

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MARCUS VINÍCIUS DA ROCHA AFONSO
MARIANA SILVA ARAÚJO

Comportamento reológico e de textura de géis de Fécula de Araruta (*Maranta arundinaceaea L.*), Mandioca (*Manihote sculenta Crantz*) e Amido Milho (*Zea mays*)

GOIÂNIA- GO

2017

MARCUS VINÍCIUS DA ROCHA AFONSO
MARIANA SILVA ARAÚJO

Comportamento reológico e de textura de géis de Fécula de Araruta (*Maranta arundinaceaea L.*), Mandioca (*Manihote sculenta Crantz*) e Amido Milho (*Zea mays*)

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de Goiás
UFG como parte das exigências para Graduação
em Engenharia de Alimentos.

Orientadora Prof^a Dr. Adriana Régia Marques de Souza

GOIÂNIA- GO

2017

Comportamento reológico e de textura de géis de Fécula de Araruta (*Maranta arundinaceaea L.*), Mandioca (*Manihote sculenta Crantz*) e Amido Milho (*Zea mays*)

Adriana Régia Marques de Souza

Rosângela Vera

Láisa Gomes Dias

AGRADECIMENTOS

À Deus, por nos ter permitido a vida, concedido esta amizade que só vem proporcionando coisas boas, nos concedido a saúde e a coragem para persistir e enfrentar as batalhas diárias desta jornada, para que pudéssemos alcançar nossos objetivos.

À nossa família, pela imensa compreensão e paciência nas horas difíceis, pelo carinho, apoio, amor, e principalmente, por acreditar em nós e nos apoiar a construir um futuro melhor, no qual não conseguimos expressar em palavras os nossos eternos agradecimentos.

À professora Dra. Adriana Régia, pela orientação, paciência, amizade, apoio, palavras de afeto, por nos encorajar em cada situação difícil, por nos ensinar a não desistir nas primeiras quedas, pelas palavras sábias e por nos despertar sempre o amor por aquilo que fazemos.

Ao técnico Deivis de Moraes Carvalho pela paciência em nos ensinar e contribuir com o nosso conhecimento para a realização deste estudo.

Aos nossos amigos, por serem nossos alicerces e nossa família nos momentos turbulentos e de glórias, por compartilharem conosco das alegrias, lutas, decepções, brincadeiras e tornarem essa caminhada mais leve e prazerosa de seguir.

Ao corpo docente e técnico da Escola de Agronomia da UFG, ao LabMulti pelos serviços prestados e ensinamentos recebidos.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1	AMIDO.....	9
2.2	GELATINIZAÇÃO E RETROGRADAÇÃO DO AMIDO.....	10
2.3	REOLOGIA.....	11
2.3.1	REOLOGIA EM ESTADO DINÂMICO.....	14
2.3.2	VARREDURA DE FREQUÊNCIA, TEMPERATURA E TEMPO.....	16
2.3.3	CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DO AMIDO.....	16
2.4	EXTRUSÃO DE GÉIS.....	17
2.5	FONTES DE AMIDOS.....	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1	REOLOGIA.....	19
3.1.1	ESTUDO REOLÓGICO.....	19
3.2	EXTRUSÃO DOS GÉIS DE FÉCULA E AMIDO.....	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
4.1	ESTUDO REOLÓGICO.....	21
4.2	CARACTERÍSTICAS DOS FLUIDOS.....	22
4.3	REOLOGIA EM ESTADO DINÂMICO.....	23
4.3.1	VARREDURA DE FREQUÊNCIA.....	23
4.3.2	VARREDURA DE TEMPO.....	25
4.3.3	VARREDURA DE TEMPERATURA.....	26
4.4	EXTRUSÃO DE GÉIS.....	27
5	CONCLUSÃO.....	29
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura da amilose e da amilopectina em um grânulo de amido.....	10
Figura 2. Comportamento dos fluidos não-Newtonianos e Newtonianos.....	13
Figura 3. Características dos fluídos Não-Newtonianos.....	13
Figura 4. Fluidos Não-Newtonianos dependentes do tempo.....	14
Figura 5. Comportamento reológico das soluções (A) e géis (B) do amido de milho, féculas de mandioca e araruta.....	21
Figura 6. Características soluções (A) e géis (B) de amido de milho, fécula de mandioca e araruta.....	22
Figura 7. Módulos de armazenamento (G') e módulo de dissipação (G'') em relação a varredura de frequência de amido de milho, fécula de mandioca e araruta.....	24
Figura 8. Módulos de armazenamento (G') e módulo de dissipação (G'') em relação a varredura de tempo de amido de milho, fécula de mandioca e araruta.....	25
Figura 9. Módulos de armazenamento(G') e módulo de dissipação (G'') em relação a varredura de temperatura de amido de milho, fécula de mandioca e araruta.....	26
Figura 10. Força dos géis de amido de milho, fécula de araruta e mandioca em relação ao tempo.....	28

RESUMO

A maior reserva de energia em todas as plantas é o amido, tratando-se de volume, sendo abundante em sementes, raízes e tubérculos. De todos os polissacarídeos, o amido é o único produzido em pequenos agregados individuais, denominados grânulos. Os grânulos de amido são misturas heterogêneas de duas macromoléculas, amilose e amilopectina, que diferem no tamanho molecular e grau de ramificação. As propriedades de gelatinização e retrogradação do amido estão relacionadas a vários fatores, incluindo proporção de amilose e amilopectina, tipo de cristalinidade, tamanho e estrutura do grânulo de amido. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi determinar o comportamento reológico em estado dinâmico, quanto à varredura de frequência, tempo e temperatura, além da extrusão dos géis de amido de araruta, mandioca e milho. O estudo reológico mostrou que todas as amostras analisadas, sendo em solução líquida e em forma de géis, demonstrou comportamento de fluido Não-Newtoniano independente do tempo. As características dos fluidos de cada solução e de cada gel apresentam características semelhantes, sendo um fluido Não-Newtoniano do tipo dilatante enquanto o amido de milho apresenta característica de fluido pseudoplástico. Os géis foram caracterizados como géis elásticos, pois verificou-se que o módulo de armazenamento é maior que o módulo de dissipação e além da dependência com a temperatura, decrescendo com o seu aumento. Concluiu-se que com o aumento progressivo da temperatura, os géis apresentaram baixa estabilidade, características de géis fracos, quanto mais elástico é o gel, maior será a sua resistência, sendo o gel de amido de milho mais resistente quando comparado a fécula de mandioca e araruta.

Palavras chaves: Gelatinização-retrogradação, fluídos, elasticidade.

1. INTRODUÇÃO

O amido é a maior substância de reserva alimentar existente nas plantas, que corresponde de 70 a 80% de calorias ingeridas pelo homem em todo o mundo. Possui características físico-químicas e qualidades nutricionais peculiares (BRAGA & MORESCHI & MEIRELES, 2006). Apresenta-se na forma de grânulos com formato e tamanho dependentes da sua fonte botânica (FRANCO et al., 2001).

Os grânulos de amido são misturas heterogêneas de duas macromoléculas, amilose e amilopectina, formados por unidades de glicose, que diferem no tamanho molecular e grau de ramificação (MIZUKAMI & TAKEDA & HIZUKURI, 1999). As propriedades de gelatinização e retrogradação do amido estão relacionadas a vários fatores, incluindo proporção de amilose e amilopectina, tipo de cristalinidade, tamanho e estrutura do grânulo de amido (LINDEBOOM & CHANG & TYLER, 2004).

A gelatinização geralmente ocorre numa ampla faixa de temperatura característica para cada fonte de amido, sendo afetada principalmente pela presença de água. A retrogradação acontece quando as moléculas do amido vão perdendo energia e as ligações de hidrogênio tornam-se mais fortes, assim, as cadeias começam a reassociar-se num estado mais ordenado (ELIASSON, 1996; SINGH et al., 2003).

O amido não se encontra sozinho em produtos alimentícios, por isso a importância do estudo da interação do amido com componentes como proteínas, sacarose, sais, entre outros, pois produtos como pães, massas, molhos e outros processados industrialmente possuem textura característica e atributos sensoriais relacionados à presença de diferentes proporções. As propriedades reológicas e de textura são afetadas durante o processo de gelatinização e retrogradação, com isso torna-se importante sua avaliação e o estudo separado de cada espécie (ROBERTS & CAMERON, 2002).

O objetivo do presente trabalho foi determinar o comportamento reológico em estado dinâmico, quanto à varredura de frequência, tempo e temperatura, além da extrusão dos géis amido de milho, féculas de araruta e mandioca.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AMIDO

A maior reserva de energia em todas as plantas é o amido, sendo abundante em sementes, raízes e tubérculos. De todos os polissacarídeos, o amido é o único produzido em pequenos agregados individuais, denominados grânulos. São sintetizados nas células de cada planta, que adquirem tamanho e forma prescritos pelo sistema biossintético das plantas e pelas condições físicas impostas pelo contorno dos tecidos (WHISTLER & DANIEL, 1993). Segundo a Anvisa, amido é o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais (sementes). Fécula é o produto amiláceo extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais (tubérculos, raízes e rizomas) (BRASIL, 2005).

A síntese do amido se processa nos vegetais e sua função se dá como a do glicogênio no organismo humano. A realização das reações de síntese desse carboidrato exige a presença de energia luminosa, a qual sofrerá fotossíntese e originará energia bioquímica na forma de triose-fosfato (triose-P), sintetizada nas primeiras etapas do Ciclo de Calvin, o qual se efetua no cloroplasto (RÊGO, 2013).

