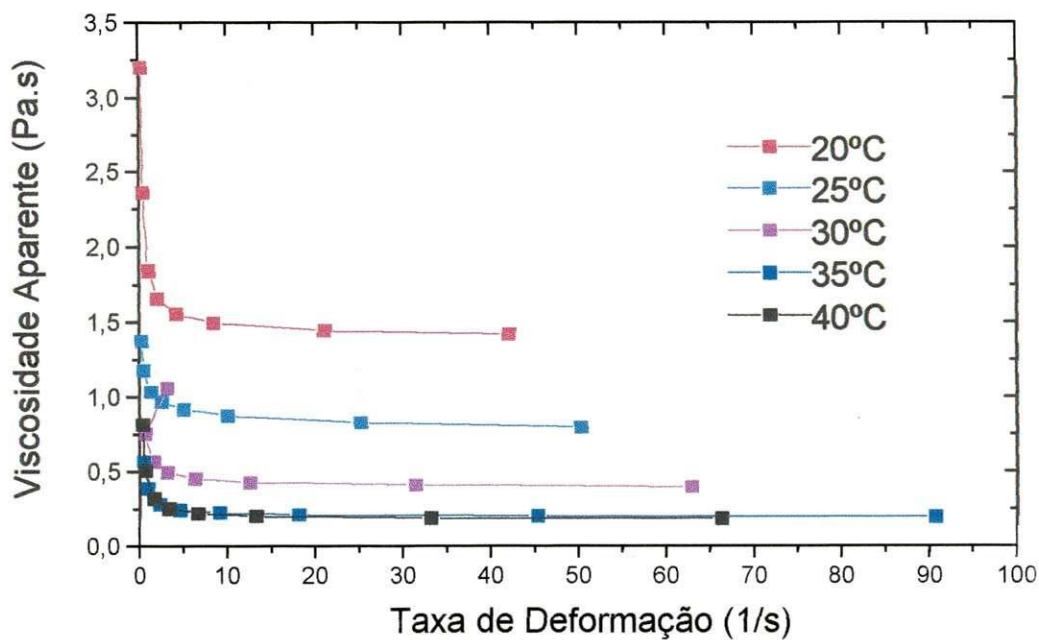


Figura 4.11. Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação do mel de Marmeleiro, nas temperaturas de 20°C a 40°C

4.2.4 - Equação de Arrhenius

Os valores de viscosidade aparente apresentados na Figura 4.11 foram ajustados por uma equação do tipo Arrhenius, cujos valores dos parâmetros de ajuste são apresentados na Tabela 4.4, assim como os parâmetros estatísticos do ajuste. Pelo valor do coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,89, pode se observar que a equação apresentou um bom ajuste aos dados de viscosidade aparente calculados através do modelo de Herschel-Bulkley. Verifica-se também que a energia de ativação variou de 55,998 kJ/g mol a 86,671 kJ/g mol, sendo a amostra de mel de Camaratuba a que apresentou menor energia de ativação e a amostra de mel de Marmeleiro que apresentou maior energia de ativação. SINGH (1999), fazendo uma comparação entre méis de eucalipto (*Eucalyptus lanceolatus*) e aplicando a equação de Arrhenius para os vários tipos de méis determinou uma energia de ativação que variou entre 1,243 kJ/g mol a 1,784 kJ/g mol.

Tabela 4.4. Valores dos parâmetros da Equação de Arrhenius

AMOSTRAS	η_0 (Pa.s)	E_a (kJ/g mol)	R^2	Er. relativo
Camaratuba	$1,02 \times 10^{-15}$	55,99805	0,98137	0,00189
Angico de Bezerra	$1,21 \times 10^{-19}$	86,23646	0,89645	0,00912
Jitirana	$1,25 \times 10^{-21}$	85,85051	0,91682	0,00721
Silvestre	$1,06 \times 10^{-18}$	68,38603	0,93957	0,00527
Marmeleiro	$1,23 \times 10^{-22}$	86,67111	0,98801	0,00135

Na Figura 4.12 observa-se os pontos representativos das viscosidades aparentes ajustados pela equação de Arrhenius, onde tem-se a relação entre a viscosidade aparente e a temperatura absoluta (K). É possível observar a convergência de todas as curvas para valores cada vez menores de viscosidade com o inverso da temperatura.

