



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
CAMPUS JUVINO OLIVEIRA

**LAOAN BRITO OLIVEIRA RODRIGUES**

**Estudos reológicos e de textura dos géis de amido de araruta  
(*Maranta arundinaceae* L.) e dos géis adicionados de sacarose e  
concentrado protéico de soro**

**ITAPETINGA – BA**

**Fevereiro/2014**

LAOAN BRITO OLIVEIRA RODRIGUES

**Estudos reológicos e de textura dos géis de amido de araruta  
(*Maranta arundinaceae* L.) e dos géis adicionados de sacarose  
e concentrado protéico de soro**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de Processos de Alimentos para obtenção do título de Mestre.

**Orientadora:**

Prof.<sup>a</sup> DSc. Cristiane Martins Veloso

**Co – Orientadores:**

Prof.<sup>a</sup> DSc. Renata Cristina Ferreira Bonomo

Prof.<sup>o</sup> DSc. Luciano Brito Rodrigues

**ITAPETINGA - BA**

**Fevereiro/2014**

664.2 Rodrigues, Laoan Brito Oliveira.  
R614e

Estudos reológicos e de textura dos géis de amido de araruta (*Maranta arundinaceae* L.) e dos géis adicionados de sacarose e concentrado protéico de soro. / Laoan Brito Oliveira Rodrigues. - Itapetinga: UESB, 2014.

65f.

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB – *Campus* Itapetinga, como parte integrante das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de Processos de Alimentos para obtenção do título de Mestre. Sob a orientação da Profa. D.Sc. Cristiane Martins Veloso e co-orientação da Profª. D.Sc. Renata Cristina Ferreira Bonomo e Prof. D.Sc. Luciano Brito Rodrigues.

1. Araruta - Amido. 2. Amido – Reologia - Textura. 3. Produção de amido. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. II. Veloso, Cristiane Martins Veloso. III. Bonomo, Renata Cristina Ferreira. IV. Rodrigues, Luciano Brito. V. Título.

CDD(21): 664.2

Catálogo na fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535

Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Araruta - Amido
2. Amido – Reologia - Textura
3. Produção de amido



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDESTE DA BAHIA – UESB  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS



Campus de Itapetinga-BA

### DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “ESTUDOS REOLÓGICOS E DE TEXTURA DOS GÊIS DE AMIDO DE ARARUTA (*Maranta arundinacea. L*) E DOS GÊIS ADICIONADOS DE SACAROSE E CONCENTRADO PROTÉICO DE SORO.”

**Autor:** LAOAN BRITO OLIVEIRA RODRIGUES

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. CRISTIANE MARTINS VELOSO, DSc., UESB

**Co-Orientador:** Prof. LUCIANO BRITO RODRIGUES, DSc., UESB

Prof<sup>ª</sup> RENATA CRISTINA FERREIRA BONOMO, DSc., UESB

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS, pela Banca Examinadora.

  
Prof<sup>ª</sup>. Cristiane Martins Veloso, DSc., UESB

  
Prof<sup>ª</sup>. Célia Maria Landi Franco, DSc., UNESP

  
Prof. Rafael da Costa Ilhéu Fontan, DSc., UESB

Data da Realização: 20 de Fevereiro de 2014.

Praça Primavera, Nº 40, Bairro Primavera – Telefone: (77) 3261-8629 - Fax: (77) 3261-8701  
Itapetinga – BA CEP: 45.700-000 – e-mail: [ppgeal.uesb@yahoo.com.br](mailto:ppgeal.uesb@yahoo.com.br)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado a vida, saúde e determinação para enfrentar as dificuldades e por ter colocado pessoas boas no meu caminho.

Aos meus pais pela educação que me deram e por todo amor, carinho, apoio, o que foi muito importante para eu chegar até aqui.

Ao meu marido Robério, pelo companheirismo, amizade, carinho, conselhos e incentivo, sempre.

À minha orientadora Cristiane Martins Veloso, que sempre esteve presente no decorrer do meu trabalho, tirando dúvidas, dando sugestões, contribuindo da melhor forma possível.

À Renata Cristina Ferreira Bonomo e Luciano Brito Rodrigues pela contribuição como co-orientadores.

Aos professores Paulo Bonomo pela ajuda na realização da análise estatística e Rafael Ilhéu Fontan pelas sugestões concedidas.

A Mateus Flores, Leonardo Maia, Márcia Vidigal pelo auxílio na realização do meu experimento, demonstrando boa vontade, disponibilidade, paciência.

À Pedro Coni por me receber na cidade de Conceição do Almeida-Ba e pela disponibilidade em me mostrar todo o processo de obtenção do amido de araruta.

Ao professor Luiz Minim por ter disponibilizado o seu laboratório para que eu pudesse fazer as análises de reologia.

Ao Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa pelo equipamento e apoio técnico nas análises de microscopia eletrônica de varredura.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia que dispôs da estrutura necessária para que eu pudesse obter o título de Mestre.

À Fapesb pela concessão da bolsa.

A todos, meu muito obrigado.

## **RESUMO**

Indústrias produtoras de amido no Brasil tem demonstrado interesse pela araruta devido às suas características funcionais (fácil digestibilidade e capacidade de gelificação) e pela ausência de glúten. Seus rizomas contêm um amido que se presta a várias combinações com a água e o leite e, conseqüentemente à confecção de inúmeros produtos como biscoitos, bolos, cremes e doces, sendo recomendada, sobretudo, para convalescentes e crianças de 6 a 8 anos. Desta forma, objetivou-se neste trabalho

estudar propriedades texturais e reológicas dos géis de amido de araruta das variedades comum e ovo de pata e destes sendo adicionados de sacarose e concentrado protéico de soro. Os amidos foram obtidos na cidade de Conceição do Almeida-Ba. Foram determinadas a composição química, poder de inchamento, índice de solubilidade, características reológicas, através ensaios em estado dinâmico (varreduras de tensão, frequência, tempo e temperatura) e a textura sendo as suspensões com amido, concentrado proteico do soro do leite e sacarose aquecidas a 80 °C por 5 minutos. Foram estudadas concentrações de amido iguais a 10% e 12 % e de 1% a 4 % para a sacarose em substituição ao concentrado proteico nas mesmas concentrações. A partir dos resultados verificou-se que os amidos avaliados apresentaram baixos teores de proteína, cinzas, lipídeos, acidez. O amido de araruta da variedade comum apresentou 17,8% de amilose e o da variedade ovo de pata apresentou 35,96%. O poder de inchamento e o índice de solubilidade não apresentaram variações consideráveis até 60 °C, aumentando rapidamente a partir desse valor, indicando que os grânulos de amido sofreram rupturas de suas ligações e conseqüentemente a viscosidade dos géis aumentou. Nos ensaios reológicos os géis se comportaram como géis fortes sendo o valor do G' sempre maior do que do G''. Os géis formulados com 4% de sacarose e 1% de proteína apresentaram-se mais elásticos do que as demais formulações. Os géis formulados com o amido da variedade ovo de pata apresentaram maior temperatura de gelatinização que os géis formulados com a variedade comum. Nos ensaios de textura pode-se observar que o aumento do teor de sacarose favorece ao aumento da firmeza enquanto que o aumento do teor de proteína leva a redução da mesma, a obtenção de um gel mais ou menos firme dependerá das interações destes componentes com a água e com a amilose.

Palavras-chave: amido, reologia, textura.

### **ABSTRACT**

Industries producing starch in Brazil has shown interest in arrowroot for their functional characteristics (easy digestibility and gelling ability) and the absence of gluten. Its rhizomes contain a starch that lends itself to various combinations with the water and milk and hence the manufacture of numerous products such as biscuits, cakes, creams and candies, being recommended, especially for convalescents and children 6-8 years. Thus, the aim of this work was to study the rheological and textural properties of

arrowroot starch gels of common and egg paw varieties and these being added sucrose and whey protein concentrate. The starches were obtained in the town of Conceição do Almeida - Ba. Were determined chemical composition, swelling power, solubility index, rheological measurements using dynamic state (scan voltage, frequency, temperature and time) and the texture of starch suspensions, concentrated whey protein and sucrose heated 80 ° C for 5 minutes. Starch concentrations equal to 10 % and 12 % and 1 % to 4 % sucrose replacement in the protein concentrate were studied at the same concentrations. From the results it was found that the starches evaluated had low levels of protein, ash , lipids acidity. The starch of arrowroot common variety showed 17,8 % amylose and the egg paw variety showed 35,96 % . The swelling power and solubility index showed no considerable variations to 60 °C, rapidly increasing from that value, indicating that the starch granules suffered rupture their connections and consequently the viscosity of the gels increased. In the rheological tests gels behave as strong gels with the value of G' always higher than G". The gels formulated with 4 % sucrose and 1% protein showed to be more elastic than the other formulations. The gels formulated with starch egg paw variety showed higher gelatinization temperature than gels formulated with the common variety. In texture tests can be observed that increasing the level of sucrose favors the increase of firmness while increasing the protein content leads to decrease. The obtaining of gel with more or less firmness will depend on the interactions of sucrose and concentrated whey protein with the water and amylose.