Encontra-se amplamente distribuído em diversas espécies vegetais como carboidrato de reserva, sendo abundante em grãos de cereais, raízes e tubérculos. É a fonte mais importante de carboidratos na alimentação humana, representando de 80% a 90% de todos os polissacarídeos da dieta. É ainda o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados (WALTER et al., 2005).

Os grânulos de amido possuem tamanhos e formas diferentes, podendo variar de 1-100 μm dependendo da sua fonte botânica (COULTATE, 2004). Os grânulos de amido de araruta e amido de mandioca possuem diferentes tamanhos, com predomínio de grânulos com diâmetro de 20 a 40 μm para amido de araruta, e grânulos com diâmetro de 15 e 20 μm para o amido de mandioca (LEONEL, 2007). Já o amido de milho possui grânulos pequenos, esféricos e ovóides com diâmetro variável na faixa de 2 a 30 μm e tamanho de partícula médio de 17 μm (SASOE, 2012).

O amido é constituído basicamente por amilose e amilopectina, que representam 97 a 99% do peso seco do mesmo (GALLIARD & BOWLER, 1987). Segundo Blanshard (1987) esses dois componentes do amido diferem-se entre si, quanto ao peso molecular, ao grau de polimerização de suas cadeias e à disposição dos mesmos no interior do grânulo. A amilose forma géis firmes após o resfriamento e tem grande tendência a precipitar, enquanto que a

amilopectina apresenta gelificação lenta ou inexistente, precipitação lenta, e textura gomosa e coesiva (BRAGANTE, 2009).

O amido é constituído estruturalmente por cadeias lineares de glicose (amilose) e ramificadas (amilopectina). A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow4)$ formando uma estrutura linear e a amilopectina por unidades de glicose unidas em $\alpha(1\rightarrow4)$ e $\alpha(1\rightarrow6)$, formando uma estrutura ramificada (WANG & WHITE, 1994).

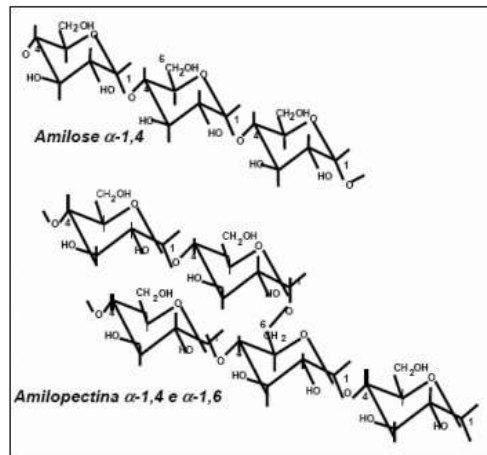


Figura 1. Estrutura da amilose e da amilopectina em um grânulo de amido (Adaptado de WONG, 1989).

A fécula de mandioca apresenta cerca de 17-18% de teor de amilose e 82-83% de amilopectina. O amido de milho apresenta um teor de 27% de amilose e 73% de amilopectina (BOBBIO, 1995). Já a fécula de araruta possui um teor de amilose entre 21,9-23,9% e o teor de amilopectina entre 78,1-76,1% (PERONI, 2003; LEONEL et al., 2001).

É um importante parâmetro para consistência e textura dos alimentos, como também o tipo de amido, em outras palavras, a fonte da qual é extraída. O amido tem sido utilizado como o substituto de gordura em alimentos de baixa caloria, bem como seu uso tradicional como estabilizante e/ou emulsificante na matriz dos alimentos industrializados (BELLO-PEREZ & MONTEALVO & ACEVEDO, 2006).

2.2 GELATINIZAÇÃO E RETROGRADAÇÃO DO AMIDO

Quando o amido entra em contato com a água fria, os grânulos incham ligeiramente (10 a 20%) devido à difusão e absorção de água nas regiões amorfas, mas esse processo é reversível pela secagem (WHO/FAO, 1998). No entanto, quando os grânulos são aquecidos em água, eles incham irreversivelmente num fenômeno denominado gelatinização, em que ocorre perda da organização estrutural (perda da birrefringência), com fusão dos cristais. A gelatinização tem início no hilum e se expande rapidamente para a periferia, ocorrendo

inicialmente nas regiões amorfas devido à fragilidade das ligações de hidrogênio nessas áreas, ao contrário do que ocorre nas regiões cristalinas (SINGH et al., 2003), e a medida que os grânulos continuam se expandindo, ocorre a lixiviação da amilose da fase intergranular para a fase aquosa, resultando no aumento substancial das propriedades reológicas do sistema. O conjunto de mudanças que envolvem a ruptura da estrutura granular, o inchamento, a hidratação e a solubilização das moléculas de amido é definido como o fim da gelatinização (THARANATHAN, 2002).

Após a gelatinização do amido (formação da pasta), quando a temperatura da solução de amido é reduzida à temperatura ambiente, ou mais baixa, ocorre à formação de um gel, dependendo da concentração das soluções e da velocidade do resfriamento. Soluções concentradas e resfriadas rapidamente tendem a formar géis, enquanto soluções mais diluídas, deixadas em repouso, tendem a precipitar (HIZUKURI et al., 1981; ELLIASSON, 1996). Esses precipitados são formados devido à tendência para formação de ligações intermoleculares da fração linear, o que não acontece tão prontamente com a amilopectina, na qual essa associação é dificultada devido a suas ramificações. Este processo é denominado retrogradação do amido e é acelerado pelo congelamento de suas soluções aquosas (HENRY, 1985). O processo de retrogradação tem influência direta do teor de amilose, que quanto maior, mais rápido acontecerá. Por apresentar estrutura linear, a cadeia de amilose encontra-se mais disponível para reassociar-se, o que causa uma maior perda de água (aumento da sinérese) no produto final (MUNHOZ et al., 2004).

A retrogradação é um fenômeno complexo e varia de acordo com diversos fatores, como: temperatura e tempo de armazenamento, pH, fonte de amido, presença de outros componentes (lipídios, eletrólitos e açúcares) e condições de processamento. A principal influência da retrogradação é observada na textura, na aceitabilidade e na digestibilidade dos alimentos que contém amido (ELIASSON, 1996; THARANATHAN, 2002; ELIASSON, 2004).

2.3 REOLOGIA

A Reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento de corpos sólidos ou fluídos (gases ou líquidos). Os componentes dos fluidos podem apresentar diferentes formas geométricas, características diversas de ligação, tamanhos variados, que lhe conferem comportamentos distintos. Muitos sistemas, principalmente os de natureza coloidal apresentam um comportamento intermediário entre esses dois extremos, apresentando tanto características viscosas como elásticas (BENNET et al, 1978).

Em outras palavras, a reologia tem por finalidade prever a força necessária para causar uma dada deformação ou escoamento em um corpo ou, reciprocamente, prever a deformação ou o escoamento resultante da aplicação de um dado sistema de forças em um corpo (MANRICH & PESSAN, 1987).

A propriedade reológica de maior interesse no caso dos sólidos é a elasticidade e no caso dos líquidos, a viscosidade (CHEREMISINOFF, 1993). O líquido viscoso não tem forma definida e irá escoar, irreversivelmente, com a aplicação de uma força externa (STANLEY, et al., 1995).

De uma maneira geral, é possível classificar o comportamento reológico dos materiais, através de dois extremos idealizados: sólidos perfeitos (hookeanos) e fluidos perfeitos (newtonianos). Enquanto os sólidos ideais se deformam, elasticamente, e a energia de deformação é, completamente, recuperada, quando cessa o estado de tensão, fluidos ideais escoam, ou seja, se deformam de forma irreversível e a energia de deformação é dissipada na forma de calor. Dessa maneira, em fluidos, a energia de deformação não é recuperada, após o alívio da tensão (TONELI, 2005).

Os aspectos reológicos dos fluidos podem ser estudados sujeitando-os a uma taxa contínua de deformação. Isso pode ser feito utilizando duas placas paralelas com o fluido entre as duas. A placa inferior é fixa e a superior se movimenta a uma velocidade constante (u), gerando um perfil de velocidades ao longo do fluido que, por sua vez, é igual à taxa de deformação (STEFFE, 1996).

Quando os Fluidos Newtonianos, exemplificado na Figura 2, são deformados a tensão de cisalhamento gerada é proporcional a taxa de cisalhamento, e a viscosidade mantém-se constante com a alteração da taxa de cisalhamento, que só se altera com a variação de temperatura. Os Fluidos Não-Newtonianos podem ser descritos com as características de fluidos e de sólidos ao mesmo tempo, estes podem ou não ser dependentes do tempo e a viscosidade, mesmo em temperaturas fixas, não é uma constante (GALLO, 2013; TONELI, 2005).

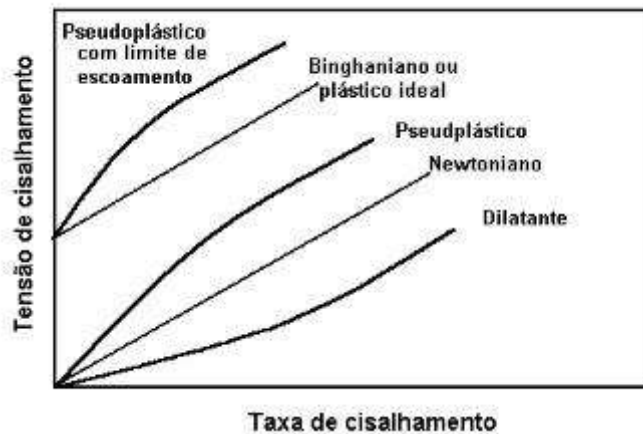


Figura 2. Comportamento dos fluidos Não-Newtonianos e Newtonianos (GEANKOPLIS, 2003).