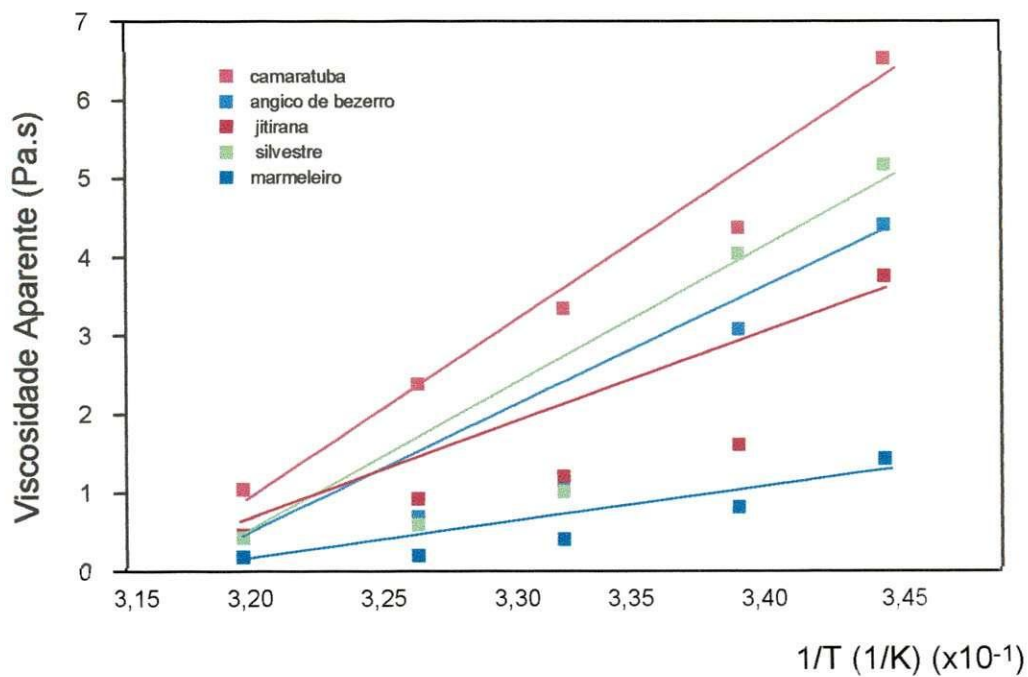


Figura 4.12. Relação entre a viscosidade aparente e a temperatura com ajuste pela Equação de Arrhenius

5 – CONCLUSÕES

- Das análises físico-químicas exigidas pela legislação nacional e do Mercosul, os méis do Piauí encontram-se dentro dos padrões estabelecidos, com teor médio de hidroximetilfurfural (HMF) igual a 3,7 mg HMF/kg de mel, percentual médio de umidade igual a 19,04% e atividade diastásica ou índice de diástase médio de 15,9 DN (escala de Göethe); indicando assim que o mel deste Estado encontra-se próprio para a comercialização no âmbito destes mercados.
- Todos os méis analisados apresentam comportamento reológico do tipo pseudoplástico em toda a faixa de temperatura estudada (20° a 40°C).
- O modelo de Herschel-Bulkley, utilizado para descrever o comportamento reológico dos méis, foi o que apresentou os melhores parâmetros de ajuste, com valores do coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,99 e o modelo da Lei da potência também representou um bom ajuste aos dados experimentais.
- A variação de temperatura na faixa estudada provocou alterações da viscosidade aparente dos méis entre 84% a 92%.
- A relação entre viscosidade aparente e a temperatura pôde ser interpretada pela Equação de Arrhenius com um coeficiente de determinação superior a pelo menos 0,89.
- A diferença da viscosidade aparente entre os diferentes tipos de méis variou entre um mínimo de 54% e um máximo de 83% entre os méis das floradas de Camaratuba e Marmeleiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSY, M. L.; BEZERRA, E. B.; KERR, W. E. **Plantas nectarinas utilizadas por duas espécies de Melipona da Amazônia**, v. 10, n. 2, p. 271 - 281, 1980.

ACEAP. **Zoneamento apícola do estado do Piauí**, Teresina: ACEAP, 1991 (folhas avulsas).

ALCOFORADO FILHO, F.G. **Levantamento e mapeamento da flora apícola da caatinga**. Relatório de Atividades – EMBRAPA MEIO-NORTE, 1996, Teresina – PI, p.101 - 102.

ALCOFORADO FILHO, F.G. Sustentabilidade do semi-árido através da apicultura. Discussões abertas, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 13, 1998, Salvador – BA, **Anais...**, p.61.

ALMEIDA, S.P. Potencial da flora apícola do cerrado. Discussões abertas, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11, 1996, Teresina-PI, **Anais...**, p.187-191.

ALONSO, M.L.; GARZÓN, E.; MELCÓN, B.; ZAPICO, J. **Diseño experimental en reología de alimentos líquidos e semiliquidos**; I. comportamiento de flujo inicial de alimentos infantiles preparados. *Alimentaria*, Madrid, jun.1990, v.27, n.213, p.53-57. ✕

ALVARADO, J.D.; ROMERO, C.H. **Physical properties of fruits I – II. Density and viscosity of juices as functions of soluble solids content and temperature**. *Latin American Applied Research*, 1989, v. 19, p. 15-21.

ANGERAMI, S.; **Porque o Mel se Cristaliza**, Revista Brasileira de Apicultura. v.2, n. 5, p 14-15, set - out / 1991.