**Keywords:** starch, rheology, texture.



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1. RIZOMAS DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (1) E OVO DE PATA (2).....  | 16 |
| FIGURA 2. MODELO DA ESTRUTURA INTERNA DO GRÂNULO DE AMIDO COM A VISUALIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO E CENTRO OU HILUM.....  | 17 |
| FIGURA 3. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA CADEIA LINEAR DA AMIOLOSE (1) E AMILOPECTINA (2). .....  | 18 |
| FIGURA 4. CURVA DE TENSÃO E DEFORMAÇÃO DE UM MATERIAL VISCOELÁSTICO. ....   | 25 |
| FIGURA 5. PERFIL DE TEXTURA TÍPICA PARA GÉIS ATRAVÉS DA FORÇA(G) VERSUS O TEMPO(S).....   | 29 |
| FIGURA 6. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DOS GRÂNULOS DE AMIDO DA ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (1) E OVO DE PATA (2)* .....   | 41 |
| FIGURA 7. PODER DE INCHAMENTO DOS AMIDOS DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (●) E OVO DE PATA (○).....   | 42 |
| FIGURA 8. ÍNDICE DE SOLUBILIDADE DOS AMIDOS DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (●) E OVO DE PATA (○).....  | 42 |
| FIGURA 9. FIRMEZA DOS GÉIS FORMULADOS COM 10% DE AMIDO DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (1) E OVO DE PATA (2) ADICIONADOS DE SACAROSE E CONCENTRADO PROTÉICO DO SORO DO LEITE (■: AMIDO/SACAROSE ▲: AMIDO/CONCENTRADO PROTÉICO ●: AMIDO/SACAROSE/CONCENTRADO PROTÉICO).....  | 44 |
| FIGURA 10. FIRMEZA DOS GÉIS FORMULADOS COM 12% DE AMIDO DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (1) E OVO DE PATA (2) ADICIONADOS DE SACAROSE E CONCENTRADO PROTÉICO DO SORO DO LEITE (■: AMIDO/SACAROSE ▲: AMIDO/CONCENTRADO PROTÉICO ●: AMIDO/SACAROSE/CONCENTRADO PROTÉICO).....   | 46 |
| FIGURA 11. EFEITO DA ADIÇÃO DE CONCENTRADO PROTÉICO E SACAROSE (G'◆ e G''◇: 0% SACAROSE E 0% CONCENTRADO PROTÉICO; G'▲ e G'△: 1% SACAROSE E 4% CONCENTRADO PROTÉICO; G'■ e G''□: 2% SACAROSE E 3% CONCENTRADO PROTÉICO; G'● e G''○: 3% SACAROSE E 2% CONCENTRADO PROTÉICO; G'⊕ e G''⊕: 4% SACAROSE E 1% CONCENTRADO PROTÉICO) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DINÂMICAS DOS GÉIS COM 10% DE AMIDO DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (A) E OVO DE PATA (B) DURANTE A VARREDURA DE FREQUÊNCIA. .... | 48 |
| FIGURA 12. EFEITO DA ADIÇÃO DE PROTEÍNA E SACAROSE (G'◆ e G''◇: 0% SACAROSE E 0% CONCENTRADO PROTÉICO; G'▲ e G'△: 1% SACAROSE E 4% CONCENTRADO PROTÉICO; G'■ e G''□: 2% SACAROSE E 3% CONCENTRADO PROTÉICO; G'● e G''○: 3% SACAROSE E 2% CONCENTRADO PROTÉICO; G'⊕ e G''⊕: 4% SACAROSE E 1% CONCENTRADO PROTÉICO) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DINÂMICAS DOS GÉIS COM 12% DE AMIDO DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (A) E OVO DE PATA (B) DURANTE A VARREDURA DE FREQUÊNCIA. ....             | 49 |
| FIGURA 13. CURVAS DE TAN (Δ) EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA (Hz) (◆ 0% SACAROSE E 0% CONCENTRADO PROTÉICO; ▲: 1% SACAROSE E 4% CONCENTRADO PROTÉICO; ■: 2% SACAROSE E 3% CONCENTRADO PROTÉICO; ●: 3% SACAROSE E 2% CONCENTRADO PROTÉICO; ⊕: 4% SACAROSE E 1% CONCENTRADO PROTÉICO) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DINÂMICAS DOS GÉIS COM 10% DE AMIDO DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (A) E OVO DE PATA (B) DURANTE A VARREDURA DE FREQUÊNCIA. ....   | 51 |
| FIGURA 14. CURVAS DE TAN (Δ) EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA (Hz) (◆ 0% SACAROSE E 0% CONCENTRADO PROTÉICO; ▲: 1% SACAROSE E 4% CONCENTRADO PROTÉICO; ■: 2% SACAROSE E 3% CONCENTRADO PROTÉICO; ●: 3% SACAROSE E 2% CONCENTRADO PROTÉICO; ⊕: 4% SACAROSE E 1% CONCENTRADO PROTÉICO) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DINÂMICAS DOS GÉIS COM 12% DE AMIDO DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (A) E OVO DE PATA (B) DURANTE A VARREDURA DE FREQUÊNCIA. ....   | 52 |
| FIGURA 15. CURVAS DE VISCOSIDADE DINÂMICA COMPLEXA (H*) EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA (Hz) (◆ 0% SACAROSE E 0% CONCENTRADO PROTÉICO; ▲: 1% SACAROSE E 4% CONCENTRADO PROTÉICO; ■: 2% SACAROSE E 3% CONCENTRADO PROTÉICO; ●: 3% SACAROSE E 2% CONCENTRADO PROTÉICO; x: 4% SACAROSE E 1% CONCENTRADO PROTÉICO) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DINÂMICAS DOS GÉIS COM 10% DE AMIDO DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (A) E OVO DE PATA (B) DURANTE A VARREDURA DE FREQUÊNCIA. ....                        | 53 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 16. CURVAS DE VISCOSIDADE DINÂMICA COMPLEXA ( $H^*$ ) EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA (Hz) ( $\diamond$ 0% SACAROSE E 0% CONCENTRADO PROTÉICO; $\blacktriangle$ : 1% SACAROSE E 4% CONCENTRADO PROTÉICO; $\blacksquare$ : 2% SACAROSE E 3% CONCENTRADO PROTÉICO; $\bullet$ : 3% SACAROSE E 2% CONCENTRADO PROTÉICO; $\times$ : 4% SACAROSE E 1% CONCENTRADO PROTÉICO) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DINÂMICAS DOS GÉIS COM 12% DE AMIDO DE ARARUTA DAS VARIEDADES COMUM (A) E OVO DE PATA (B) DURANTE A VARREDURA DE FREQUÊNCIA. ....  | 54 |
| FIGURA 17. EFEITO DA ADIÇÃO DE PROTEÍNA E SACAROSE ( $G' \diamond$ E $G'' \diamond$ : 0% SACAROSE E 0% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \blacktriangle$ E $G'' \blacktriangle$ : 1% SACAROSE E 4% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \blacksquare$ E $G'' \blacksquare$ : 2% SACAROSE E 3% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \bullet$ E $G'' \circ$ : 3% SACAROSE E 2% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \oplus$ E $G'' \oplus$ : 4% SACAROSE E 1% CONCENTRADO PROTÉICO) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DINÂMICAS DOS GÉIS COM 10% DE AMIDO DE ARARUTA DA VARIEDADE COMUM (A) E OVO DE PATA (B) SUBMETIDOS A 30°C POR 15 MINUTOS. .... | 56 |
| FIGURA 18. EFEITO DA ADIÇÃO DE PROTEÍNA E SACAROSE ( $G' \diamond$ E $G'' \diamond$ : 0% SACAROSE E 0% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \blacktriangle$ E $G'' \blacktriangle$ : 1% SACAROSE E 4% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \blacksquare$ E $G'' \blacksquare$ : 2% SACAROSE E 3% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \bullet$ E $G'' \circ$ : 3% SACAROSE E 2% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \oplus$ E $G'' \oplus$ : 4% SACAROSE E 1% CONCENTRADO PROTÉICO) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DINÂMICAS DOS GÉIS COM 12% DE AMIDO DE ARARUTA DA VARIEDADE COMUM (A) E OVO DE PATA (B) SUBMETIDOS A 30°C POR 15 MINUTOS. .... | 57 |
| FIGURA 19. EFEITO DA ADIÇÃO DE PROTEÍNA E SACAROSE ( $G' \diamond$ : 0% SACAROSE E 0% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \blacktriangle$ : 1% SACAROSE E 4% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \blacksquare$ : 2% SACAROSE E 3% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \bullet$ : 3% SACAROSE E 2% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \oplus$ : 4% SACAROSE E 1% CONCENTRADO PROTÉICO) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DINÂMICAS DOS GÉIS COM 10% DE AMIDO DE ARARUTA DA VARIEDADE COMUM (A) E OVO DE PATA (B). ....  | 59 |
| FIGURA 20. EFEITO DA ADIÇÃO DE PROTEÍNA E SACAROSE ( $G' \diamond$ : 0% SACAROSE E 0% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \blacktriangle$ : 1% SACAROSE E 4% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \blacksquare$ : 2% SACAROSE E 3% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \bullet$ : 3% SACAROSE E 2% CONCENTRADO PROTÉICO; $G' \times$ : 4% SACAROSE E 1% CONCENTRADO PROTÉICO) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DINÂMICAS DOS GÉIS COM 12% DE AMIDO DE ARARUTA DA VARIEDADE COMUM (A) E OVO DE PATA (B). ....  | 60 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| TABELA 1. VOLUMES PARA A PREPARAÇÃO DA CURVA ANALÍTICA. ....   | 33 |
| TABELA 2. FORMULAÇÕES DOS GÉIS ADICIONADOS DE CONCENTRADO PROTÉICO E<br>SACAROSE UTILIZADOS NAS CARACTERIZAÇÕES REOLÓGICAS E TEXTURAI..... | 36 |
| TABELA 3. FORMULAÇÕES DOS GÉIS ADICIONADOS DE CONCENTRADO PROTÉICO OU<br>SACAROSE UTILIZADOS NAS CARACTERIZAÇÕES TEXTURAI. ....            | 36 |
| TABELA 4. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS AMIDOS DE ARARUTA DAS VARIEDADES<br>COMUM E OVO DE PATA. ....   | 39 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|            |   |
|------------|---|
| $G'$       | módulo de armazenamento ou módulo elástico (Pa) |
| $G''$      | módulo de perda ou módulo viscoso (Pa)          |
| $G^*$      | módulo complexo (Pa)                            |
| $\omega$   | frequência (rad/s)                              |
| $\gamma^o$ | deformação (Pa)                                 |
| $\tau^o$   | tensão total (Pa)                               |
| $\eta$     | viscosidade dinâmica (Pa.s)                     |
| $\eta^*$   | viscosidade complexa (Pa.s)                     |
| $\delta$   | ângulo de fase (°)                              |
| $f$        | frequência (Hz)                                 |
| pH         | potencial hidrogeniônico                        |
| PI         | poder de inchamento                             |
| IS         | índice de solubilidade                          |
| mL         | mililitro                                       |
| Pa         | Pascal  |
| mPa        | milipascal                                      |
| Hz         | hertz   |
| kV         | kilovolts                                       |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 14 |
| 2. OBJETIVOS.....  | 15 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....  | 15 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....   | 15 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA .....   | 15 |
| 3.1 ARARUTA ( <i>MARANTA ARUNDINACEAE</i> L.).....                                   | 15 |
| 3.2 AMIDO .....  | 17 |
| 3.3 GELATINIZAÇÃO E RETROGRADAÇÃO DO AMIDO .....                                     | 19 |
| 3.4 INTERAÇÃO AMIDO-PROTEÍNA .....   | 20 |
| 3.5 EFEITOS DA SACAROSE NA GELATINIZAÇÃO DO AMIDO .....                              | 21 |
| 3.6 REOLOGIA .....   | 22 |
| 3.6.1 Importância da reologia .....  | 22 |
| 3.6.2 Medidas reológicas .....   | 22 |
| 3.6.3 Reologia em estado dinâmico .....  | 24 |
| 3.6.4 Características reológicas de amido.....                                       | 27 |
| 3.7 TEXTURA DE GÉIS .....  | 28 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 30 |
| 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS .....   | 30 |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO AMIDO .....                                     | 30 |
| 4.2.1 Determinação do teor de umidade .....  | 30 |
| 4.2.2 Determinação do teor de cinzas .....   | 30 |
| 4.2.3 Determinação do teor de lipídeos totais .....                                  | 31 |
| 4.2.4 Determinação do teor de proteínas .....  | 31 |
| 4.2.5 Determinação do teor de amilose.....   | 32 |
| 4.2.6 Determinação da acidez .....   | 34 |
| 4.2.7 Determinação do pH .....   | 34 |
| 4.3 Poder de inchamento e índice de solubilidade do amido de araruta .....           | 35 |
| 4.4 OBSERVAÇÃO DOS GRÂNULOS DE AMIDO POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).. | 35 |
| 4.5 PREPARO DOS GÉIS DE AMIDO DE ARARUTA .....                                       | 35 |
| 4.6 CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DOS GÉIS .....  | 36 |
| 4.6.1 Espectros mecânicos .....  | 37 |
| 4.6.2 Varredura de tempo e temperatura.....  | 37 |
| 4.7 ANÁLISE DA TEXTURA DOS GÉIS POR PENETRAÇÃO.....                                  | 38 |
| 4.7.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....   | 38 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....  | 39 |
| 5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO AMIDO DE ARARUTA .....                                 | 39 |
| 5.2 TAMANHO E FORMATO DOS GRÂNULOS.....  | 40 |
| 5.3 PODER DE INCHAMENTO E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE DO AMIDO DE ARARUTA .....           | 41 |
| 5.4. TEXTURA .....   | 43 |
| 5.5 REOLOGIA.....  | 46 |
| 5.5.1 Varredura de frequência.....   | 46 |
| 5.5.2 Varredura de Tempo .....   | 55 |
| 5.5.3 Varredura de Temperatura .....   | 58 |
| 6. CONCLUSÃO .....   | 61 |
| 7. REFERENCIAS .....   | 61 |

## 1. INTRODUÇÃO

A araruta (*Maranta arundinaceaea* L.) pertence à família *Marantaceae* e é uma planta com ampla faixa de distribuição geográfica, desde o Nordeste até o Sul do país. Pode atingir até 1,5-1,8 m de altura e forma um intrincado complexo de pequenos caules rizomatosos no sistema radicular. São utilizadas para consumo as estruturas subterrâneas (caules rizomatosos), especialmente para a extração de amido para o fabrico de pães e biscoitos. Destas estruturas extrai-se um amido que pode ser utilizada por celíacos, pessoas com restrições alimentares ao glúten. É uma planta herbácea perene originária de regiões tropicais da América do Sul, incluindo o Brasil Central (MAPA, 2010).