Plásticos de Bingham: caracterizam-se por apresentarem uma tensão inicial ou residual, a partir da qual o fluido apresenta uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação (GEANKOPLIS, 2003).

Fluidos pseudoplásticos: caracterizam-se pela diminuição na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação. Geralmente, começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais, não havendo a presença de uma tensão residual. No entanto, alguns fluidos podem apresentar uma tensão inicial, a partir da qual o comportamento reológico passa a ser semelhante ao dos pseudoplásticos (GEANKOPLIS, 2003).

Dilatantes: caracterizam-se por apresentar um aumento na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação. Analogamente ao mencionado para os pseudoplásticos, em alguns casos é possível observar a presença de uma tensão residual, a partir da qual o fluido começa a escoar, apresentando comportamento análogo ao dos fluidos dilatantes (GEANKOPLIS, 2003).

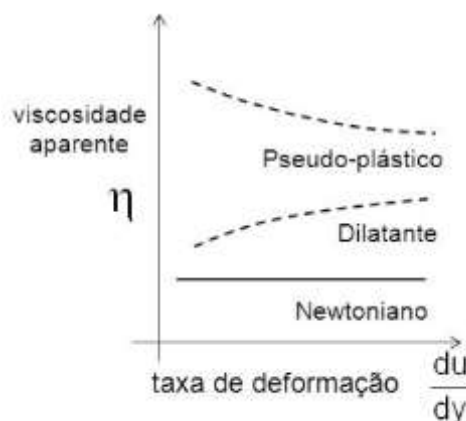


Figura 3. Características dos fluidos Não-Newtonianos (GEANKOPLIS, 2003).

Fluidos Não-Newtonianos dependentes do tempo são aqueles que não dependem apenas da tensão e da taxa de cisalhamento, mas sim do tempo em que o mesmo foi submetido ao cisalhamento. Estes fluidos se subdividem em dois tipos: os fluidos tixotrópicos e os fluidos reopéticos, seguindo o comportamento mostrado na Figura 4 (GEANKOPLIS, 2003).

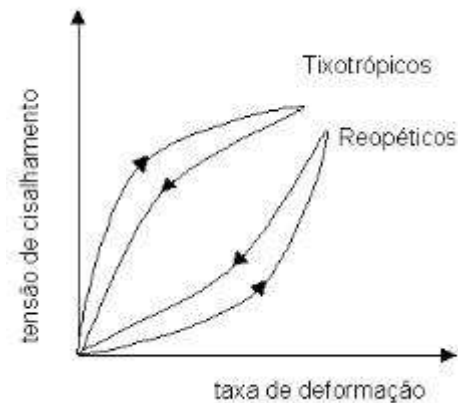


Figura 4. Fluidos Não-Newtonianos dependentes do tempo (GEANKOPLIS, 2003).

Um fluido tixotrópico é aquele que ao sofrer cisalhamento tem sua viscosidade diminuída, e o reopéticos é aquele que tem sua viscosidade aumentada (GEANKOPLIS, 2003).

2.3.1 REOLOGIA EM ESTADO DINÂMICO

Para estudar o comportamento viscoelástico de alimentos, realiza-se a varredura de tensão através da qual se obtém uma faixa de viscoelasticidade linear, ou seja, o intervalo onde a resposta do material a uma tensão ou deformação aplicada ocorre de forma linear, sendo, portanto, realizados geralmente a baixas taxas de deformação, o que permite que se estudem os arranjos envolvidos no processo de formação da pasta (SILVA & RAO, 1992).

De acordo com Rao (1999), três tipos de testes reológicos dinâmicos podem ser conduzidos para obter as propriedades viscoelásticas dos alimentos, que são:

- i. Varredura da frequência, em que o módulo de armazenamento (G') e o módulo de dissipação (G'') são determinados em função da frequência a uma temperatura fixa.
- ii. Estudo da temperatura, no qual G' e G'' são determinados em função da temperatura a uma dada frequência.
- iii. Variação de G' e G'' em função do tempo a uma temperatura e frequência constantes.

Para melhor compreensão desses módulos, é importante entender alguns conceitos, entre eles, a tangente de δ que é uma forma de relacionar o teor de energia perdida e armazenada. Se for medido o ângulo de fase entre a tensão e a deformação, tem-se uma medida do grau do comportamento viscoelástico, quantificados por meio do módulo de cisalhamento dinâmico ou de armazenamento (G') e do módulo de dissipação (G'') (FREITAS et al., 2003).

A deformação aplicada resulta em duas componentes de tensão na viscoelasticidade do material: uma componente elástica alinhada com a deformação e outra defasada em 90° referente à componente viscosa (RAO, 1999).

Para um material específico, as magnitudes de G' e G'' são influenciadas pela frequência, temperatura e deformação. Para valores de deformação dentro da faixa de deformação linear, G' e G'' são independentes da deformação aplicada (RAO, 1999).

Deve-se notar que, se G' é muito maior que G'' , o material irá se comportar mais como um sólido, isto é, as deformações serão essencialmente elásticas ou recuperáveis. No entanto, se G'' é muito maior do que G' , a energia utilizada para deformar o material é dissipada viscosamente e o comportamento do material é semelhante a um líquido. O módulo viscoelástico determinado durante um intervalo de frequências indicará zonas de transição correspondentes aos processos de relaxamento dependente da estrutura do material (FERRY, 1980).

Para um sólido puramente elástico, o G'' é igual à zero, e o módulo de armazenamento (G') é igual ao módulo de cisalhamento complexo (G^*), toda a energia aplicada ao sistema é armazenada a cada ciclo (NAÉ, 1993).

Os ensaios reológicos oscilatórios (dinâmicos) contribuem para a avaliação da estabilidade de suspensões, uma vez que fornecem parâmetros associados ao comportamento estrutural do material, pois neste tipo de ensaio, são utilizadas baixas taxas de deformação, similar ao que ocorre durante a sedimentação das partículas de uma suspensão (GIBOREAU, et al., 1994). De um modo geral, este tipo de ensaio permite classificar uma dispersão como: solução diluída; solução concentrada (sistema de redes entrelaçadas) e gel fraco ou gel forte, dependendo da relação G' e G'' (SATO & CUNHA, 2007).

Na indústria de alimentos, contudo, o conhecimento de tais propriedades se faz necessário para o projeto e desenvolvimento de cálculos, de equipamentos e processos que envolvam transferência de calor, podendo-se citar o exemplo de projetos para equipamentos voltados à refrigeração, tratamento térmico e armazenamento de alimentos (BROCK, 2008).

2.3.2 VARREDURA DE FREQUÊNCIA, TEMPERATURA E TEMPO

A varredura de frequência é, provavelmente, o método mais comum de teste oscilatório porque mostra como o comportamento da viscosidade e da elasticidade dos materiais muda com a taxa de aplicação da deformação ou da tensão. Neste teste, a frequência é aumentada enquanto a amplitude (tensão ou deformação) é mantida constante. Rampas de frequência são usualmente utilizadas para comparação de diferentes produtos ou para comparação do efeito da adição de ingredientes e/ou processos de tratamento na viscoelasticidade dos alimentos. Os materiais usualmente apresentam características mais parecidas aos sólidos em altas frequências (STEFFE, 1996).

Quando se realiza uma varredura de frequência, mantendo-se a temperatura constante, pretende-se avaliar a estrutura do sistema com base nas curvas dos módulos de armazenamento (G') e de dissipação (G'') (TELIS & KIECKBUSCH, 1997; TELIS & TELISROMERO & GABAS, 2005).

Na varredura de temperatura, G' e G'' são determinados em função da temperatura, numa frequência (ω) fixa. Este teste é apropriado para estudo da formação de gel durante o resfriamento de uma dispersão aquecida (RAO & COOLEY, 1993), gelatinização de dispersões de amido durante o aquecimento e a formação de géis de proteínas.

Já a varredura de tempo é o estudo em que G' e G'' são determinados como uma função do tempo em frequência e temperatura fixas. Este tipo de teste, muitas vezes chamado de um experimento de tratamento de gel, é adequado para estudar desenvolvimento da estrutura física em géis (RAO, 1999).

Uma varredura de tempo pode ser realizada em conjunto com uma mudança de temperatura controlada. Este tipo de teste é muito utilizado no estudo de problemas que envolvem mudanças de temperatura induzida no comportamento reológico. Exemplos típicos associados com o aquecimento incluem o amolecimento de chocolate ou de queijo, devido ao derretimento da gordura, gelatinização para formar géis de pectina, espessamento de soluções de gelatinização do amido, e endurecimento da carne ou produtos de ovo causados pela desnaturação de proteínas (STEFFE, 1996).

2.3.3 CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DO AMIDO

As características mais importantes para a utilização do amido na elaboração de alimentos e outras aplicações industriais, além da forma e tamanho dos grânulos, transparência e opacidade, incluem as propriedades físico-químicas: gelatinização e retrogradação; e as tecnológicas: solubilidade, inchamento, absorção de água, sinérese e

comportamento reológico de suas pastas e géis (SRICHUWONG et al., 2005; HERNÁNDEZ-MEDINA et al., 2008). Essas propriedades são influenciadas principalmente pela fonte botânica que originou o amido (SINGH et al., 2003; SRICHUWONG et al., 2005).