AOAC. **Food composition, additives: natural contaminants**. 15 ed. Virgínia, USA: Kenneth Helrich, v. 2, 1990, 268 p.

APHA. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 18 ed. Washongton; American Public Health Association, 1992, 378 p.

BALBACH, A. BOARIM, D. **As frutas na medicina natural**, Ed. Vida Plena, São Paulo, 1ª Ed., 1992, 308 p.

BARNES, H.A.; HUTTON, J.F.; WALTERS, K. **An introduction to rheology**. New York: Elsevier Science Publishers, 1989, v. 3, 263 p. †

BARTH, O.M. **O mel no pólen brasileiro**, Rio de Janeiro: Gráfica Luxor, 1989, 150p.

BARTH, O.M.; DUTRA, V.M.L.; JUSTO, R. Análise polínica de própolis e mel. Discussões abertas, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11, **Anais...**, 1996, p.345.

BASTOS,D.H.M. **Açúcares do mel: aspectos analíticos**. LECTA, Revista de Farmácia e Biologia, vol12, nº1, jan/jun. 1994, p.151-157.

BHANDARI, B., D'ARCY, B.; CHOW, S. Rheology of selected australian honeys, **Journal of Food Engineering**, 1999, vol. 41, p. 65-68.

BIANCHI, E. M. **Determinacion de HMF en la miel**. Argentina: Centro de Investigaciones Apícolas/Univ. Nacional de Santiago Del Estero, 1989, 81 p.

- BEZERRA, J.R.M.V. **Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L-Keitt)**. Campinas (SP): 2000, 159p. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, 2000).
- BOGER, D.V.; TIU, C. **Rheological properties of food products and their use in the desing of flow systems**. Food Technology in Australia, Clayton, 1974, v. 26, n. 8, p. 325-332.
- BONILLA, L. Análises físico-químicas dos méis comercializados no estado de Mato Grosso do Sul. Produtos da Colméia (19), CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 13, 2000, Florianópolis – SC, **Anais...**, CD-ROOM.
- BORDERÍAS, A.J. & MONTERO, P. Fundamentos de la funcionalidad de las proteínas en alimentos. **Revista Agroquímica y Tecnologia de Alimentos, Valencia**, v. 28, n. 2, jun/ago 1988, p. 159-169.
- BRASIL. Instrução normativa nº11, de 20 de outubro de 2000. Estabelece o regulamento técnico de identidade e qualidade do mel. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 out. Seção 1, p. 16-17.
- CAMPOS, M. da G. R. **Contribuição para o estudo do mel, pólen, geleia real e própolis**. Bol. Fac. Farmácia de Coimbra, v.11,n.2,p.17-47 jul-dez. 1987.
- CARVALHO, G.A. Aspectos práticos para manutenção de pequenos meliponários. Discussões abertas, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11, **Anais...**, p.213-214.
- CHARM, S. Viscometry of oh-newtonian food materials. **Food Research**, Chicago, 1960, p. 351-362.

CHEFTEL, J.C.; CUQ, J.L.; LORIENT, D. **Proteínas alimentarias**. Zaragoza: Acribia, 1989, 346 p. *

CORTOPASSI-LAURINO, M & GELLI, D. S. **Analyse pollinique, propriétés physico-chimiques et action antibactérienne des miela d'abeilles africanisées Apis mellifera et de Méliponinés du Brésil**. 1991, Apidologie, p. 61-73.

CRANE, E. **O Livro do mel**. Tradução por Kleinert Giovannini, São Paulo: Nobel 1983.226p. Tradução de: A book of Honey.

DURÁN, J. E. T., CORTAPASSI-LAURINO, M.; ISSA, M. R. C. **Méis brasileiros: resultados de análises físico-químicas e palinológicas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11, 1996, Teresina- PI, **Anais...**, p 15-21.

DURAN, L. **Controle de qualidade de alimentos**, In: Seminário de Controle de Qualidade na Indústria de Alimentos: Resumos, Campinas, ITAL, 1991,p.1.

FAE. **Manual de controle de qualidade de alimentos**. Brasília: 1999, 94p.

FARIA, J. A. F. **Embalagens e conservação do mel de abelhas**. Informe Agropecuario, Belo Horizonte, v.9,n.61-62, 1983.

FARIA, J. A. F. **Shelf life testing of honey**. Ciênc. Tecnol. Aliment. 1993, p. 58-66.

FELLER-DEMALSY, M.J. ; VICENTE, B.; BEAULIEU, F. **Teneur en minéraux et origine géographique des miels du Canada**. Apidologie, v.20, p.77-91, 1989.

FINNEY Jr., E. **Elementary Concepts of Rheology Relevant to Food Texture Studies**. In: KRAMER, A. & SZCZESNIAK, A.S. (ed.) *Texture Measurements of Foods*. Dordrecht, Holland, D. Riedel Publishing Co., 1973, p.33-51.