As variedades mais comuns de araruta são: araruta-bastarda, araruta-caixulta, araruta-comum, araruta-da-florida, araruta-de-porco, araruta-do-campo, araruta-do-méxico, araruta-especial, araruta-gigante, araruta-palmeira, araruta-raiz-redonda (ovo de pata), araruta-ramosa, agutingue-pé e embiri. (BARUFALDI, 2013).

O plantio escasso e a dificuldade para obtenção do amido puro fizeram a indústria alimentícia abandonar a comercialização do produto e a araruta praticamente desapareceu do mercado, passando a ser gradualmente substituída pelo amido de mandioca, mais fácil de industrializar. (NEVES et al., 2005). Desta forma, verifica-se a necessidade da realização de novos estudos para reintroduzir a amido de araruta na dieta humana, visto que o mesmo apresenta característica como fácil capacidade de gelificação e ausência de glúten.

Nas indústrias agroalimentares os amidos e derivados são utilizados como ingredientes, componentes básicos ou aditivos adicionados em baixas quantidades para melhorar a fabricação, apresentação ou conservação do produto desempenhando, assim, papel relevante no controle das características de um grande número de alimentos processados (SERRANO e FRANCO, 2005).

O amido não se encontra sozinho em produtos alimentícios, por isso é de grande importância o estudo da interação do amido com componentes como proteína e sacarose, pois produtos como pães, massas, sopas, molhos, cereais matinais e outros processados industrialmente possuem textura característica e atributos sensoriais relacionados à presença de diferentes proporções de tais componentes em suas

formulações. Uma vez que as propriedades reológicas e de textura são afetadas durante o processo de gelatinização, torna-se importante sua avaliação (ROBERTS e CAMERON, 2002).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Estudar o efeito da adição de concentrado proteico e sacarose nas propriedades reológicas e texturais dos géis obtidos a partir do amido de araruta das variedades comum e ovo de pata.

### **2.2 Objetivos específicos**

- I. Determinar a composição dos amidos de araruta.
- II. Estudar o efeito da adição de sacarose e concentrado proteico na textura dos géis de amido.
- III. Determinar as propriedades reológicas em estado dinâmico dos géis de amido da araruta em função da concentração de proteína e sacarose.
- IV. Estudar o efeito da temperatura sobre as componentes elástica ( $G'$ ) e viscosa ( $G''$ ) durante os ensaios dinâmicos (espectros mecânicos) das suspensões de amido de araruta, adicionadas ou não de concentrado protéico e sacarose.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 Araruta (*Maranta arundinaceae* L.)**

A araruta é uma planta herbácea que apresenta rizomas, estes são caules prostrados que crescem horizontalmente sob o solo e que emite raízes, folhas e ramos a partir de seus nós. No caso da araruta, os rizomas são fusiformes, muito fibrosos e acumulam amido que formam as reservas para o desenvolvimento de uma nova planta. (Figura 1) (MARSONO et al., 2005).

O rizoma fresco 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 e CEREDA, 2002). Além de o amido conter substâncias acres, que os índios aplicam, de

maneira tópica, contra os ferimentos e como antídoto nas picadas de insetos ou nas mordidas de cobras peçonhentas (MONTEIRO e PERESSIN, 2002).

Figura 1. Rizomas de Araruta das variedades comum (1) e ovo de pata (2).



Fonte: O autor (2014)

Entre as variedades estudadas estão as variedades comum, que é uma planta de porte baixo (mais ou menos 60 cm de altura) cujos rizomas são cônicos-alongados e se caracterizam por pouco ou nenhum florescimento nas condições tropicais, e a variedade tamoatarana (tamatarana) planta acaule, da família *Marantaceae*, também conhecida como araruta-raiz-redonda (ovo de pata) que apresenta porte baixo, aproximadamente 40 cm de altura, com folhas semelhantes às da araruta industrial (araruta da variedade comum), porém com pedúnculo mais curto e limbo foliar mais elíptico. A ovo de pata apresenta inflorescência do tipo espiga, com flores esbranquiçadas e ovário glabro. Os rizomas, de formato arredondado, casca brilhante, escamoso são produzidos na forma de pencas à profundidade de aproximadamente 30 cm. Esta variedade é procedente da região de Jurema- MT, onde é cultivada pelos índios Nhambiquaras (MONTEIRO e PERESSIN, 2002).

O amido de araruta 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).

Hoje, além de ser difícil encontrar no mercado o verdadeiro amido de araruta, é raro até mesmo quem cultive a planta. Por isso, se torna um bom negócio para quem está produzindo. O preço de mercado varia entre R\$ 15,00 a R\$ 20,00 reais o quilo do amido e no mercado internacional chega a alcançar preços ainda mais elevados (450 gramas custam cerca de US\$ 22,19), justamente por não haver uma produção em larga escala. Só em 2012, foram capacitados mais de 150 agricultores familiares de Cruz das



Almas - Ba, e distribuídas aproximadamente 2.500 mudas de araruta com o objetivo de aumentar a produção (EBDA, 2013).

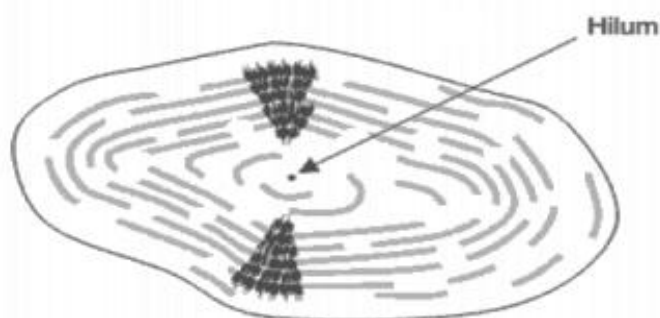
O resgate do cultivo da araruta é uma das linhas de pesquisa da Embrapa Agrobiologia, a Embrapa Solos, a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a Pesagro-Rio realizadas na Fazendinha Agroecológica Km 47, através de um convênio. Por ser propagada por rizomas e tubérculos, essa espécie pode facilmente desaparecer, pois depende do replantio constante do material propagativo (NEVES et al., 2005).

### 3.2 Amido

O amido encontra-se nas plantas sob a forma de grânulos (Figura 2), sendo o único polissacarídeo produzido sob tal forma. Segundo Vandeputte et al. (2003) e Tester et al. (2004), a forma (redondo, oval, poliédrico), o tamanho de partícula (2 a 100 $\mu$ m) e a distribuição de tamanho da partícula (unimodal, bimodal, trimodal) dos grânulos são características da origem botânica.

Em solução aquosa, o grânulo de amido apresenta birrefringência quando visto microscopicamente sob luz polarizada. A refração da luz através das suas regiões cristalinas resulta no modelo típico de “Cruz de Malta”, o que caracteriza a orientação radial das macromoléculas. O centro ou “hilum”, encontrado no centro da cruz, é considerado o ponto original de crescimento do grânulo. Essa propriedade de birrefringência é devida ao alto grau de orientação molecular interna, não tendo qualquer relação com a forma cristalina em particular (ELIASSON, 2004; LAJOLO e MENEZES, 2006).

Figura 2. Modelo da estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum.

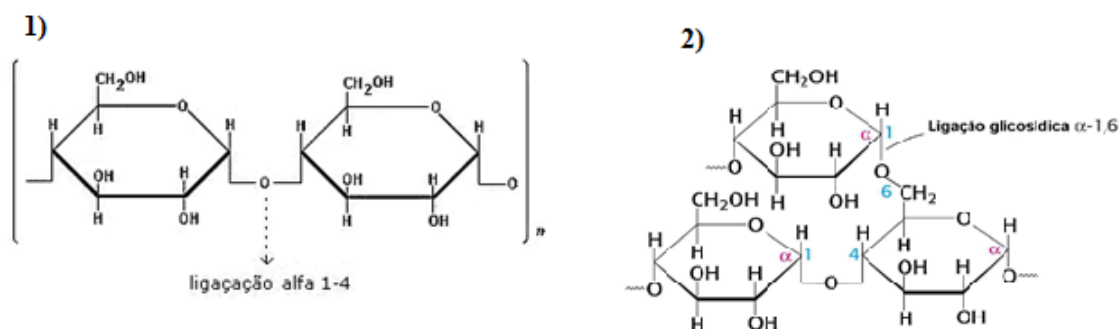


Fonte: Parker e Ring (2001)

O amido 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).

Estruturalmente o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de glicose lineares (amilose) e ramificadas (amilopectina). A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha(1\rightarrow4)$  (Figura 3), originando uma cadeia predominantemente linear, enquanto que a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em  $\alpha(1\rightarrow4)$  e  $\alpha(1\rightarrow6)$ , formando uma estrutura ramificada (Figura 3).

Figura 3. Representação esquemática da cadeia linear da amilose (1) e amilopectina (2).



Fonte: Santos (2012)

Embora a amilose seja considerada em polímero linear, se admite que algumas de suas moléculas possuam ramificações, semelhantes à da amilopectina. Além disso, a presença de estruturas intermediárias entre amilose e amilopectina foi proposta para alguns amidos, como o de aveia (WANG e WHITE, 1994; ELIASSON, 1996). As proporções em que estas estruturas aparecem diferem entre as diversas fontes, entre variedades de uma mesma espécie e ainda, em uma mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta (ELIASSON, 1996). Estas variações podem resultar em grânulos de amido com propriedades físico-químicas e tecnológicas diferenciadas, o que pode afetar sua utilização em alimentos ou aplicações industriais visto que, quanto maior o teor de amilose maior tendência ao processo de retrogradação e consequentemente perda de água pelo produto final (WANG e WHITE, 1994).

### 3.3 Gelatinização e retrogradação do amido

Com o aquecimento de uma solução aquosa de amido, a partir de uma dada temperatura ocorre um processo irreversível denominado de gelatinização. Durante o aquecimento, as interações de hidrogênio entre as cadeias de amilose e amilopectina são rompidas e os grânulos de amido começam a absorver água intumescendo irreversivelmente, adquirindo tamanho maior que o original. As moléculas de amilose mais solúveis tendem a sair do grânulo, e devido a total dispersão de macromoléculas e componentes o grânulo se rompe. A temperatura em tal processo é evidenciada e é chamada de temperatura de gelatinização (PARKER e RING, 2001, ELIASSON, 1996).

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; ELIASSON, 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).

As características de retrogradação da amilose e amilopectina são cineticamente diferentes. A amilose retrograda mais rapidamente, tendo forte tendência a associar-se por meio da formação de interações de hidrogênio com outras moléculas de amilose adjacentes, formando estruturas cristalinas de duplas hélices quando a solução esfria e se mantém por longo período de tempo. Por outro lado, a amilopectina retrograda em uma taxa muito menor durante um longo período de tempo (WU e SARKO, 1978; PARKER e RING, 2001; THARANATHAN, 2002).

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. Sabe-se, por exemplo, que a repetição de ciclos de congelamento-descongelamento acelera drasticamente a retrogradação e a sinérese. Os cristais de gelo formados durante o processo de congelamento danificam a estrutura do produto o que provoca alterações na textura do produto (endurecimento do produto final), e conseqüentemente na

aceitabilidade e na digestibilidade dos alimentos que contém amido (ELIASSON, 1996; THARANATHAN, 2002; ELIASSON, 2004).

### **3.4 Interação amido-proteína**

A gelatinização do amido é influenciada pela presença de outros compostos que, direta ou indiretamente, interferem na atividade de água e na sua microestrutura (BAKER e RAYAS-DUARTE, 1998). Alguns ingredientes como sacarose, sal e proteínas competem com o amido pela água disponível no sistema afetando sua gelatinização.