As propriedades reológicas dos diferentes amidos podem variar em função da estrutura do grânulo e composição físico-química. Ao serem colocados em água e aquecidos acima da temperatura de gelatinização podem ocorrer várias mudanças reológicas nos amidos (ABRAHAM & SIMI, 2008).

As características de viscoelasticidade dos géis de amido estão ligadas diretamente à presença de amilopectina e amilose, porém, os géis de amido de diferentes origens possuem propriedades viscoelásticas diferentes, onde a cinética de gelatinização depende da concentração de amilose liberada (THEBAUDIN et al., 1998).

Cada amido possui uma propriedade diferenciada, onde a razão entre amilose e amilopectina varia de acordo com a origem. Para amidos derivados de cereais, a percentagem de amilopectina varia de 72 a 82% e a percentagem de amilose entre 18 a 33%. Muito dos amidos contém entre 20 e 25% de amilose, porém há amidos com elevada concentração de amilopectina e a amilose, nestes casos, representa menos de 1% (BULEON, et al., 1998).

2.4 EXTRUSÃO DE GÉIS

A textura é um conjunto de propriedades físicas, percebidas sensorialmente, que são consequência da estrutura interna do material, que por sua vez é determinada pelas interações moleculares dos seus constituintes.

As propriedades texturais de um alimento são um grupo de características físicas que surgem a partir de elementos estruturais de alimentos, são sentidos primariamente pelo toque, são relacionados com a deformação, desintegração e fluxo do alimento sob uma força, e são medidos objetivamente como função da massa, tempo e distância (BOURNE, 2002).

2.5 FONTES DE AMIDOS

A araruta contém cerca de 20% de amido sendo este teor maior do que o da batata-doce (14,72%) e menor do que o da mandioca (31,09%) (LEONEL & CEREDA, 2002). Além de o amido conter substâncias acres, que os índios aplicam, de maneira tóxica, contra os ferimentos e como antídoto nas picadas de insetos ou nas mordidas de cobras peçonhentas (MONTEIRO & PERESSIN, 2002).

A fécula de araruta (*Maranta arundinacea L.*) é muito utilizado na culinária para produzir biscoito, bolo, pudim, mingau, recheio de tortas e também como agente espessante.

Apresenta alta digestibilidade, e por isso é muito indicado para crianças, pessoas em convalescença ou com debilidade orgânica (KAY, 1973).

A mandioca (*Manihote sculenta Crantz*) desempenha um papel importante na dieta alimentar dos brasileiros, por seu alto teor energético. Apresenta um alto teor de carboidratos, sendo de 94,10% além de outras fontes nutricionais. As raízes de mandioca armazenam amido e após cocção em água resultam em produtos com características texturais e estruturais próprias, mas importantes para a aceitabilidade pelo consumidor (BUTARELO, 2004).

O milho (*Zea mays L.*) é uma planta monoicaque pertence à família *Gramineae/Poaceae*, e uma das mais eficientes plantas armazenadoras de energia existentes na natureza, bastante rico em carboidrato (MAGALHÃES & DURÃES, 2006). O endosperma representa aproximadamente 83% do peso seco do grão e concentra 75% da proteína e 98% do total de carboidratos, dos quais 86 a 89% é amido.

No endosperma, o amido é organizado nas células na forma de *grânulos*, sendo constituído por dois polímeros de glucose, a amilose e a amilopectina. Em geral o amido do milho é composto por 75% amilopectina e 25% amilose, existindo mutantes naturais cuja composição chega a 99% amilopectina ou até 50% amilose) (PAES, 2008).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias primas, amido de milho, fécula de mandioca e araruta foram adquiridos na cidade de Goiânia-GO, no Mercado Central. As análises foram realizadas na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG), no Laboratório Multiusuário de Análises de Textura, Reologia e HPLC (LabMulti).

Foi estudado a reologia, tratando-se de varredura de frequência, tempo e temperatura do amido de milho e das féculas de araruta e mandioca, em soluções líquidas e em forma de géis; além da extrusão dos géis das mesmas matérias primas utilizadas na reologia.

3.1 REOLOGIA

3.1.1 ESTUDO REOLÓGICO

Para o preparo da solução de amido utilizou-se uma concentração de 3% de cada amido (p/v), sendo 6g para 200 ml de água, para cada tratamento. Após homogeneização, retirou-se 50 ml da solução e reservou em tubos de falcon. O restante foi levado em beckeres para aquecimento no bico de bussen para gelatinização, totalizando três amostras líquidas (uma de cada amido: araruta, mandioca e milho) e três amostras geleificadas (uma de cada amido: araruta, mandioca e milho). A determinação da curva de escoamento foi realizada para solução antes e após gelatinização.

Os parâmetros configurados no reômetro de bancada (Physica, MCR 101, Ostfildern, Germany) foram: taxa de deformação (1 a 500 s⁻¹; 500 a 1 s⁻¹; 1 a 500 s⁻¹), geometria (particulado CONE– placa (CP50), altura entre a geometria e a placa do reômetro – Gap (1mm), varredura em taxa linear e temperatura ambiente de 25°C.

Para a confirmação do comportamento Newtoniano utilizou-se a regressão linear para ajustar os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação conforme a equação 1 (BRAUN; ROSEN, 2000):

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad \text{Equação 1}$$

Onde τ é a tensão de cisalhamento (Pa), η é a viscosidade do fluido (Pa.s), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s⁻¹).

3.2 EXTRUSÃO DOS GÉIS DE FÉCULA DE ARARUTA, MANDIOCA E AMIDO DE MILHO

A análise foi realizada de acordo com Ferreira (2014) com algumas modificações. Para o preparo dos géis de amido utilizou-se uma concentração de 20% de amido (p/v), sendo 100g

de amido para 500 ml de água, para cada tratamento. Após homogeneização em balão volumétrico, foram colocados em beckeres de 1000 ml e aquecidos até gelatinização em bico de bunsen, aquecendo-se um tratamento por vez. Em seguida, foram moldados em formas cilíndricas de 36 mm de diâmetro e 26 mm de altura, com uma área base de 936 mm². A análise de textura foi realizada após 24h do preparo das amostras em duplicata, em um texturômetro (TextureAnalyser, TA-XT Plus, Surrey, England), com modo e operação de força de compressão para avaliar a força máxima de ruptura, obtida por meio do registro da curva força x tempo.

Os parâmetros configurados no texturômetro foram: taxa de compressão: 30% de deformação; velocidade de pré-teste: 2 mm/s; velocidade de teste: 1 mm/s; velocidade de pós-teste: 10 mm/s. Utilizou-se uma probe de 36 mm de diâmetro (P36-R), lubrificação com vaselina. A análise foi realizada a uma temperatura de 25°.

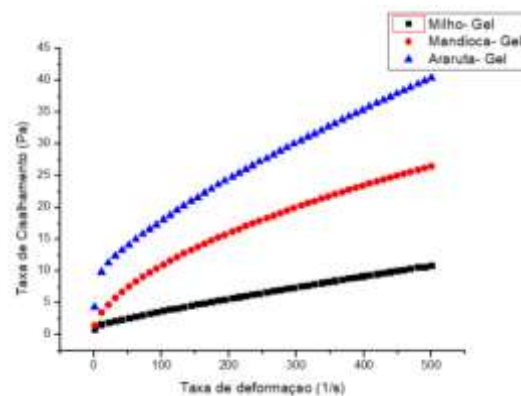
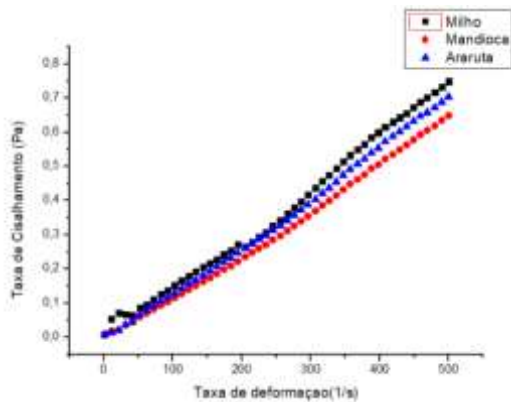
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTUDO REOLÓGICO

A descrição do comportamento reológico dos materiais é feita através de modelos que relacionam como a tensão de cisalhamento varia com a taxa de deformação (BARNES, 1999). Quando fluidos Newtonianos são deformados, a tensão de cisalhamento gerada é, diretamente, proporcional à taxa de deformação. Fluidos Não-Newtonianos podem ser classificados de acordo com a maneira com que a viscosidade aparente varia com a taxa de deformação, ou seja, se ela aumenta ou diminui com o aumento da taxa de deformação (STEFFE, 1996).

A Figura 5 apresenta o comportamento da tensão de cisalhamento em relação a taxa de deformação aplicada nos amidos de milho, fécula de mandioca e araruta. Todos os analisados, sendo em solução líquida e em forma de géis, demonstraram comportamento de fluido Não-Newtoniano independente do tempo, ou seja, seu comportamento não pode ser descrito linearmente, havendo variação da sua trajetória apresentando viscosidade aparente dependente somente da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento.

A



B

Figura 5. Comportamento reológico das soluções (A) e géis (B) dos amidos de milho, fécula de mandioca e araruta.