FLECTMANN, C. H. W.; CALDAS FILHO, C.F.; AMARAL, E. & ARZOLA, J.D. **Análise dos méis do Estado de São Paulo**. 1982, Bol. Ind. Animal p. 65-73.

FREITAS, B.M. **Beekeeping and cashew in north-eastern Brazil: the balance of honey and nut production**. *bee world*. V. 75, n.4, 1994, p. 19-27.

GONNET, M. **Le miel: composition, propriétés, conservation**, 2ed. Montfavet: OPIDA, 1982.

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

HOOPER, T. **Guia do apicultor**, 2ed. Tradução por Maria de Lourdes Medeiros. (s. l.) 1981, 269 p. (Coleção EuroAgro, 2).

HOOPER, T. Características físico-químicas de amostras de méis provenientes dos municípios de Aratiba e Erechim no estado do Rio Grande do Sul, In. Seminário Estadual de Apicultura, 5, São Borja – RS, **Anais...**, julho/1983, p. 115 - 127.

HORN, H. **Intensive practical cours on honey analysis**. São Paulo: 1996. 43p: (Curso de Mestrado em Entomologia - FFCLRP/USP, 1996).

HORN, H. The international honey market and its importance to Brazil. Discussões abertas, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 13, 1998, Salvador – BA, **Anais...**, p.31 - 35.

<http://www.apacame.org.br/mensagemdoce/46/nativas.htm>.30/09/98. 10:06h.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo: O Instituto, 1985, 369 p.

IBARZ, A.; GONÇALVES, C; EXPLUGAS, S. **Rheology of clarified passion fruit juices**. *Fruit Processing*, v. 6, n. 8, 1996, p. 330-333.

IBGE. **Anuário estatístico do Piauí**. Teresina: SEPLAN, 1999, V.3, 285 p.

JEAN-PROST, P. **Luomo e L ape**. Itália: Edagricole, 1986, 202 p.

JENKINS, D.J.A. *et al.* **Dietary fibers, fibre analogues and glucose tolerance: importance of viscosity**. *British Medical Jour.*, 1978, p.1392-1394.

JUNZHENG, P. & CHANGYING, J. General rheological model for natural honeys in China, **Journal of Food Engineering**, 1998, vol. 36, p. 165-168.

KERR, W.E. Uruçu e Tiúba: As grandes possibilidades da Meliponicultura Nordestina. Discussões abertas, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11, Teresina - PI, **Anais...**, 1996, p.209-212.

KERR, W.E. Abelhas e o meio ambiente. Conferência 01, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11, 1998, Salvador – BA, **Anais...**, p.27 - 28.

KOMATSU, S.S. & MARCHINI, L.C. Teores de açúcares redutores e sacarose de amostras de méis de flores silvestres produzidos por *Apis mellifera* no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11, 1996, Teresina – PI, **Anais...**, p.344.

KULMYRZAEV, A.; JULIAN, D. Rheology of honeys. **Journal of Food Engineering**, 2000, vol. 45, p. 219-224.

MACHADO, J. O & C, J.M.F. **Manual de apicultura**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1972, 252 p.

MALASPINA, O; PAULINO, N; TOUCHETO, D. Importância de Uma Rede Nacional de Laboratórios Para a Análise da Qualidade dos Produtos Apícolas. Simpósio, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 13, 2000, Florianópolis – SC, **ANAIS...**, CD-ROOM.

MASSON, B. **O mel**, Ed. Guia., São Paulo - S.P, 1994, 117 p.

MONTEIRO, W.R. **Meliponocultura; criação de abelhas sem ferrão**. São Paulo: Três, 1986. 80 p.

MARQUES, A . N, WIESE, H. **Os produtos das abelhas**. In: WIESE, H. (org.) Nova Apicultura. 7. Ed. Porto Alegre: Agropecuária, 1987, 483p.

MORAES, R.M. Da flor ao consumidor: O controle de qualidade que valoriza o produto. Discussões abertas, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11, 1996, Teresina - PI, **Anais...**, p. 215.

MORSE, R. HOOPER, T. **Enciclopédia ilustrada de apicultura**. Tradução por Maria de Lourdes Medeiros. Portugal: Publicações Europa-América, 1986, 256 p. (Coleção Euroagro). Tradução de: The Illustrated encyclopedia of beekeeping.

MULLER, H.G.; **Introducción a la reología de los alimentos**. Zaragoza: Editora Acribia, 1977, 173 p. x

MUXFELD, h., **Apicultura para todos**. 4 ed. Ver. Porto Alegre: Sulina, 1982. 242 p.

MUXFELD, H. **Mel e muito mais**, Sagra, 1986, Porto Alegre - RS, 143 p.

NOGUEIRA NETO, P. **A criação de abelhas indígenas sem ferrão**, São Paulo: Chácaras e Quintais, 1972, 280 p.