Proteínas e amidos desempenham papel importante na estrutura, textura e estabilidade dos alimentos. Como eles são raramente encontrados isoladamente nos produtos, o conhecimento do comportamento de suas misturas é de grande interesse industrial (PÉREZ et. al., 2006).

As proteínas afetam a gelatinização do amido pela formação de complexos sobre a superfície do seu grânulo e prevenindo a liberação de amilose e amilopectina a partir dos grânulos, aumentando assim a temperatura de gelatinização do amido. A natureza hidrofílica das proteínas é outro fator que explica o efeito das proteínas sobre a gelatinização, como a proteína também interage com a água é reduzida a água disponível para intumescer os grânulos de amido (SUMMU et. al., 1999).

O interesse por pesquisas nos sistemas polissacarídeo-proteína é devido a suas numerosas aplicações, como agente gelatinizante, espessante, emulsificante, modificador de textura, estabilizante em alimentos, cosméticos, fármacos e em indústrias biomédicas (NISHINARI et al., 2000). Um sistema polissacarídeo-proteína de grande interesse é o sistema amido-proteína do soro do leite, presente em alimentos como iogurtes, pudins, lanches, pães, pastas e cereais matinais. Eles são os principais componentes de muitos alimentos industrialmente processados melhorando sua textura e propriedades do paladar. As proteínas do soro do leite são largamente utilizadas como ingrediente de alimentos, devido ao seu alto valor nutricional e por apresentar propriedades tecnológicas importantes, sendo sua propriedade de gelatinização considerada a de maior destaque, pois apresenta a capacidade, quando em solução de formar géis estáveis por meio do aquecimento da mistura (VARDHANABHUTI et al., 2001).

### 3.5 Efeitos da sacarose na gelatinização do amido

Entender a interação entre os componentes no sistema amido-sacarose-água é importante para melhorar a textura e vida de prateleira de produtos. Os açúcares desempenham um papel importante na gelatinização e retrogradação da pasta de amido. No entanto, açúcares têm efeitos diferentes dependendo do tipo de amido (PROKOPOWICH e BILIADERIS, 1995).

Segundo Spies e Hosney (1982), a sacarose, em interação com a água, tem os seguintes efeitos: limita a disponibilidade de água para o grânulo de amido, diminui a atividade de água ( $A_a$ ) da pasta de amido, e exerce efeito antiplastificante (enrijecimento da matriz polimérica).

O efeito inibitório provocado pela presença de açúcares no intumescimento do grânulo de amido pode ser atribuído à redução da mobilidade do solvente (água) e a redução da atividade de água, conseqüentemente menor quantidade de água estará disponível para penetrar no grânulo de amido. Segundo Spie e Hosney (1982), as interações amido-açúcar estabilizam as regiões amorfas (que são regiões desordenadas e de fácil acesso a penetração da água) pela interação das moléculas de açúcar com as cadeias de amido e por isso ocorre aumento da energia requerida para gelatinização do amido e conseqüentemente aumenta também a temperatura de gelatinização.

Uedaira, Ishimura e Tsuda (1990) propuseram que o número de grupos hidroxila equatoriais na molécula de açúcar tem um forte efeito estabilizador sobre a estrutura da água em torno da mesma. Portanto, pode haver uma relação entre a retrogradação e o número de grupos hidroxila e / ou o tamanho da molécula. O número médio de hidroxilas (OH) equatoriais é menor na ribose (2,1), e aumenta na ordem de frutose (3,0), manose (3,3), xilose (3,5), glucose (4,6), sacarose (6,3), e maltose (7,2).

Ahmad e Williams (1999) explicaram o efeito do açúcar sobre as suspensões de amido em termos de inibição da organização das cadeias. As moléculas de açúcar com grupos hidroxilas equatoriais (como a sacarose) impedem a reorganização da cadeia, ou seja, retarda o processo de retrogradação, tornando toda a estrutura fraca, enquanto aqueles com grupos hidroxilas axiais (como a frutose) têm efeito contrário.

A interação da sacarose com as moléculas de água favorece a retenção da água no produto final o que é de fundamental importância para a manutenção da maciez dos produtos de panificação por exemplo. Observa-se que isto ocorre devido à formação de

interações químicas entre as moléculas de água e as moléculas dos açúcares. (ESTELLER et al., 2004).

## **3.6 Reologia**

### **3.6.1 Importância da reologia**

O estudo das propriedades reológicas de alimentos permite conhecer melhor a estrutura dos materiais, podendo, por exemplo, inferir se há relação entre o tamanho e a forma molecular das substâncias em solução, a contribuir também com o controle de qualidade na indústria de alimentos, projetar equipamentos para manuseio de alimentos e correlacionar a aceitação do consumidor com alguma propriedade reológica definida. Muitas indústrias de alimentos têm testes padrão para correlacionar alguns aspectos reológicos de alimentos sólidos com a aceitação do consumidor (RAO et al., 2005).

A grande maioria das aplicações de polissacarídeos, na indústria alimentícia está associada à capacidade que eles possuem de alterar, drasticamente, as suas propriedades físicas quando em solução, resultando em soluções de alta viscosidade ou criando redes intermoleculares coesivas (MARCOTTE, TAHERIAN HOSHAHILI, RAMASWAMY, 2001; MORRIS, 1995; LAPASIN e PRICL, 1999). Nesses casos, o conhecimento do comportamento reológico das pastas e soluções de polissacarídeos é de fundamental importância na determinação da funcionalidade de ingredientes no desenvolvimento de produtos, no controle intermediário ou final da qualidade de produtos, teste de vida de prateleira, avaliação da textura de alimentos e correlação com testes sensoriais, etc (STEFFE, 1996).

### **3.6.2 Medidas reológicas**

A reologia é uma ciência que surgiu no início do século XX e tem como objetivo estudar a deformação e o escoamento dos materiais, ou seja, o modo como os materiais respondem à aplicação de uma tensão ou deformação (STEFFE, 1996). 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 e PESSAN, 1987).

A propriedade reológica de maior interesse no caso dos sólidos é a elasticidade e no caso dos líquidos, a viscosidade. O sólido elástico é um material com forma definida que, quando deformado devido à ação de uma força externa dentro de certos limites, irá retornar à sua forma e dimensões originais, após a remoção dessa força. O material sólido mais simples é o sólido elástico de Hooke, cuja deformação é diretamente proporcional à tensão aplicada. A resposta elástica também pode ser exibida pelos materiais não-Hookeanos, cuja deformação não está linearmente relacionada à tensão aplicada (CHEREMISINOFF, 1993).

O líquido viscoso não tem forma definida e irá escoar, irreversivelmente, com a aplicação de uma força externa (STANLEY, et al., 1995). A viscosidade pode ser definida como a medida da fricção interna de um fluido, isto é, a resistência encontrada pelas moléculas ao se moverem no interior de um líquido, devido ao movimento Browniano e às forças intermoleculares (GOULD, 1992). Essa fricção torna-se aparente quando uma camada de fluido move-se em relação à outra camada. Assim, à medida que se aumenta a viscosidade do fluido, aumentam-se as forças de atrito e é necessária mais energia para que ocorra o cisalhamento do mesmo, que acontece sempre que o fluido é fisicamente movido ou distribuído, como no escoamento, espalhamento, aspersão, mistura, entre outros (LEWIS, 1993; BROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES, 1994; MOTT, 1996).

Alguns materiais não podem ser diferenciados em sólidos ou líquidos com clareza, de modo que a propriedade reológica de interesse nesses casos é a viscoelasticidade (SHAW, 1975; PASQUEL, 1999; RAO, 1999), que é uma característica dos materiais que ao se deformarem sofrem simultaneamente deformações elásticas e viscosas.

Uma rede de gel viscoelástica pode ser avaliada por métodos reológicos, tais como: fluxo contínuo, tensão constante e oscilatória. Ou seja, a medida da viscoelasticidade pode ser feita por métodos estáticos e dinâmicos, porém somente através de ensaios oscilatórios (dinâmicos), as características elásticas e viscosas podem ser medidas simultaneamente (BRASEQ, 2007).

As medidas de cisalhamento oscilatório de pequena amplitude (COPA) são comumente usadas para estudar a viscoelasticidade linear de alimentos. COPA é um subconjunto especial das análises mecânica e dinâmica (AMD). AMD é utilizada para medir propriedades mecânicas de materiais enquanto eles são submetidos a uma tensão

oscilatória. Quando AMD conta com efeitos de temperatura, ela é denominada “análise térmica mecânica e dinâmica” (GUNASEKARAN e AK, 2000).

As medidas de COPA permitem determinar o módulo de cisalhamento, o módulo de armazenamento (ou módulo elástico) e o módulo de perda (ou módulo viscoso) como uma função da frequência ( $\omega$ ) na região de viscoelasticidade linear (VEL) do material teste. O módulo de armazenamento ( $G'$ ) é a medida da energia armazenada e recuperada por ciclo, e o módulo de perda ( $G''$ ) é a medida da energia dissipada ou perdida com aquecimento por ciclo de deformação imposta. Através do  $G'$  e  $G''$  pode-se determinar o ângulo de fase (ou ângulo de perda mecânica)  $\delta$  e a tangente de perda  $\tan \delta$ , que é a razão entre as componentes viscosas e elásticas (GUNASEKARAN e AK, 2000).

O estudo do comportamento viscoelástico em alguns testes reológicos requer a aplicação de uma força sobre o material em estudo e a medição de sua deformação. Em análises na faixa de viscoelasticidade linear, uma tensão oscilatória é aplicada à amostra e a resistência à deformação é medida. (MORRIS, 1995; NAÉ, 1993).

### **3.6.3 Reologia em estado dinâmico**

Em ensaios oscilatórios, amostras são submetidas a uma variação harmônica de tensão. Este ensaio é o método dinâmico mais comum para se estudar o comportamento viscoelástico de alimentos. Os resultados são muito sensíveis à composição química e estrutura física, então eles são usados em várias aplicações incluindo avaliação da resistência de géis, monitoramento da gelatinização do amido, estudo do fenômeno de transição vítrea, observação da coagulação ou desnaturação da proteína, avaliação da formação de coalhada em produtos lácteos, derretimento de queijo, desenvolvimento de textura em produtos de panificação e cárneos, vida de prateleira, e correlação de propriedades reológicas para percepção sensorial humana (STEFFE, 1996).

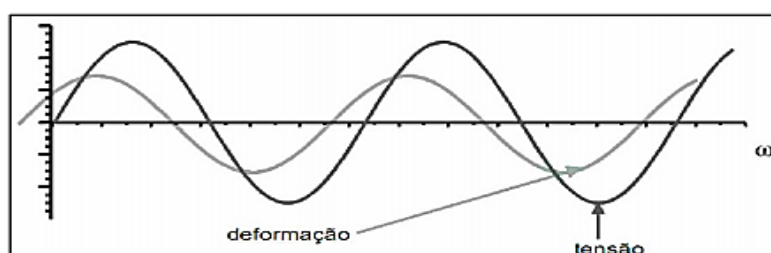
O ensaio oscilatório pode ser conduzido sob tração, compressão ou cisalhamento. Um instrumento comercial típico se baseia na deformação por cisalhamento e este é o método predominante usado para alimentos. Deformação por cisalhamento pode ser gerada através do uso de placas paralelas, cone e placa, ou cilindros concêntricos. Instrumentos de teste dinâmico podem ser divididos em duas categorias: instrumento de taxa controlada onde a deformação é fixada e a tensão é



medida, e instrumentos de tensão controlada onde a amplitude da tensão é fixada e a deformação é medida (STEFFE, 1996).

Os testes oscilatórios são de natureza não-destrutiva, ou seja, o material não sofre movimento, mas fica sujeito a uma tensão periódica sendo medida a respectiva deformação (Figura 4). A deformação sofrida ( $\gamma$ ) pela amostra depende não só da frequência ( $\omega$ ), mas também da tensão aplicada ( $\sigma$ ), ou seja, irá aumentar com a tensão a uma frequência constante e irá aumentar com o decréscimo da frequência quando medida a uma tensão constante.