Os géis de amido são fluidos Não-Newtonianos que podem exibir uma tensão de cisalhamento inicial a baixas taxas de deformações (GIBOREAU, et. al, 1994; RAO, et. al, 2005). Os géis não sofrem um cisalhamento brusco o que leva a crer que manteve sua estrutura mais próxima do original; a viscosidade aparente diminui à medida que a taxa de deformação e o tempo de cisalhamento aumentam, devido à orientação das moléculas na

direção do escoamento e à quebra de agregados, que tornam a resistência ao movimento cada vez menor (BARNES et al., 1989).

4.2 CARACTERÍSTICAS DOS FLUIDOS

O comportamento do fluxo pode depender apenas da taxa de deformação e não da duração de cisalhamento (independentes do tempo) ou pode depender também da duração de cisalhamento (dependente do tempo). Vários tipos de comportamento de fluidos de alimentos independente do tempo podem ser classificados, conforme mostrado anteriormente na Figura 2 (RAO, 1999).

Na Figura 6 observa-se as características dos fluidos de cada solução e de cada gel. A fécula de mandioca e araruta apresentam características semelhantes, sendo um fluido Não-Newtoniano do tipo dilatante enquanto o amido de milho apresenta característica de fluido pseudoplástico, sendo também verificado por Bennet e Myers (1978). Fluidos dilatantes apresentam um aumento da viscosidade quando a taxa de deformação aumenta (SCHARAMM, 2006; ARAUJO, 2003), ocorrendo a separação das partículas, e conseqüentemente aumento do volume global da solução. À medida que as tensões aumentam, as partículas passam a interagir entre si, aumentando a viscosidade do sistema (HOLDSWORTH, 1971). Já os fluidos pseudoplásticos sofrem diminuição de viscosidade quando a taxa de deformação aumenta. Ocorre 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 (THOMAZ, 2002).

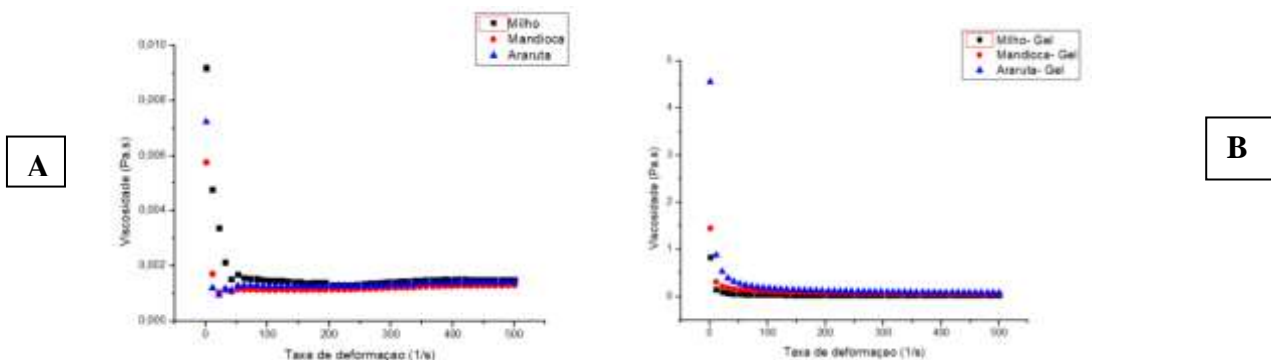


Figura 6. Características soluções (A) e géis (B) de amido de milho, fécula de mandioca e araruta.

As características dos géis de amido de milho, fécula de mandioca e araruta que apresentaram características de fluidos pseudoplásticos (Figura 6). O mesmo foi constatado por Bennet e Myers (1978) os três tipos de géis apresentaram forma de fluidos

pseudoplástico. Amidos gelatinizados, frequentemente, exibem comportamento pseudoplástico e dilatante dependendo do grau de gelatinização (BAGLEY & CHRISTIANSON, 1982; OKECHUKWU & RAO, 1995).

Quando comparados às soluções líquidas dos amidos/féculas com a geleificação dos mesmos, foram observadas características bem próximas, havendo diferença apenas no comportamento das féculas de mandioca e araruta que inicialmente caracteriza-se por dilatantes e há uma mudança após o processo de geleificação, enquanto o amido de milho permanece caracterizado por fluido pseudoplástico. De acordo Coutinho e Cabello (2005), o gel de mandioca apresenta característica de fluido Não-Newtoniano pseudoplástico, obtendo o aumento da tensão de cisalhamento com o aumento da taxa de deformação. Rodrigues (2014) também detectou para a fécula de araruta, em forma de gel, característica de fluido pseudoplástico, ou seja, possuem comportamento resultante de uma estrutura em rede totalmente organizada formada por interações de hidrogênio e pelo emaranhamento do polímero, o que contribui para uma alta viscosidade em baixas taxas de cisalhamento.

4.3 REOLOGIA EM ESTADO DINÂMICO

4.3.1 VARREDURA DE FREQUÊNCIA

A variação dos módulos de armazenamento (G') e dissipação (G'') com a frequência oscilatória, fornece informação sobre o caráter viscoelástico do sistema. Géis nos quais $G' > G''$ são caracterizados como géis elásticos e o comportamento contrário $G' < G''$ os caracteriza como géis viscosos (PEREIRA et al., 2005).

Para o comportamento dos géis de amido de milho, fécula de mandioca e araruta (Figura 7), verificou-se que o módulo de armazenamento é maior que o módulo de dissipação, $G' > G''$, ou seja, são caracterizados como géis elásticos, onde a maior parte da energia é armazenada e a outra parte da energia é dissipada, desta maneira, quanto mais elástico é o gel, maior será a sua resistência. Neste caso, o gel mais elástico e mais resistente é do amido de milho, enquanto que a fécula de mandioca e araruta apresentam comportamentos semelhantes e resistências similares entre si. Quanto maior o valor de G' , maior é o caráter sólido do gel e as deformações serão elásticas ou recuperáveis (KAVANAGH & ROSS-MURPHY, 1998; RAO, 1992).

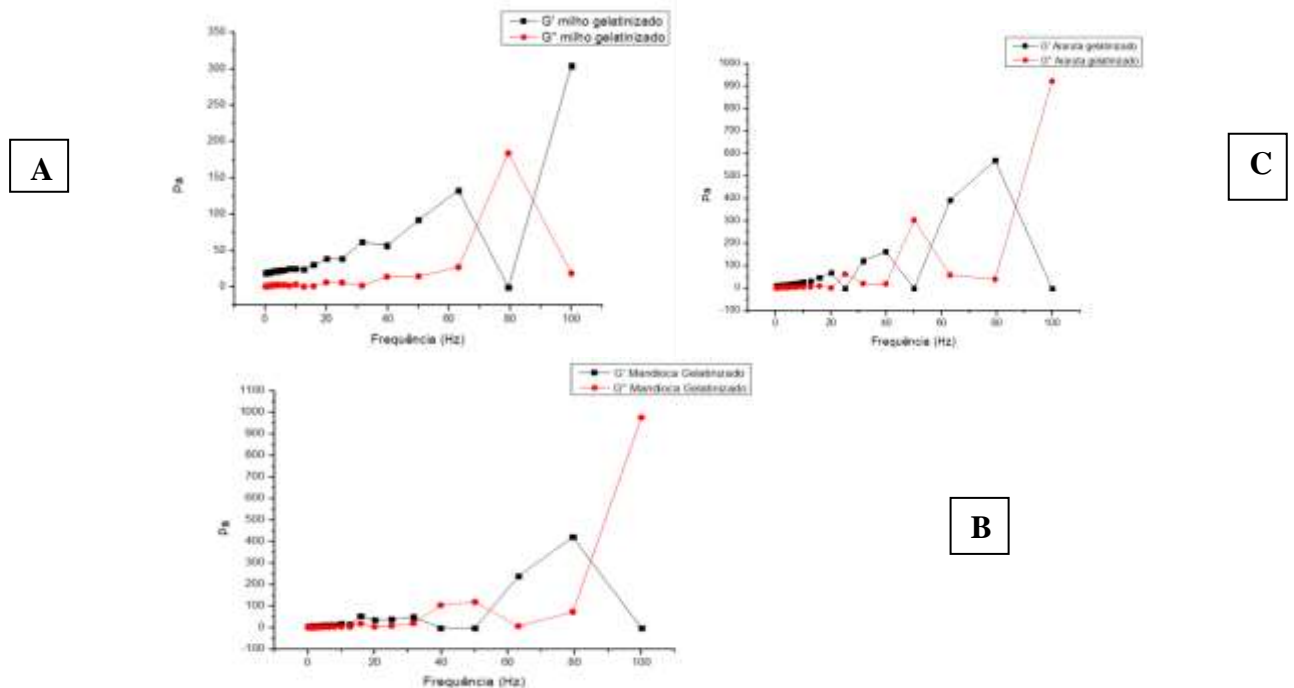


Figura 7. Módulos de armazenamento (G') e módulo de dissipação (G'') em relação a varredura de frequência de amido de milho (A), fécula de mandioca (B) e araruta (C).

O comportamento do amido de milho apresentou característica elástica mais forte quando comparado às féculas, o que também pôde ser notado no preparo das amostras, onde após o processo de gelatinização e resfriamento o gel de amido de milho se apresentava mais consistente que os géis de fécula de mandioca e de araruta, ou seja, características melhores definidas em relação a elasticidade/ resistência.