NOGUEIRA NETO, P. **Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão**, São Paulo, Ed. Nogueirapis, 1997, 445 p.

NORONHA, P.R.G.; **Caracterização de méis cearenses produzidos por abelhas africanizadas**: Parâmetros químicos, Composição Botânica e Colorimetria. Fortaleza: 1997, 147p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia - Universidade Federal do Ceará, 1997).

PAMPLONA, B.; **Méis Orgânicos e Exóticos: Análise Físico-Química e Sensorial**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11, 1996, Teresina – PI, **Anais...**, p.219-221.

QUEIROZ, A.J.M.; VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. **Influência do sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi**; In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 14, 1996, Uberlândia, p. 27. ✕

RAMALHO, M. Valores e critérios do Concurso de Méis. **Apicultura no Brasil**, v.3, n.17, nov-dez/1985, p.25-27.

RAMALHO, M, AMARAL, A. D. do, AZOUBEL, M. L. **Mel: origem, caracterização e controle de qualidade**. Ver. **Apicultura no Brasil**, São Paulo, v.4, n.23, nov-dez/1987, p. 25-36.

RAO, M.A. **Rheology of fluid foods** – a review. Journal of Texture Studies, New York, 1977a, v.8, n.2, p. 135-168.

RAO, M.A. **Measurement of flow properties of fluid foods** – developments, limitations, and interpretation of phenomena. Journal of Texture Studies, New York, 1977b, v.8, n.3, p. 257-282.

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.

REGIS, J.J. **Legislação sanitária para produtos apícolas e a importância da Inspeção Federal**. Conferência e Palestras, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 13, 2000, Florianópolis – SC, **Anais...**, CD-ROOM.

RIBEIRO, M.B.D. **Potencialidades da Apicultura no Nordeste Brasileiro**. Conferência 03, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 12, 1998, Salvador – BA, **Anais...**, p.38 - 42.

ROOT, A . I. **ABC y xyz de la apicultura**: encyclopedia de La Cria Cientifica y Prática de las Abejas. Tradução por Virginia McCarmeck y Hugo McCarmeck Buenos Aires: Editorial Hemisfério Sur, 1985. 723 p. Tradução de The ABC and XYZ of bee Culture.

RUHLE, E.R. **Controle de qualidade dos produtos apícolas**. Conferência e Palestras, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 13, 2000, Florianópolis – SC, **Anais...**, CD-ROOM.

SANTOS, M.A.; MESSAGE, D.; STANCIOLA, I.R. Técnica para estudo de atividade de coleta em *Apis mellifera* L. Discussões abertas, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11, 1986, **Anais...**, p.368.

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

SCHALLER, A.; KNORR, D. Ergebnisse methodolischer untersuchungen zur schazung der fliessgrenze und plastichen viskositat am beispie von aprikosenpuree unter zugrundelegung lines idealplastische fliessverhaltens. **Confrusta**, 1973, p. 169-176.

SEGUI, G.L. O estado atual e perspectivas da apicultura Brasileira. Discussões abertas, CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 12, 1998, Salvador – BA, **Anais...**, p.43 - 46.

SHERMAN, P. **Industrial rheology**. London, Academic Press, 1999, 423 p.

SILVA, C. F. **Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e temperatura**. Campinas (SP); 1999, 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, 1999).

SGARBIERI, V.C. **Propriedades funcionais de proteínas em alimentos**. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 32, n. 1, jun/ago 1998, p. 105-126.

SKELLAND, A.H.P. **Non-newtonian flow and heat transfer**, New York, John Wiley & Sons, 1967, 469p.

SOBENKO, J. **Qualidade do mel**. APACAME, Revista Mensagem Doce, nº61, maio/ 2001, p.16-22.

SOLORZA-FERIA, J. Propriedades Reológicas do mel de Abelha (*Apis mellifera*), In: Congresso Iberoamericano de Ingenieria de Alimentos y

Congresso Español de Ingeniería de Alimentos, 3, 1, **Anais...**, Valencia - Espanha, Março-2001, CD-ROOM.

SOMMER, P. G.; O desenvolvimento da apicultura Brasileira, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 12, **Anais...**, Salvador - BA, 1998, p. 173.

VAN WAZER, J.R.; LYONS, J.W.; KIM, K.Y.; COLWELL, R.E. **Viscosity and flow measurement: a laboratory handbook of rheology**. New York, Interscience Publishers, 1963, 406 p.

VERÍSSIMO, M. T. **Mel, própolis e geléia real: características e utilidades**. Ver. Apicultura no Brasil, São Paulo, v.2, n.9, 1985, 58 p.

VERÍSSIMO, M. T. **Análise dos Méis de Santa Catarina**. Ver. Apicultura no Brasil, São Paulo, v.4, n.9, 1987, 39 p.