Figura 4. Curva de tensão e deformação de um material viscoelástico.



Fonte: Brummer, (2006).

Os máximos e mínimos da curva senoidal formada pela variação de tensão não são necessariamente coincidentes com os máximos e mínimos da deformação (Figura 4). Em um fluido viscoso ideal a tensão e a deformação estão completamente fora de fase e  $\delta = 90^\circ$ . Em um sólido elástico perfeito a tensão e a deformação estão em fase e  $\delta = 0^\circ$ . Nos materiais viscoelásticos  $0^\circ < \delta < 90^\circ$ . Assim, quando  $0^\circ < \delta < 45^\circ$  o material se comporta como um sólido viscoelástico e quando  $45^\circ < \delta < 90^\circ$  é caracterizado um fluido viscoelástico (LARSON, 1999).

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 e RAO, 1992). Nesta faixa três tipos de ensaios reológicos dinâmicos podem ser conduzidos: a varredura da frequência, determinando-se o módulo de armazenamento ( $G'$ ), o módulo de dissipação ( $G''$ ) e a viscosidade complexa ( $\eta^*$ ) em função da frequência a uma temperatura fixa; a varredura de temperatura, na qual  $G'$  e

$G''$  são determinados em função da temperatura a uma dada frequência e varredura de tempo, onde a variação de  $G'$  e  $G''$  em função do tempo é avaliada a uma temperatura e frequência constantes (RAO, 1999).

Para melhor compreensão desses módulos, é importante entender alguns conceitos, entre eles, a tangente de  $\delta$  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). Então o ângulo de fase pode ser calculado matematicamente pela Equação 1.

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (1)$$

O módulo de cisalhamento complexo ( $G^*$ ), que representa a resistência total a deformação do sistema, é definido pela Equação 2.

$$|G^*| = \frac{\tau^\circ}{\gamma^\circ} \quad (2)$$

Onde:

$\tau^\circ$  = tensão total (Pa)

$\gamma^\circ$  = deformação (Pa)

Também pode ser subdividido em dois componentes (Equação 3).

$$G^* = G' + G'' \quad (3)$$

Onde:

$G'$  = módulo de armazenamento ou elástico (Pa)

$G''$  = módulo de dissipação ou viscoso (Pa)

Para um sólido puramente elástico, o  $G''$  é igual à zero, e o módulo de armazenamento ( $G'$ ) é igual ao módulo de cisalhamento complexo ( $G^*$ ) (Equação 4), o ângulo de fase é igual à zero, ou melhor, toda a energia aplicada ao sistema é armazenada a cada ciclo (NAÉ, 1993).

$$G^* = G' \quad (4)$$

Já para um fluido Newtoniano, a viscosidade dinâmica complexa ( $\eta^*$ ) é igual ao módulo de dissipação ( $G''$ ) e ao módulo de cisalhamento complexo ( $G^*$ ) como mostra a Equação 5, o ângulo de fase é  $90^\circ$ , ou seja, toda energia aplicada ao sistema é dissipada na forma de calor (FREITAS et al., 2003).

$$G^* = G'' = \eta^* \quad (5)$$

A faixa de tensão onde o módulo complexo  $G^*$  e o ângulo de fase  $\delta$  são independentes da tensão aplicada é chamada de região viscoelástica linear.

Pode-se também obter a viscosidade complexa  $|\eta^*|$  (Equação 6) (BRUMMER, 2006).

$$|\eta^*| = \frac{G^*}{\omega} \quad (6)$$

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 e CUNHA, 2007).

### 3.6.4 Características reológicas de amido

Pela variação das condições de gelatinização do amido, uma ampla faixa de microestruturas pode ser produzida, as quais determinam as propriedades reológicas dos sistemas. O grânulo de amido é o principal elemento estrutural que contribui para as diferenças nas propriedades reológicas devido aos seus diferentes estados de intumescimento, desintegração, pelo acúmulo de cadeias de amilose no espaço intergranular e amilopectina dentro do grânulo de amido (CONDE-PETIT et al., 1988).

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).

O estudo reológico de sistemas poliméricos tem auxiliado, tanto na compreensão da estrutura molecular de muitos tipos de polímeros, quanto na forma como esta conformação estrutural afeta o comportamento reológico, quer em condições permanentes, quer em deformação intermitente. A viscosidade e a elasticidade são as duas faces que tendem a caracterizar a maneira como um material reage a uma tensão imposta (MACHADO, 2002).

### **3.7 Textura de géis**

Assim como o sabor, a textura é um importante indicador de qualidade de um alimento. De acordo com Szczesniak (2002), textura é a manifestação sensorial e funcional de propriedades estruturais, mecânicas e superficiais de alimentos detectados através da sensibilidade dos músculos da mão, dedos, língua, dentes ou lábios. 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.

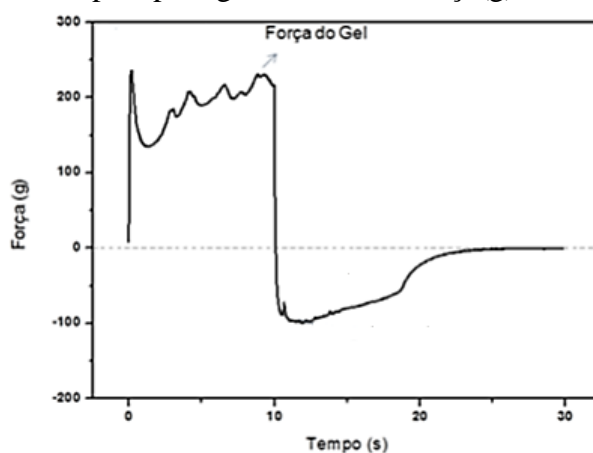
As propriedades texturais de um alimento são um grupo de características físicas que surgem a partir de elementos estruturais de alimentos, são sentidos primariamente pelo toque, são relacionados com a deformação, desintegração e fluxo do alimento sob uma força, e são medidos objetivamente como função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

A medida do comportamento mecânico de géis realizada através do teste de penetração representa um dos métodos mais utilizados para medidas objetivas da textura. Como o nome indica, são baseados no princípio de penetração do material-teste com dispositivos que podem ter diferentes formas e tamanhos. Os penetrômetros podem ser divididos em dois tipos: peso constante (para medidas de consistência em gordura) e velocidade constante (KAMEL e de MAN, 1975).

Teste de penetração alimentar é muito semelhante ao teste de compressão com uma diferença fundamental da sonda, que é tipicamente muito menor do que a amostra a ser testada. Também referido como o teste de punção, a penetração pode ser executada em uma grande variedade de produtos alimentares e é um ensaio muito útil. É mais comum que a sonda penetre em uma amostra a uma determinada distância e a força de pico encontrado durante o teste é medida (FTC, 2013).

O uso de penetrômetros baseia-se no princípio de penetração na amostra (Figura 5), onde é medida a força requerida para certa penetração, e a medida obtida associada com a “dureza” ou “firmeza” do alimento frequentemente utilizado para avaliar a maturação de frutas e dureza de géis (SZCZESNIAK, 1973). A resposta de um material à penetração pode ser afetada pela densidade e uniformidade da matriz, já que somente uma região da seção transversal é submetida à penetração, e a resistência a essa força, mede o grau de compactação ou densidade, chamado firmeza. A variação na densidade e qualquer defeito ou não-homogeneidade da matriz, como bolsas de ar ou ingredientes adicionados, podem alterar à força de penetração (LEE e CHUNG, 1989).

Figura 5. Perfil de textura típica para géis através da força(g) versus o tempo(s).



Fonte: Pons e Fiszman (1996)

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.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Materiais utilizados**

Os amidos de araruta das variedades comum e ovo de pata foram adquiridos na cidade de Conceição do Almeida-BA, o concentrado proteico do soro do leite (Whey Protein 100% pura, marca Max Nutry) utilizado foi adquirido na cidade de Viçosa-MG, e a sacarose (açúcar comercial) foi comprada na cidade de Itapetinga-Ba em supermercado.

### **4.2 Caracterização físico-química do amido**

Foram realizadas diversas análises físico-químicas em triplicata para a caracterização dos amidos de araruta.

#### **4.2.1 Determinação do teor de umidade**

O conteúdo de umidade foi determinado pelo método gravimétrico n° 92510 recomendado pela AOAC (1997), que consiste na permanência de 5 g de amido em uma estufa de secagem (Tecnal, modelo TE-394/1) a 105°C, por cerca de 4 horas (ou até que o peso da amostra não apresente mais variação), sendo posteriormente pesado em balança analítica, (marca Bel engineering, modelo M254A).

#### **4.2.2 Determinação do teor de cinzas**

A determinação do teor de cinzas foi realizada segundo a técnica n° 92303 recomendado pela AOAC (1997). Foram pesados aproximadamente 3 g de cada amostra de amido em cadinhos de porcelana (previamente pesadas em balança analítica) e levados à mufla (Quimis, modelo Q318M), onde ficaram a 550 °C por cerca de 2 horas (até a completa incineração da amostra). A seguir, os cadinhos contendo as amostras foram colocados em um dessecador contendo sílica, onde ficaram até alcançar a temperatura ambiente, sendo então pesados novamente em balança analítica.

### 4.2.3 Determinação do teor de lipídeos totais

O teor de lipídios totais das amostras de amido foi determinado pelo método de Bligh e Dyer (1959). A amostra ( $\pm 2,0$  g) foi dissolvida em clorofórmio, metanol e água nas proporções de 10 mL, 20 mL e 16 mL, respectivamente, assim, os solventes coexistiram em uma solução homogênea.

A solução foi agitada por 15 minutos e posteriormente adicionou-se a mesma 20 mL de clorofórmio e o mesmo volume de água, sendo agitada por mais 2 minutos, causando a separação total do clorofórmio, que carrega consigo os lipídios. A separação do clorofórmio foi conduzida em um funil de separação durante 4 horas, tempo necessário para que ocorresse a completa separação das fases. A fase contendo o lipídeo foi recolhida em um béquer e levado a estufa a 100 °C por 15 minutos, seguido de pesagem em balança analítica. O teor de lipídios da amostra foi calculado usando a Equação 7.

$$\% \text{ Lipídios totais} = \frac{P * 100}{G} \quad (7)$$

Onde:

P - massa de lipídios (g) ;

G - massa do amido (g).

### 4.2.4 Determinação do teor de proteínas

O teor de proteínas da amostra de amido foi determinado pelo método de micro Kjeldahl, n° 979.09 sugerido pela AOAC (1997).

Em tubos de ensaio pesou-se 0,2 g da amostra, que foi adicionada de 2 g de mistura catalítica (100 g de sulfato de potássio para 10 g de sulfato de cobre) e 10 mL de ácido sulfúrico, tal solução foi levada ao bloco digestor a uma temperatura inicial de 50 °C sendo aumentada 50 °C de 30 em 30 minutos até atingir 400 °C, quando a solução atingiu a coloração azul esverdeada, os tubos foram retirados do bloco digestor e resfriados em temperatura ambiente, sendo posteriormente adicionado de 2 mL de água destilada e encaminhado para o destilador, marca Tecnal, modelo TE- 0363 através do qual adicionou-se solução de hidróxido de sódio 40% até a amostra atingir coloração preta seguida de aquecimento (para liberação de amônia em um volume de 10 mL de ácido bórico 4%) sendo então obtida uma solução de borato de amônia que foi titulada

com ácido clorídrico 0,01 mol.L<sup>-1</sup> (HCl). O teor de proteína foi calculado utilizando-se a Equação 8.

$$NT = \frac{Va * F * 0,01 * 14}{P1 * 100} \quad (8)$$

Onde:

NT- teor de nitrogênio total da amostra, em percentagem;

F – fator de correção da solução de ácido clorídrico (0,01 mol.L<sup>-1</sup>);

Va – volume de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra, em mililitros;

P1 – massa da amostra, em gramas.