Ahmad e Williams (2001), estudaram o comportamento reológico do gel de fécula de mandioca e concluíram que a amostra apresentou comportamento pseudoplástico, e que mesmo com um comportamento típico de gel com $G' > G''$, foi considerado um gel fraco, indicando que quanto maior a quantidade de amilose no amido, maior o valor de G' . Quando se trata de um gel, os valores de G' são significativamente maiores que G'' por toda a faixa de frequência estudada, sendo ambos módulos praticamente independentes da frequência e o ponto em que as curvas se interceptam ocorre quando $G'=G''$ e este ponto corresponde a um ângulo de fase igual a $\pi/4$ (STEFFE, 1996).

Quando as curvas de (G') e (G'') se cruzam, o gel apresenta característica como de um sistema de polímeros emaranhados, apresentando uma característica mais viscosa que elástica, característica de géis fracos (KARAM et al. 2006)

4.3.2 VARREDURA DE TEMPO

Varredura de tempo é o estudo em que G' e G'' são determinados como uma função do tempo em frequência e temperatura fixas. Este tipo de teste, muitas vezes chamado de um experimento de tratamento de gel, é adequado para estudar desenvolvimento da estrutura física em géis (RAO, 1999).

Na maioria dos materiais viscoelásticos, a linearidade é observada quando se trabalha com deformações muito pequenas. Pode-se dizer, nesse caso, que os efeitos elásticos seguem a lei de Hooke e os efeitos viscosos obedecem à lei de Newton (ALFREY & GUERNEE, 1956). A Lei de Hooke é uma lei da física que determina a deformação sofrida por um corpo elástico através de uma força, já a lei de Newton compreendem comportamentos estáticos e dinâmicos.

A varredura de tempo indica mudanças estruturais dependentes do tempo. O comportamento dos géis de amido de milho, fécula de mandioca e araruta (Figura 8) indicou que o módulo de armazenamento (G') foi maior em todos os materiais, porém no amido de milho e araruta houve maior estabilidade entre as moléculas, ou seja, ocorreram pequenas deformações das estruturas físicas dos géis.

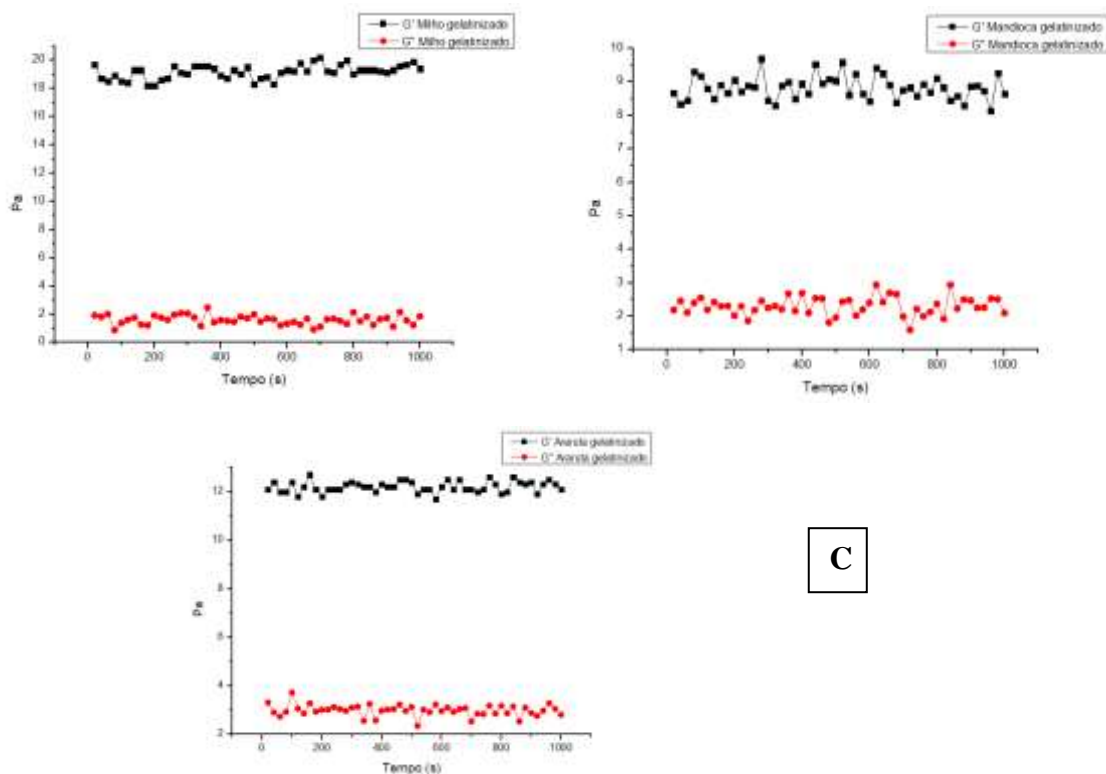


Figura 8. Módulos de armazenamento (G') e módulo de dissipação (G'') em relação a varredura de tempo de amido de milho (A), fécula de mandioca (B) e araruta (C).

4.3.3 VARREDURA DE TEMPERATURA

Na varredura de temperatura (Figura 9), G' e G'' são determinados em função da temperatura, numa frequência fixa. Este teste é apropriado para estudo da formação de gel durante o resfriamento de uma dispersão aquecida (RAO & COOLEY, 1993), gelatinização de dispersões de amido durante o aquecimento e a formação de géis de proteínas.

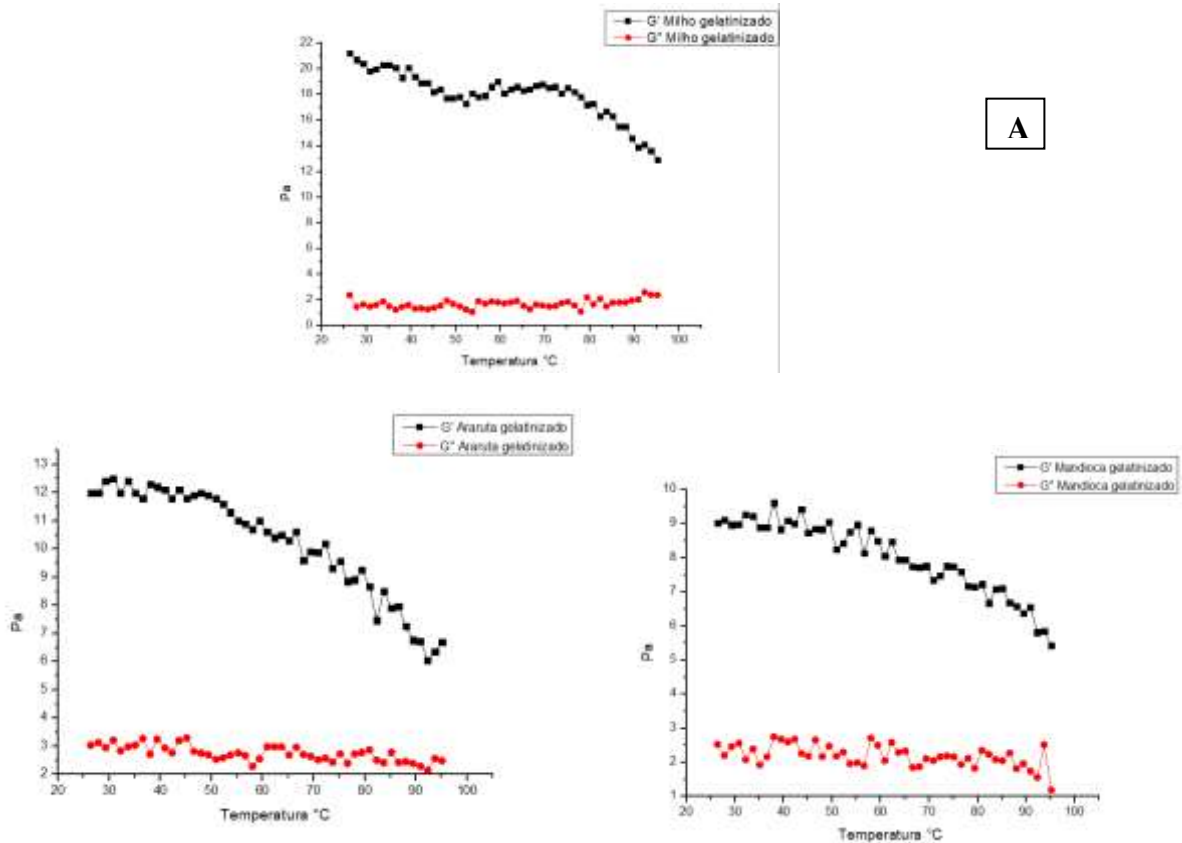


Figura 9. Módulos de armazenamento (G') e módulo de dissipação (G'') em relação a varredura de temperatura de amido de milho (A), fécula de mandioca (B) e araruta (C).

Os módulos de armazenamento do amido de milho, féculas de mandioca e araruta apresentaram um aumento, mas após determinado tempo apresentou tendência para uma leve queda em todas as temperaturas. Resultados similares foram obtidos por Singh et al (2006) quando estudaram a cinética de gelatinização de pasta de amido de milho por reologia e G' de todos os amidos de milho aumentaram durante o aquecimento a um máximo, seguido por uma queda.