VILHENA, F.; ALMEIDA-MURADIAN, L.B. **Manual de Análises Físico-químicas de Mel**, São Paulo: APACAME, 1999, 16p.

VILHENA, F.; ALMEIDA-MURADIAN, L.B. **Análise Físico Química Dos Méis De São Paulo** - Mensagem Doce, nº 53, Setembro, 1999. p.17-19.

WHITE Jr., J. W., La Miel. IN: DADANT E HIJOS, **La colmena y la abeja melífera**. Montevideo: Hemisfério Sur. Traducido por Hannelare S. d Marx. 1989, p. 21-35.

WIESE, H. **Aprenda a criar abelhas**. Nova Apicultura, Ed. Agropecuária, Guaíba RS, 1993, 493 p.

APÊNDICE A

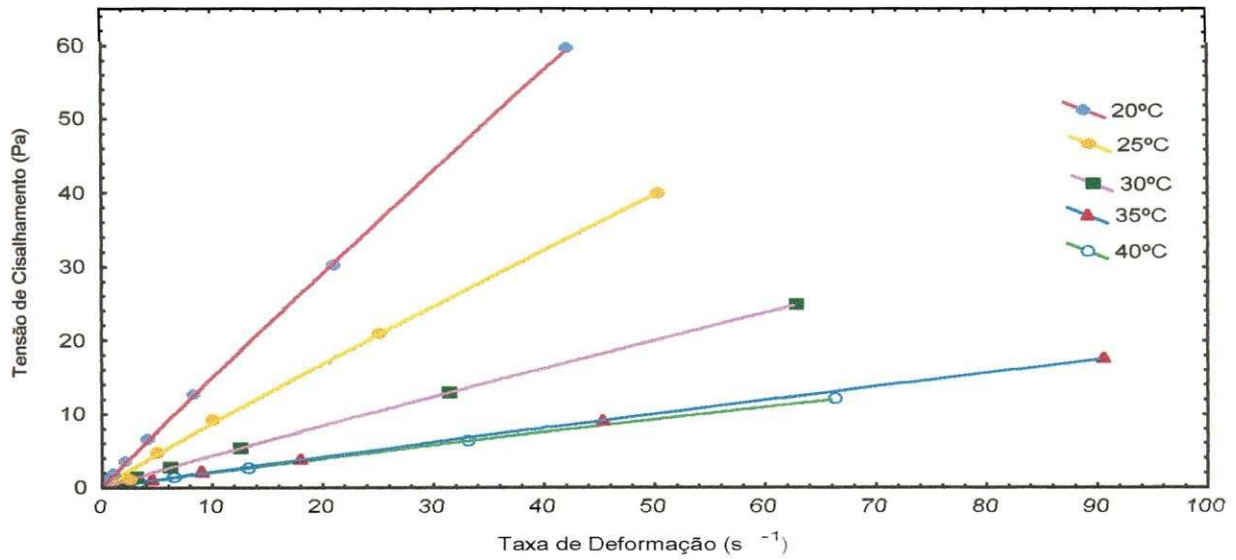


Figura A.1. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo da Lei da Potência do mel da florada de marmeleiro nas temperaturas de 20 a 40°C

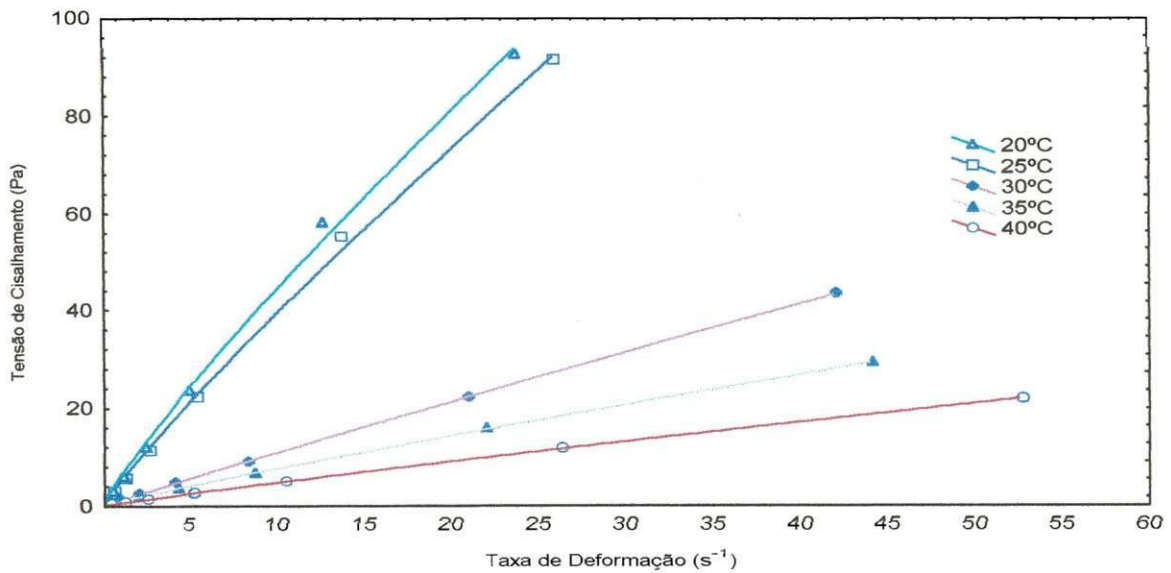


Figura A.2. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo da Lei da Potência do mel da florada de angico de bezerro nas temperaturas de 20 a 40°C