Na determinação da proteína bruta, multiplica-se o valor do nitrogênio total encontrado pelo método de Kjeldahl por um fator que converte o nitrogênio em proteína. Convencionalmente, em amostras de alimentos para animais: plantas forrageiras, rações concentradas, entre outros materiais, a proteína bruta (PB) é expressa pelo fator 6,25, considerando que a maioria das proteínas contém nas suas moléculas aproximadamente 16% de nitrogênio. A Equação 9 é utilizada para determinar a proteína bruta:

$$PB = NT * Fn \quad (9)$$

Onde:

PB – teor de proteína bruta na amostra, em percentagem;

Fn – 6,25

#### 4.2.5 Determinação do teor de amilose

Na determinação do teor de amilose, foi utilizado o método colorimétrico, que se baseia na transmissão de luz através de um complexo colorido que a amilose forma ao reagir com o iodo, de acordo com a metodologia de Martinez e Cuevas (1989). Uma descrição detalhada de tal método segue abaixo:

##### *Preparo da Solução de Iodo*

Em um béquer, pesou-se 0,2 g de iodo metálico (macerado com algumas gotas de água) e 2 g de iodeto de potássio (KI), adicionou-se então 50 mL de água destilada, e a solução foi coberta com papel alumínio sendo mantida em repouso durante 3 horas, em ambiente protegido da luz. Em seguida, transferiu-se para um balão volumétrico e



completando o volume até 100 mL com água destilada, seguindo-se agitação até a uniformização. Esta solução deve ser utilizada no mesmo dia do preparo.

#### *Preparo da Curva Analítica*

Pesou-se 40 mg de amilose pura de batata (Sigma Chemical) em um béquer. Adicionou-se 1 mL de etanol (95%) e 9 mL de hidróxido de sódio 1 g.L<sup>-1</sup>, tal solução foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL e aquecida em banho termostático (Tecnal, modelo TE-2005) a 100 °C por 10 minutos, para gelatinizar o amido, deixando esfriar por 30 minutos. Lavaram-se as paredes do balão e completou o volume com água destilada seguindo-se com suave agitação. Para a preparação da curva padrão foram utilizados 10 balões volumétricos de 100 mL que foram preparados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Volumes para a preparação da curva analítica.

| Balão | Solução de amilose de batata<br>0,04 % (mL) | Ácido acético 1<br>mol.L <sup>-1</sup> (mL) | Solução de iodo<br>0,0001 mol.L <sup>-1</sup> (mL) |
|-------|---|---|--|
| 1     | 1   | 0,2   | 0,4  |
| 2     | 2   | 0,4   | 0,8  |
| 3     | 3   | 0,6   | 1,2  |
| 4     | 4   | 0,8   | 1,6  |
| 5     | 5   | 1,0   | 2,0  |
| 6     | 6   | 1,2   | 2,4  |
| 7     | 7   | 1,4   | 2,8  |
| 8     | 8   | 1,6   | 3,2  |
| 9     | 9   | 1,8   | 3,6  |
| 10    | 10  | 2,0   | 4,0  |

Posteriormente foi completado o volume com água destilada, sob agitação. O sistema foi deixado em repouso por 30 minutos antes de medir a absorbância em espectrofotômetro digital modelo Biochrom Libra S70 em comprimento de onda de 610nm.

#### *Preparo do branco:*

Em um balão de 100 mL adicionou-se 1 mL de etanol (96 %) e 9 mL de NaOH (1 g.L<sup>-1</sup>) e 2 mL de solução de iodo. Completou-se o volume com água destilada e seguido de repouso por 30 minutos.

#### *Preparo da Amostra:*

A amostra de amido de araruta foi embrulhada em papel filtro e mergulhada em solução de hexano por 3 dias na geladeira, para que fosse desengordurada. Da amostra

desengordurada de amido pesou-se 0,1 g, em triplicata em béqueres, as quais foram adicionados lentamente (para evitar a formação de grumos) de 1 mL de etanol (95 %) sendo transferidos para balões volumétricos de 100 mL, os balões foram então agitados para que o etanol entrasse em contato com todos os grânulos da amostra. Então adicionou-se 9 mL de hidróxido de sódio ( $1 \text{ g.L}^{-1}$ ), aquecendo em um banho termostático (Tecnal, modelo TE-2005) a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , durante 10 minutos, para gelatinizar o amido. Da mesma forma, resfriou-se por 30 minutos, lavando as paredes dos balões e completando até o volume de 100 mL com água destilada. Desta solução pipetou-se 5 mL da solução obtida para um outro balão volumétrico, adicionando 1 mL de ácido acético sob agitação, e 2 mL de solução de iodo. Completou-se o volume até 100 mL com água destilada, homogeneizando a suspensão, deixando em repouso por 30 minutos.

#### *Leitura no espectrofotômetro*

A leitura das absorvâncias das soluções utilizadas como padrão, branco e amostra foi realizada em um espectrofotômetro digital modelo Biochrom Libra S70, no intervalo de luz visível a 610 nm. Os valores obtidos foram o resultado da média de 3 leituras. O teor de amilose foi obtido a partir da curva analítica previamente preparada com amilose de batata.

#### **4.2.6 Determinação da acidez**

Na determinação da acidez dos amidos foi preparada uma suspensão a partir de 5 g de amido em 50 mL de água destilada. Retirou-se 10 mL de tal suspensão e transferiu-se para erlenmeyer. A suspensão foi titulada com NaOH  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  e simultaneamente foi medido o pH, quando a mesma atingiu pH 8,2 a titulação foi encerrada e volume gasto foi anotado.

#### **4.2.7 Determinação do pH**

O pH foi determinado por meio de pHmetro (Tecnopon, modelo mPa 210) devidamente calibrado, sendo este inserido em uma suspensão com agitação contendo 2 g de amido em 20 mL de água destilada à temperatura ambiente .

### 4.3 Poder de inchamento e índice de solubilidade do amido de araruta

O poder de inchamento e índice de solubilidade dos amidos foram determinados de acordo com Schoch (1964) com modificações. Suspensões de 0,2 g (b.s.) de amido em 18 g de água destilada foram colocadas em tubos com tampa, e mantidos a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C e 90 °C por 30 minutos em banho termostático (Tecnal, modelo TE-2005) sendo agitados levemente de 5 em 5 minutos. Após este tempo os tubos foram retirados do banho, secos e pesados. O peso da mistura foi completado para 20 g com adição de água destilada. Os tubos foram fechados, invertidos para homogeneização e centrifugados a 2090 g por 15 minutos. O sobrenadante foi recolhido cuidadosamente em placa de petri e secos em estufa a 105 °C por 3 horas, o resíduo sedimentado no tubo e o sobrenadante seco foram pesados.

O poder de inchamento (PI) e o índice de solubilidade (IS) foram calculados de acordo com as equações 10 e 11, respectivamente.

$$PI (g \cdot g^{-1}) = \frac{PRC}{PA-PRE} \quad (10) \quad IS(\%) = \frac{PRE}{PA} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

PRC - Massa do resíduo da centrifugação, g;

PA - Massa da amostra, g;

PRE - Massa do resíduo da evaporação, g.

### 4.4 Observação dos grânulos de amido por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A visualização da morfologia dos grânulos de amido foi realizada utilizando Microscópio de Varredura Eletrônica (LEO 1430 VP, Modelo VP, Inglaterra), no Núcleo de Microscopia e Microanálise na UFV. As amostras em pó foram colocadas sobre fita adesiva de carbono dupla face aderida a um disco metálico, submetidas à aplicação de uma camada de ouro por 2 minutos e observadas em microscópio eletrônico de varredura operado a 20 kV.

### 4.5 Preparo dos Géis de Amido de Araruta

No preparo das amostras foram utilizadas duas concentrações de amido de araruta de cada variedade, quatro concentrações de sacarose e quatro de concentrado protéico de soro de leite. Tais formulações foram submetidas ao aquecimento a uma temperatura

de 80 °C por 5 minutos, com agitação constante usando bastão de vidro para evitar a formação de grumos. Os teores de amido, proteína e sacarose empregados na obtenção dos géis são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Formulações dos géis adicionados de concentrado protéico e sacarose utilizados nas caracterizações reológicas e texturais.

| <b>Amido(%)<br/>(m/m)</b> | <b>Sacarose (%)<br/>(m/m)</b> | <b>Concentrado<br/>Protéico (%)<br/>(m/m)</b> |
|---------------------------|-------------------------------|---|
| 10                        | 0                             | 0   |
|                           | 1                             | 4   |
|                           | 2                             | 3   |
|                           | 3                             | 2   |
|                           | 4                             | 1   |
| 12                        | 0                             | 0   |
|                           | 1                             | 4   |
|                           | 2                             | 3   |
|                           | 3                             | 2   |
|                           | 4                             | 1   |

Tabela 3. Formulações dos géis adicionados de concentrado protéico ou sacarose utilizados nas caracterizações texturais.

| <b>Amido (%)<br/>(m/m)</b> | <b>Sacarose ou Concentrado<br/>Protéico (%) (m/m)</b> |
|----------------------------|---|
| 10                         | 1   |
|                            | 2   |
|                            | 3   |
|                            | 4   |
| 12                         | 1   |
|                            | 2   |
|                            | 3   |
|                            | 4   |

#### 4.6 Caracterização reológica dos géis

As medidas das deformações reológicas dos géis de amido de araruta foram realizadas por meio de ensaios dinâmicos em um reômetro de tensão controlada (Termo Scientific Haake Mars III), com a geometria de placas planas paralelas.

Foram preparadas 50 g de cada amostra de acordo com a Tabela 2, que depois de homogeneizadas em agitador magnético foram gelatinizadas em um banho ultratermostático microprocessado com circulação (Quimis, modelo Q214M) a 80 °C por 5 minutos, sob agitação manual suave, de modo a evitar a formação de grumos durante a gelatinização da amostra.

Em tais ensaios, as varreduras de tensão, frequência e tempo foram realizadas a temperatura constante (30 °C), sendo tal temperatura controlada utilizando-se banho termostático.

#### **4.6.1 Espectros mecânicos**

As amostras de amido (Tabela 2) previamente gelatinizadas foram caracterizadas a partir da medição dos espectros mecânicos em um reômetro Termo Scientific Haake Mars III, com geometria de placas paralelas. Utilizou-se placa de aço inox lisa com 40 mm de diâmetro. O intervalo entre as placas (gap) foi de 0,1 mm. O volume de amostra utilizado foi de 0,5 mL. Antes de se iniciar a análise aguardou-se cerca de 4 minutos até que todo sistema entrasse em equilíbrio térmico.

Previamente às análises dos espectros mecânicos (módulos  $G'$  e  $G''$  em função da frequência) foi realizada uma varredura de tensão na faixa de 0,01 a 10 Pa a frequência constante de 1,0 Hz e temperatura de 30°C com o objetivo de determinar a região viscoelástica das suspensões de amido. A região viscoelástica é a região onde a estrutura do gel é preservada, ou seja, os módulos de armazenamento ou elástico ( $G'$ ) e de perda ou viscoso ( $G''$ ) são independentes da frequência (HAN et al. 2002).

Neste estudo, a região viscoelástica foi obtida sob tensão de 0,05 Pa para todas as amostras. Em seguida, realizaram-se os ensaios de varredura de frequência em deformação oscilatória de baixa amplitude, na faixa de 0,01 a 10 Hz na temperatura de 30 °C a 0,05 Pa.

#### **4.6.2 Varredura de tempo e temperatura**

Foi avaliada a estabilidade dos géis em função da temperatura e do tempo. A varredura de tempo foi realizada durante 15 minutos a uma temperatura de 30 °C, a 0,05 Pa e 1Hz e a varredura de temperatura da suspensão de amido adicionada de soluto foi realizada na faixa de 30 °C a 90 °C com taxa de aquecimento de 1,2 °C.min<sup>-1</sup> e frequência de 1Hz . Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

Para evitar o ressecamento da suspensão de amido durante a realização da análise foi aplicado óleo de silicone na superfície da amostra que ficou exposta ao meio externo.