Os valores de G' e G'' apresentaram dependência com a temperatura, decrescendo com o seu aumento. A diminuição dos valores de G' depois da temperatura de pico pode ser atribuída ao inchaço em várias vezes de seu tamanho natural e a ruptura do grânulo de amido

e simultânea lixiviação da amilose. Uma rede tridimensional é formada pela amilose lixiviada (TESTER & MORRISON, 1990).

Biliaderis (1991) e Tester e Morrison (1990) sugerem que altas temperaturas de transição indicam maior estabilidade da região amorfa e baixo grau de cadeias ramificadas. Altas temperaturas de gelatinização, explicam uma alta estabilidade da região do grânulo de amido.

Nota-se que com o aumento da temperatura, o valor de G' diminui para o amido de milho, féculas de mandioca e araruta, indicando que a estrutura do gel foi destruída durante a prolongação do aquecimento (TSAI et al., 1997). Foi observado que com o aumento progressivo da temperatura, os géis estudados apresentaram baixa estabilidade, características de géis fracos, mas ainda mantendo $G' > G''$. Houve maior instabilidade para féculas de mandioca e araruta, isso pode ser explicado devido à perda de água durante o processo, o que leva a retrogradação mais rápida, em função da presença de amilose, e, por consequência ocorre a sinerese, ou a expulsão de água da molécula. O comportamento do amido de milho indicou uma estabilidade em temperaturas mais elevadas, até que ocorra a sinérese, quando comparado as demais féculas estudadas.

As altas temperaturas de gelatinização resultam de um alto grau de cristalinidade, proveniente de uma maior estabilidade estrutural, tornando o grânulo mais firme à gelatinização, ou seja, quanto maior for a resistência do gel em relação a elevadas temperaturas, maior será sua elasticidade, neste caso sendo respectivamente, amido de milho, fécula de mandioca e após fécula de araruta.

4.4 EXTRUSÃO DE GÉIS

A textura é um termo comumente empregado na indústria de alimentos e apresenta grande importância para o desenvolvimento de novos produtos e testes com novos ingredientes, seja para otimização de processos ou determinação do perfil de textura (SZCZESNIAK, 2002).

As propriedades de textura estão intimamente relacionadas à deformação, desintegração e ao escoamento do alimento sob a aplicação de um dado sistema de forças (GEISE, 1995).

Na figura 10 foi observado que quanto maior a força, maior a resistência do material, maior será sua capacidade de compressão/extrusão. Entre os produtos analisados, o amido de milho possui maior resistência quando comparado a fécula de mandioca e de araruta, enquanto os mesmos possuem forças e resistências semelhantes.

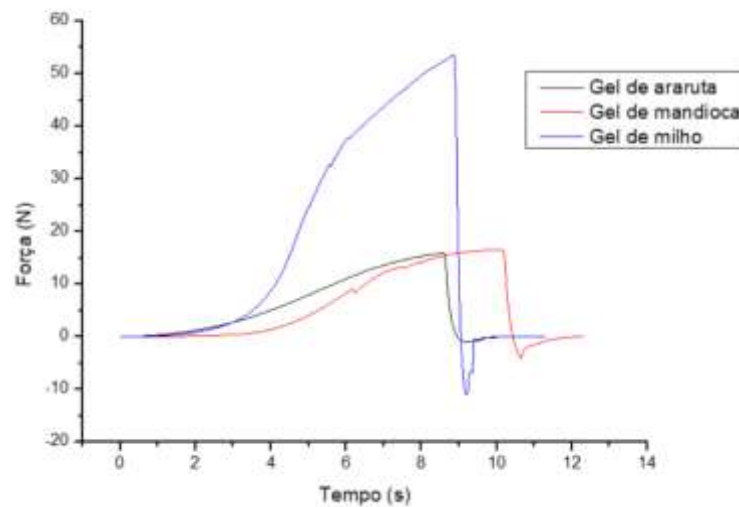


Figura 10. Força dos géis de amido de milho, fécula de araruta e mandioca em relação ao tempo.

A resistência dos géis se dá devido ao teor de amilose presente em cada amido e fécula, onde, estudos realizados mostraram que o teor de amilose do amido de milho está entre 27% e o teor de amilose das féculas de mandioca e de araruta está entre 18% e 23,9%, respectivamente (BOBBIO, 1995; PERONI, 2003; LEONEL et al., 2001).

Sandhu e Singh (2007) estudaram as propriedades do amido de milho e mostraram que o conteúdo de amilose está diretamente relacionado com a dureza, sendo a firmeza do gel causada pela retrogradação, associada à sinerese e à cristalização da amilopectina. Amidos que geram géis mais duros geralmente apresentam maior conteúdo de amilose e longas cadeias de amilopectina.

Contudo, o amido de milho apresenta características mais resistentes/elásticas, suportando maiores forças de compressão, indicado para produtos que possuem a necessidade de crocância. Já as féculas de mandioca e araruta apresentam comportamentos similares, possuem menor teor de amilose, ou seja, menores resistências e elasticidades, podendo ser usados para produtos panificados.

5. CONCLUSÃO

O amido de milho, fécula de mandioca e araruta são fluídos Não-Newtonianos, caracterizados independentes do tempo, podendo ser pseudoplásticos e dilatantes em estado líquidos, e pseudoplásticos em forma de gel. Nos ensaios reológicos dinâmicos verificou que trata-se de fluidos elásticos, géis fracos, sendo o amido de milho mais resistente, sendo influenciado diretamente pela estrutura e composição dos grânulos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAM TE & SIMI CK (2008) Physicochemical Rheological and Thermal Properties of Njavara Rice (*Oryza sativa*) Starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. n. 56, 3:12105-12113.
- AHMAD FB & WILLIAMS PA (2001) Effects of galactomannans on the thermal and rheological properties of sago starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. V.49. p.1578-2001.
- ALFREY T (1956) Dinamics of viscoelatic behavior. cap 11. **Rheology- Teory and applications**. V.1. New York.
- ARAÚJO BMM (2003) Influência de Impurezas na cinética de cristalização de sacarose avaliada através da reologia de solução de sacarose. Dissertação para obtenção de título de mestre “IBILCE/UNESP”, São José do Rio Preto.
- BAGLEY EB & CHRISTIANSON DD (1982) Swelling capacity of starch and its relationship to suspension viscosity – effect of cooking time, temperature and concentration. *Journal of Food Texture*, 13:115-126.
- BARNES HA, HUTTON JF & WALTERS K (1989) *An Introduction to Rheology*. Elsevier, p.37-54.
- BELLO-PÉREZ LA, MONTEALVO MGM & ACEVEDO EA (2006) Amidón: definición, estructura y propiedades. In: LAJOLO FM & MENEZES EW *Carboidratos em alimentos regional e ibero-americano*. São Paulo, Edusp. cap.1. p.17-46.
- BENNET CO & MYERS JE (1978) *Fenômenos de Transporte, Quantidade de Calor e Massa*, McGraw-Hill do Brasil LTDA.
- BILIADERIS CG (1991) The structure and interactions of starch with food. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 69:60-78.
- BOBBIO FO & BOBBIO PA (1995) *Introdução à química dos alimentos*. 2ª ed. São Paulo, SP, Livraria Varela.
- BOURNE M (2002) *Food texture and viscosity: concept and measurement*. New York: Academic Press.
- Brasil (2005) Resolução **RDC n. 263, de 22 de setembro de 2005**. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. DOU 22/09/2005, Brasília, DF: ANVISA.
- BRAGA, M. E. M.; MORESCHI, S. R. M.; MEIRELES, A. A. Effects of supercritical fluid extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 63, n. 3, p. 340 – 346, 2006.

BROCK J, NOGUEIRA MR, ZAKRZEWSKI C, CORAZZA FC, CORAZZA ML & OLIVEIRA JV (2008) Determinação Experimental da Viscosidade e Condutividade Térmica de Óleos Vegetais. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 28(3):564-570, jul-set.

BULEON A, COLONNA P, PLANCHOT V & Ball S (1998) Starch granules: structure and biosynthesis. *Biological Macromolecules*, 23:85-112.

BUTARELO SS et al (2004) Hidratação de tecidos de raízes de mandioca (*Manihote Suculenta Crantz.*) e gelatinização do amido durante a cocção. *Ciênc. Tecnol. Alim.*, v. 24, n. 3, p.311-315.

CABELLO C & COUTINHO APC (2005) Caracterização reológica da fécula de mandioca. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*. Botucatu, 1:40-48.

CHEREMISINOFF NP - “**An Introduction to Polymer Rheology and Processing**”, CRC Press, Boca Raton (1993).

COULTATE TP (2004) Alimentos: a química de seus componentes. 3ed. Porto Alegre: Artmed. 368p.

ELIASSON AC (1996) Carbohydrates in food. New York: Marcel Dekker. 664p.

ELIASSON AC (2004) Starch in food – Structure, function and applications. New York: Boca Raton, CRC. 605p.

FAO. Statistical datas. Disponível em: <<http://apps.fao.org/cgi-bin/nph-db.pl>>. Acessado em: 20 de Julho de 2017.

FERREIRA PP (2014) Extração, caracterização e aplicação de fécula de açafrão (*curcuma longa L.*) no desenvolvimento de biscoito. Tese de mestrado. Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

FRANCO CML et al (2001) Propriedades do Amido. In: *Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. Propriedades Gerais do Amido*. Campinas, Fundação Cargill. v.1.

FREITAS et al. (2003) A rheological description of mixtures of a galactoxiloglucan with high amylose and waxy corn starches. *Carbohydrate polymers*, 51:25-32.