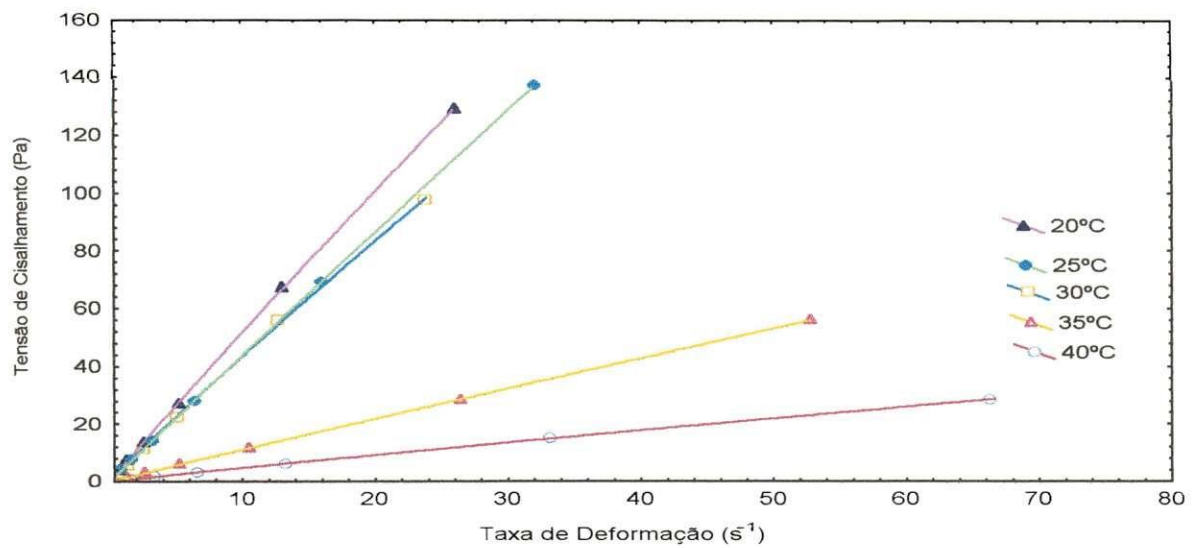


Figura A.3. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo da Lei da Potência do mel da florada silvestre nas temperaturas de 20 a 40°C

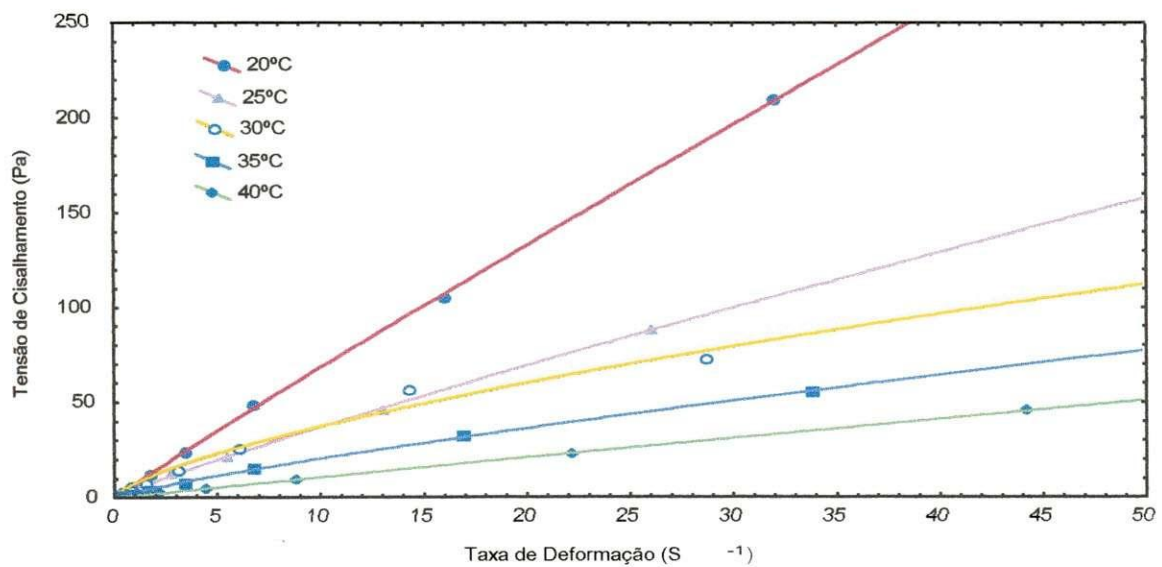


Figura A.4. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo da Lei da Potência do mel da florada camaratuba nas temperaturas de 20 a 40°C