#### **4.7 Análise da textura dos géis por penetração**

As medidas para obtenção da firmeza dos géis foram realizadas em texturômetro *Stable Micro systems Texture Analyser*, modelo *TA – HD plus*, a 25 °C, e os dados adquiridos por meio do *software* Exponent, no Laboratório de Ensaio de Materiais – LABEM da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, campus de Itapetinga, utilizando sonda (probe) de Delrin (P/0,5R). A sonda foi inserida em um recipiente de 50 mL contendo a amostra. As amostras foram preparadas de acordo com as Tabelas 2 e 3, sendo cobertas com filme plástico para evitar perda de umidade e armazenadas a 4 °C por 24 horas antes da análise para que ocorresse o processo de retrogradação. As velocidades do pré-teste, teste e pós-teste foram de 2,0 mm.s<sup>-1</sup> com a distância de penetração da amostra de 15 mm, tais parâmetros foram definidos com base no trabalho de Sanches (2010). As amostras foram colocadas na base inferior do equipamento e a parte superior contendo a sonda foi acionada para execução da análise. O aparelho foi programado para medir de forma direta a firmeza dos géis sendo esta medida expressa em Newtons (N).

##### **4.7.1 Análise estatística**

Os resultados obtidos na análise de textura foram submetidos análise de variância (ANOVA) e testado o efeito da interação entre as diferentes porcentagens de amido com o concentrado protéico, amido com a sacarose, os três componentes juntos e o amido puro. As médias dos dados qualitativos (efeito da % amido) comparadas pelo teste F e os quantitativos (efeito da % concentrado protéico e % sacarose) por análise de regressão, a 5% de probabilidade. Para realização das análises estatísticas foi utilizado o Sistema para Análises Estatísticas (SAEG). No presente trabalho todas as análises foram realizadas em triplicata e com repetição.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização química do amido de araruta

A partir dos resultados obtidos na caracterização dos amidos de araruta (Tabela 4) verificou-se que o teor de umidade e o teor de cinzas para as duas variedades encontram-se de acordo com o estudo feito por Ferrari e Leonel (2005), que encontraram um teor de umidade de 10,49 % e 9,85 % e teor de cinzas de 0,21 % e 0,18 % para amidos de araruta obtidos de rizomas de plantas com 12 e 14 meses respectivamente.

Tanto o amido de araruta da variedade comum quanto o da variedade ovo de pata apresentaram teores de lipídeos < 0,1%, que é uma característica desejável para o amido, uma vez que um elevado teor de lipídeos pode complexar com a amilose, formando uma estrutura rígida, que restringe a expansão dos grânulos de amido durante o processo de cocção (HASJIM et al., 2010).

Tabela 4. Caracterização química dos amidos de araruta das variedades comum e ovo de pata.

| Análises         | Variedades |            |
|------------------|------------|------------|
|                  | Comum      | O.Pata     |
| Umidade* (%)     | 10,9±0,07  | 10,2±0,06  |
| Cinzas* (%)      | 0,22±0,00  | 0,14±0,01  |
| Proteína* (%)    | 0,41±0,00  | 0,27±0,00  |
| Lipídeos (%)     | < 0,1      | < 0,1      |
| Acidez (%)       | 0,042±0,00 | 0,027±0,00 |
| pH               | 7,3±0,07   | 6,8±0,12   |
| Carboidratos (%) | 88,46±0,08 | 89,38±0,02 |
| Amilose (%)      | 17,8±1,65  | 35,96±0,73 |

\*Resultados expressos em base úmida.

Os valores do teor de proteína para as duas variedades foram baixos, teores elevados de proteína influenciariam no processo de gelatinização do amido, pois competiriam junto com o amido pela água.

A soma dos teores de lipídeos, cinzas e proteína menores do que 1% são desejáveis e estão relacionadas ao grau de eficiência do processo de extração.

Em muitos trabalhos é relatado que a viscosidade da pasta de amido decresce na presença de ácidos (VALLÉS-PÀMIÉS et al., 1997; SRIBURI et al., 1999; SRIBURI e HILL, 2000). O amido de araruta apresentou baixos teores de acidez sugerindo que sua adição em formulações de produtos alimentícios pode levar a um aumento da viscosidade do mesmo.

O pH têm relação com a natureza do amido nativo (aquele que não passou por nenhum tipo de modificação). A maioria dos amidos nativos apresentam pH próximo da neutralidade, o amido de araruta é um desses.

O teor de amilose presente no amido de araruta da variedade comum foi menor do que o amido da variedade ovo de pata. A amilose tem influencia direta no processo de retrogradação do amido, quanto maior o teor de amilose mais rápido ocorrerá o processo de retrogradação. As cadeias de amiloses por apresentarem estrutura linear encontram-se mais disponíveis para reassociar-se, como consequência ocorre maior perda de água (aumento da sinerese) no produto final (MUNHOZ et al., 2004). Os teores de amilose dos amidos das variedades comum e ovo de pata foram próximos àqueles encontrados em amidos de mandioca (17,00 %) (HERNÁNDEZ-MEDINA et al., 2008) e feijão verde – *Vigna radiata* (32,90 %) (LI e YEH, 2001), respectivamente.

## **5.2 Tamanho e formato dos grânulos**

A microscopia eletrônica de varredura fornece informações a respeito do tamanho e formato dos grânulos de amido. O tamanho dos grânulos de amido pode variar de 1-100  $\mu\text{m}$  e diferentes formas são encontradas, ambos dependentes da sua fonte botânica (COULTATE, 2004).

Através da microscopia eletrônica de varredura pode-se visualizar que os grânulos de amido tanto da variedade comum como da variedade ovo de pata apresentam formato oval e alguns alongados. Observaram-se grânulos com a superfície lisa e sem fissuras, demonstrando assim que os grânulos estão íntegros e não danificados (Figura 6).

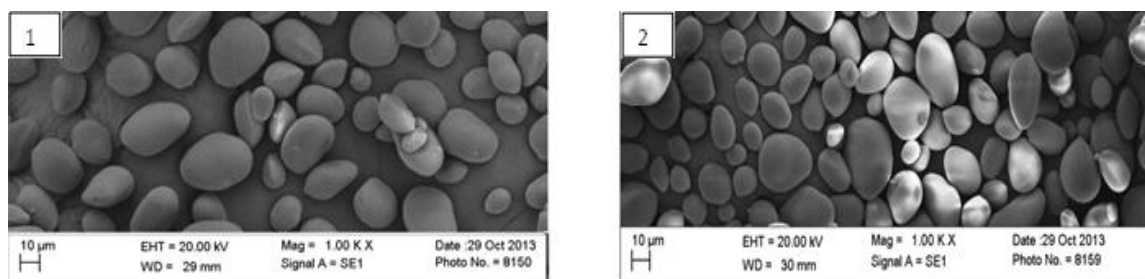
As dimensões médias dos grânulos foram 29  $\mu\text{m}$  de largura para os grânulos da variedade comum e 30  $\mu\text{m}$  de largura para os grânulos da variedade ovo de pata.

Leonel (2007) encontrou para o amido de araruta grânulos de diferentes tamanhos com predomínio de grânulos na faixa de 20 a 40  $\mu\text{m}$ , sendo assim, o tamanho encontrado no presente trabalho encontra-se dentro desta faixa. O tamanho e forma dos



grânulos variam com a espécie, enquanto que a distribuição de tamanho varia com estágio de desenvolvimento da planta e forma de tuberização (MATSUGUMA, 2006).

Figura 6. Microscopia eletrônica dos grânulos de amido da araruta das variedades comum (1) e ovo de pata (2)\*.



\* Foi considerado o diâmetro maior de cada grânulo.

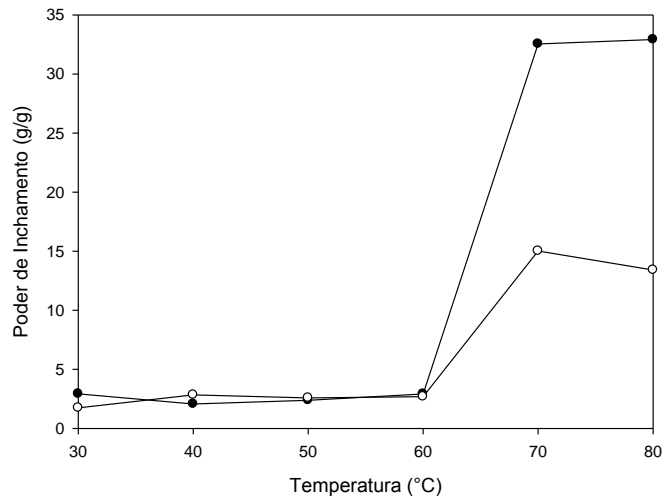
As propriedades tecnológicas do amido, responsáveis por características específicas de alguns alimentos podem ser, em parte, explicadas, pelas variações no tamanho de seus grânulos e sua distribuição no mesmo (PETERSON e FULCHER, 2001). O tamanho do grânulo afeta a composição do amido, as propriedades de pasta e gelatinização, características de panificação, cristalinidade e poder de inchamento (ANDO et al., 2002).

### 5.3 Poder de inchamento e índice de solubilidade do amido de araruta

O poder de inchamento das duas variedades estudadas começa a aumentar a partir de 60 °C concordando com o que foi observado também para os amidos de mandioca, araruta e batata-doce (LEACH et al., 1995; PERONI et al., 2006). Entre as temperaturas de 60°C e 70°C ocorreu um aumento do poder de inchamento para as duas variedades, sendo que para temperatura acima de 70 °C tal aumento foi mais sutil para variedade ovo de pata e com leve queda para o amido da variedade comum (Figura 7).

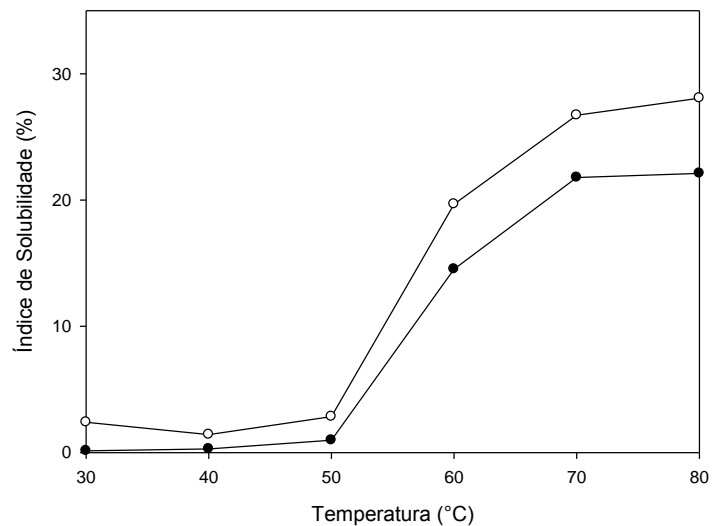
O poder de inchamento do amido da variedade comum (entre 2,06 g.g<sup>-1</sup> e 32,92 g.g<sup>-1</sup>) foi superior ao da variedade ovo de pata (entre 1,74 g.g<sup>-1</sup> e 15,02 g.g<sup>-1</sup>) até a temperatura estudada. Este comportamento pode ser explicado devido ao teor de amilose no amido da variedade ovo de pata apresentar-se maior do que o da variedade comum, o que limita o inchamento do grânulo, aumentando a sua resistência através de forças associativas mais fortes que mantem a estrutura dos grânulos (PERONI et al., 2006).

Figura 7. Poder de inchamento dos amidos de araruta das variedades comum (●) e ovo de pata (○).