GALLIARD DT & BOWLER P (1987) Morphology and composition of starch. In: *Starch properties and potential*. Chichester, Willey. p.55-78.

GALLO JMAS (2013) Avaliação do Comportamento Reológico e das Propriedades Sensoriais de Molhos Comerciais para Salada Tratados por Irradiação. Dissertação de Mestrado. IPEN, São Paulo, 96p.

GEANKOPLIS CJ. **Transport processes and separation process principles: (includes unit operations)**. 4th ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall Professional Technical Reference, 2003.

GEISE J (1995) Developments in beverage additives. **Food Technology**, Chicago, v.49, n.9, p.64-72.

GIBOREAU A, CUVELIER G & LAUNAY B (1994) Rheological behaviour of three biopolymer/water systems, with emphasis on yield stress and viscoelastic properties. *Journal of Texture Studies*, 25:119-137.

HERNÁNDEZ MM, TORRUCO UJG, CHEL GL & BETANCUR AD (2008) Caracterización físico-química de almidones de tubérculos cultivados em Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de alimentos*, 28:718-726.

HENRY RJ (1985) A comparison of the non-stach carbohydrates in cereals grains. *Journal Science of Food Agriculture*, 36:1243-1253.

HIZUKURI S, TAKEDA Y & YASUDA M (1981) Multi- branched nature of amylose and the action of debranching enzymes. *Carbohydrate Research*, v. 94, p.205-213.

HOLDSWORTH SD (1971) Dehydration of food products. A review. *Journal of Food Technology*, 6:331-370.

KARAM LB, FERRERO C, MARTINO MN, ZARITZKY NE & GROSSMANN MVE (2006) Thermal, microstructural and textural characterization of gelatinized corn, cassava and yam starch blends. *International Journal of Food Science and Technology*, 41:805-812.

KAY DE (1973) Root crops. *Tropical Products Institute Crop and Product Digest*. Tropical Products Institute, London, n. 2, 245p.

KAVANAGH GM & ROSS-MURPHY SB (1998) Rheological Characterization of Polymer gels. *Progress in Polymers Science*, 23:533-562.

LEONEL M, SARMENTO SBS & CEREDA MP (2002) New starches for the food industry: curcuma longa and curcuma zedoaria. *Carbohydrate Polymers, Barking*, v. 54, n. 3, p.385-388.

LEONEL M, SARMENTO SBS & CEREDA MP (2003) New starches for the food industry: curcuma longa and curcuma zedoaria. *Carbohydrate Polymers, Barking*, v. 54. n. 3. p.385-388.

LEONEL M (2007) Análise da forma e tamanho de grânulo de amidos de diferentes fontes botânicas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas*, 27:570-588.

LEONEL M, SARMENTO SBS, CEREDA MP & GUERREIRO, LMR (2001) Extraction and characterization of biri starch (*Canna edulis*). *Brazilian Journal of Food Technology, Campinas*, 5:27-32.

LINDEBOOM N, CHANG PR & TYLER RT (2004) Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch/Stärke*, n. 3-4, 56:89-99.

- MAGALHÃES PC & DURÃES FOM (2006) Fisiologia da Produção de Milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 10p.
- MANRICH, S & PESSAN, LA (1987) Reologia: conceitos básicos. São Carlos: Gráfica UFSCar.
- MIZUKAMI H, TAKEDA Y & HIZUKIRI S (1999) The structure of the hot water soluble components in the starch granules of new Japanese rice cultivars. *Carbohydrate Polymers*. n. 4, 38:329-335.
- MONTEIRO DA & PERESSIN VA (2002) Cultura da araruta. In: CEREDA, M.P. Agricultura: tuberosas amiláceas latino-americanas. São Paulo: Fundação Cargill. p.440-447.
- MUNHOZ MP, WEBER FH & CHANG YK (2004) Influência de hidrocolóides na textura de gel de amido de milho. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. n. 3, 24:403-406.
- NAÉ, HN (1993) Introduction to rheology. In: *Rheological Properties of Cosmetics and Toiletries* (edited by D. Laba). New York: Marcel Dreker. p.9-33.
- OKECHUKWU PE & RAO MA (1995) Influence of granule size on viscosity of cornstarch suspension. *Journal of Texture Studies*, 26:501-516.
- PAES MCD (2008) Manipulação da composição química do milho: impacto na indústria e na saúde humana. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/milho/index.htm>. Acessado em: 19 de setembro de 2017.
- PEREIRA EA, FERREIRA GM, GUIMARÃES MJO & MAIA MCA (2005) Comportamento reológico de suspensões contendo o biopolímero xantana. In: *Resumo do 8º Congresso Brasileiro de Polímeros*, São Paulo.
- PERONI FHG (2003) Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. São José do Rio Preto, 118p.
- RAO MAR (1999) *Rheology of fluid and semisolid foods*, ed. Aspen Publication, Gaithersburg Maryland. 433p.
- RAO MA & COOLEY HJ (1993) Dynamic rheological measurement of structure development in high-methoxyl pectin/fructose gels. *Journal Food Science*, 58:876-879.
- RAO MA (1999) Measurement of flow and viscoelastic properties. In: *Rheology of Fluid and Semisolid Foods*, ed. Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland, p.105-139.
- RAO MA, OKECHUKWU PMS & OLIVEIRA JC (1992) Rheological behavior of heated granule. *Carbohydrate polymers*, 33:273-283.
- RAO MA, RIZVI SSH & DATTA AK (2005) *Engineering Properties of Foods*. 3.ed. London: Taylor e Francis Group.

RÊGO CG (2013) Formação do amido, 2013. Disponível em: <<http://carboidratosfarmfmetro.blogspot.com.br/2013/05/formacao-do-amido.html>>. Acessado em 29 de setembro de 2017.

ROBERTS SA & CAMERON RE (2002) The effects of concentration and sodium hydroxide on the rheological properties of potato starch gelatinisation. *Carbohydrate Polymers*. n. 2, 50:133-143.

RODRIGUES LBO (2014) Estudos reológicos e de textura dos géis de amido de araruta (*Maranta arundinacea* L.) e dos géis adicionados de sacarose e concentrado protéico de soro. Itapetinga, BA: UESB.

SANDHU SK & SINGH N (2007) Some properties of corn starches II. Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, 101:1499-1507.

SCHARAMM G (2006) *Reologia e Reometria – Fundamentos teóricos e práticos*, ed. Artliber, 232p.

SATO ACK. & CUNHA RL (2007) Influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jabuticaba. *Ciência e Tecnologia Alimentos, Campinas*. n. 4, 27:890-896.

SILVA JA & RAO MA (1992) *Viscoelastic Properties of Foods*, London: eds. RAO MA & Steffe JF Elsevier Applied Science, p.207-231.

SINGH N et al. (2003) Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81:219-231.

SRICHUWONG S, SUNARTI TC, MISHIMA T, ISONO N & HISAMATSU M (2005) Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. *Carbohydrate Polymers*. n. 4, 60:529-538.

STANLEY NF & AGARS (1995) In: STEPHEN AM (Ed) *Food Polysaccharides and their applications*. New York: Marcel Dekker, p.187-204.

STEFFE JF (1996) *Rheological methods in food process engineering*. 2. ed. Freeman Press, p.312-313, 412-418.

SZCZESNIAK AS (2000) Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, Elsevier, 13:215-225.

TELIS VRN, TELIS-ROMERO J & GABAS AL (2005) Solids Rheology for Dehydrated Food and Biological Materials. *Drying Technology*. n. 4, 23:759-780.

TELIS VRN & KIECKBUSCH TG (1997) Viscoelasticity of Frozen/Thawed Egg Yolk. *Journal of Food Science*. n.3, 63:458-460.

TESTER RF & MORRISON WR (1990) Swelling and gelatinization of cereal starch: I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chemistry*. n. 6, 67:551- 557.

THARANATHAN RN (2002) Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. *Critical Reviews in Biotechnology*, 22:65-84.

THEBAUDIN JY, LEFEBVRE AC & DOUBLIERJ L (1998) Rheology of Starch Pastes from Staches of Different Origins: Applications to Starch-based Sauces. *Lebensm. -Wiss. u.-Technol.*, 31:354-360.

THOMAZ CEP (2002) Reologia e hidrodinâmica do escoamento de ovo líquido. Dissertação para obtenção de título de mestre. IBILCE/UNESP, São José do Rio Preto.

TSAI M, LI C & LII C (1997) Effects of granular structure on the pasting behaviour of starches. *Cereal Chemistry*. n. 6, 74:750-757.

TONELI JTCL, MURR FEX & PARK KJ (2005) Estudo da Reologia de Polissacarídeos Utilizados na Indústria de Alimentos; *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, Especial. n.2, 7:181-204.

WALTER M, SILVA LP & EMANUELLI T (2005) Amido resistente: características físicoquímicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. *Ciências Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 4.

WANG LZ & WHITE PJ (1994) Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. *Cereal Chem.*, n .3, 71:263-268.

WONG DWS (1989) *Mechanism and Theory in Food Chemistry*, Ed. Van Nostrand Reinhold, 428p.

WHISTLER RL & DANIEL JR (1993) Carbohidratos. In: FENNEMA, O.R. *Química de los alimentos*. Zaragoza: Acribia. p.81-156.

WHO/FAO. **Carbohydrates in human nutrition**. Rome: FAO, 1998, (FAO food and nutrition paper no. 66).