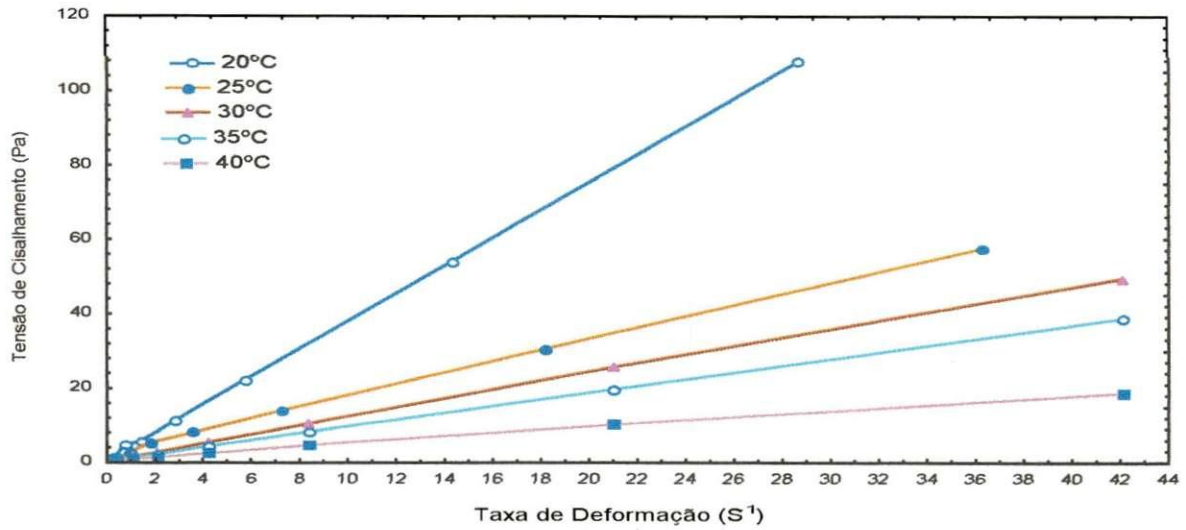


Figura A.5. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo da Lei da Potência do mel da florada jitirana nas temperaturas de 20 a 40°C

Tabela A.1. Parâmetros de ajuste do modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) nos méis estudados

AMOSTRA	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n	Erro (K)	Erro (n)	χ^2	R ²
Jitirana	20	4,089888	0,974493	0,00000	0,00000	0,00030	0,99983
	25	2,595448	0,960897	0,00001	0,00000	0,00010	0,99954
	30	1,428836	0,947411	0,00000	0,00000	0,00011	0,99994
	35	1,120614	0,946696	0,00000	0,00000	0,00013	0,99983
	40	0,760299	0,957465	0,00000	0,00000	0,00010	0,99994
Camaratuba	20	7,496320	0,960132	0,00000	0,00000	0,00001	0,99992
	25	7,495607	0,989312	0,00001	0,00000	0,00003	0,99952
	30	7,319051	0,985444	0,00002	0,00004	0,00011	0,98898
	35	3,110916	0,927298	0,00000	0,00000	0,00010	0,99945
	40	1,171695	0,966489	0,00000	0,00000	0,00001	0,99997
Silvestre	20	5,747908	0,978660	0,00054	0,00100	0,00016	0,99997
	25	5,020227	0,966467	0,00003	0,00030	0,00280	0,99996
	30	4,613748	0,955944	0,00001	0,00000	0,00166	0,99977
	35	1,211971	0,938508	0,00011	0,00010	0,00412	0,99998
	40	0,566323	0,935151	0,00002	0,00027	0,00240	0,99995
Angico de Bezerro	20	5,977319	0,869775	0,00036	0,00010	0,00043	0,99920
	25	5,019211	0,894378	0,00054	0,00052	0,00281	0,99986
	30	1,221868	0,954704	0,00009	0,00005	0,00091	0,99991
	35	0,991249	0,895347	0,00008	0,00041	0,00032	0,99994
	40	0,572460	0,910214	0,00072	0,00054	0,00039	0,99996
Marmeleiro	20	1,632331	0,961842	0,00001	0,00003	0,00017	0,99995
	25	1,009754	0,939052	0,00030	0,00010	0,00021	0,99992
	30	0,500431	0,943334	0,00000	0,00005	0,00059	0,99987
	35	0,251401	0,942794	0,00021	0,00018	0,00046	0,99983
	40	0,252199	0,921671	0,00013	0,00023	0,00058	0,99953