O índice de solubilidade das variedades de amido de araruta (Figura 8) aumentou com o aumento da temperatura, apresentando comportamento semelhante ao observado por Oliveira et al. (2009). As suspensões de amido de araruta da variedade ovo de pata aquecidas a temperaturas de 60 °C até 80 °C apresentaram maior solubilidade (entre 2,41% e 28,06%) em relação ao amido da variedade comum (entre 0,15% e 22,11%). Isso ocorre devido a solubilidade ser consequência da lixiviação da amilose. Como o amido de araruta da variedade ovo de pata apresentou maior teor de amilose, do que o da variedade comum, sua solubilidade foi maior.

Figura 8. Índice de solubilidade dos amidos de araruta das variedades comum (●) e ovo de pata (○).



#### 5.4. Textura

Nos ensaios de textura foram avaliadas separadamente as formulações de amido/sacarose, amido/concentrado protéico e amido/sacarose/concentrado protéico para as concentrações de 10 % e 12% de amido de cada variedade (Figuras 9 e 10), de acordo com o apresentado nas Tabelas 2 e 3.

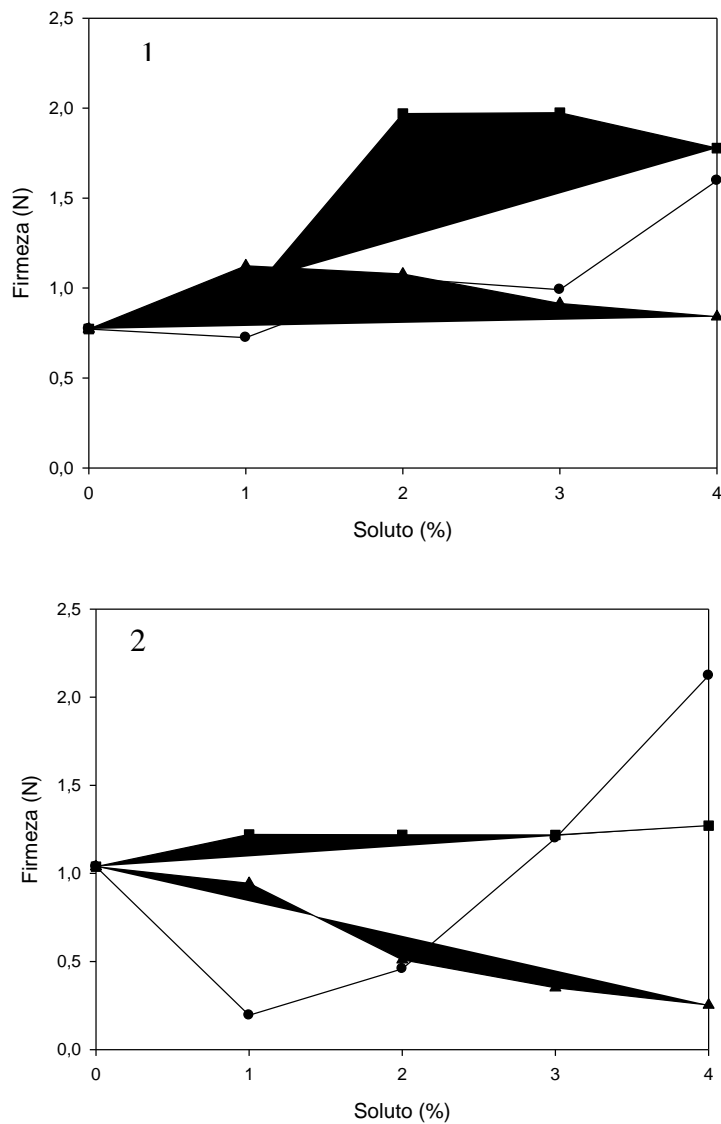
Através da análise estatística verificou-se que para as formulações amido/sacarose/concentrado protéico houve efeito quadrático ( $P < 0,01$ ) sobre a firmeza dos géis em função do aumento dos níveis de sacarose e redução do concentrado. O mesmo efeito foi observado para a formulação amido/sacarose com o aumento da concentração de sacarose. Ao se analisar o efeito isolado da adição de concentrado protéico observou-se que houve efeito quadrático ( $P < 0,01$ ) sobre a firmeza dos géis da variedade comum em função do aumento dos níveis de concentrado protéico, enquanto que nas formulações com amido da variedade ovo de pata houve efeito linear decrescente sobre a firmeza dos géis em função do aumento dos níveis de concentrado protéico.

Ao analisar as o comportamento dos géis com 10 % de amido (Figura 9) verifica-se que nas formulações com amido/sacarose com o aumento do teor de sacarose ocorreu aumento da firmeza dos géis com amido da variedade comum até 2% permanecendo inalterada até 3% e com uma leve queda para 4% de sacarose, tal queda pode ter ocorrido devido a menor disponibilidade de água impedindo o intumescimento dos grânulos de amido, desta forma houve menor liberação de amilose no meio e conseqüentemente menor interação amilose-sacarose, levando a redução da firmeza. Já os géis formulados com a variedade ovo de pata apresentaram aumento da firmeza para todas as concentrações de sacarose estudadas. Os géis das duas variedades formulados apenas com amido apresentaram menor firmeza quando comparados com os géis de amido/sacarose.

Os géis formulados com amido e proteína apresentaram-se opacos. De acordo com Damodaram (2010) géis formulados com proteína costumam ser fracos e propensos a sinerese. Tal afirmação explica o fato de com o aumento do teor de concentrado protéico ter havido redução da firmeza dos géis, devido maior formação de géis de proteína (Figura 9). Nas formulações com amido da variedade comum ocorreu aumento da firmeza de 0 % para 1% de concentrado havendo redução da firmeza para

as demais formulações, as formulações com 0% e 4% de concentrado apresentaram praticamente a mesma firmeza.

Figura 9. Firmeza dos géis formulados com 10% de amido de araruta das variedades comum (1) e ovo de pata (2) adicionados de sacarose e concentrado protéico do soro do leite (■: amido/sacarose ▲: amido/concentrado protéico ●: amido/sacarose/concentrado protéico).



Nas formulações com amido/sacarose/concentrado protéico verifica-se que para variedade comum houve uma queda da firmeza na formulação com 2% de sacarose e 3% de concentrado protéico o que foi favorecido pelo maior teor de concentrado protéico, para as demais concentrações ocorreu aumento da firmeza dos géis. Nas

formulações com a variedade ovo de pata ocorreu redução da firmeza de 0% para 1%, havendo aumento da firmeza para as demais formulações, chegando a ser um pouco superior ao valor da mesma para o gel com os mesmos níveis de sacarose e concentrado protéico e 10 % de amido da variedade comum.

Para os géis com 12% de amido (Figura 10) observa-se que para as formulações amido/sacarose os géis com a variedade comum apresentaram aumento da firmeza com o aumento da concentração de sacarose, sendo tais valores superiores à formulação com 10% de amido. Nas formulações com a variedade ovo de pata houve redução da firmeza até a concentração de 2% de sacarose havendo aumento da mesma para as demais formulações, sendo sempre inferior ao valor do gel puro e de tal formulação com 10% de amido.

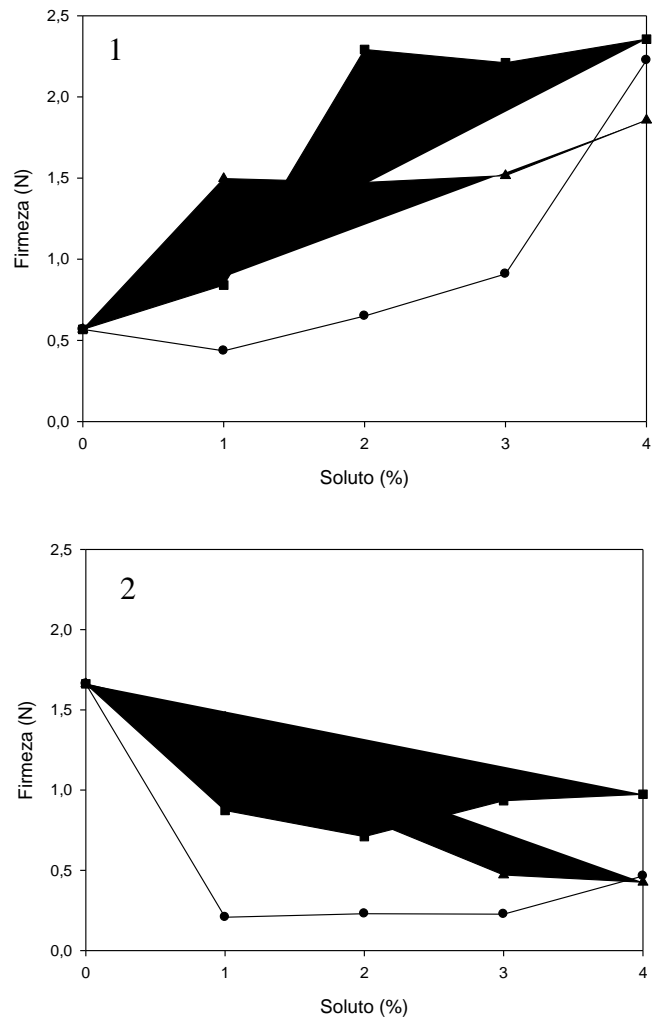
Os géis contendo amido da variedade comum e concentrado protéico apresentaram aumento da firmeza com o aumento da concentração de proteína, chegando a ser maior que tal formulação com 10% de amido, ou seja, a maior concentração de amido supera o efeito inibidor do concentrado protéico devido a maior disponibilidade de amilose, enquanto que as formulações com amido da variedade ovo de pata apresentaram comportamento contrário. O que pode ter ocorrido devido ao maior teor de amilose da variedade ovo de pata. Quanto maior o teor de amilose menor a disponibilidade de água no meio, sendo favorecida a interação proteína-proteínas que leva a formação de géis menos firmes, o que pode ser verificado nas formulações com o amido da variedade ovo de pata. Nas formulações com amido da variedade comum como o teor de amilose é menor, esta conseguiu interagir com a água assim como a proteína, sendo a quantidade de interações proteína-proteína menor o que levou ao aumento da firmeza dos géis.

Nas formulações amido/sacarose/concentrado protéico para variedade comum ocorre a redução da firmeza dos géis de 0 % para 1% de sacarose e 4% de concentrado, o que pode ser explicado devido ao maior teor de concentrado, nas demais formulações houve aumento da firmeza com o aumento do nível de sacarose, chegando a ser um pouco superior a tal formulação com 10% de amido. Na formulação com a variedade ovo de pata houve redução da firmeza de 0% para 1% seguido de estabilidade e leve aumento para 4%, pode-se verificar que a firmeza apresentou-se inferior a formulação com amido/sacarose e inferior a tal formulação com 10% de amido.

De acordo com Ahmad e William (1999) as moléculas de açúcar com grupos hidroxila equatorial se associam com as moléculas de amilose impedindo assim a

interação amilose-amilose o que favorece a géis mais rígidos. Isso explica o fato de com o aumento do teor de sacarose haver aumento da firmeza dos géis.

Figura 10. Firmeza dos géis formulados com 12% de amido de araruta das variedades comum (1) e ovo de pata (2) adicionados de sacarose e concentrado protéico do soro do leite (■: amido/sacarose ▲: amido/concentrado protéico ●: amido/sacarose/concentrado protéico)



## 5.5 Reologia

### 5.5.1 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 verdadeiros ou elásticos e o comportamento contrário  $G' < G''$  os caracteriza como géis viscosos.

Para a varredura de frequência dos géis, observou-se uma dependência muito pequena dos valores de  $G'$  com o aumento da frequência, ao mesmo tempo em que os valores de  $G'$  foram sempre maiores do que  $G''$ . 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), curvas similares são apresentadas por Núñez-Santiago, Bello-Pérez e Tecante (2004) para amido de banana verde.

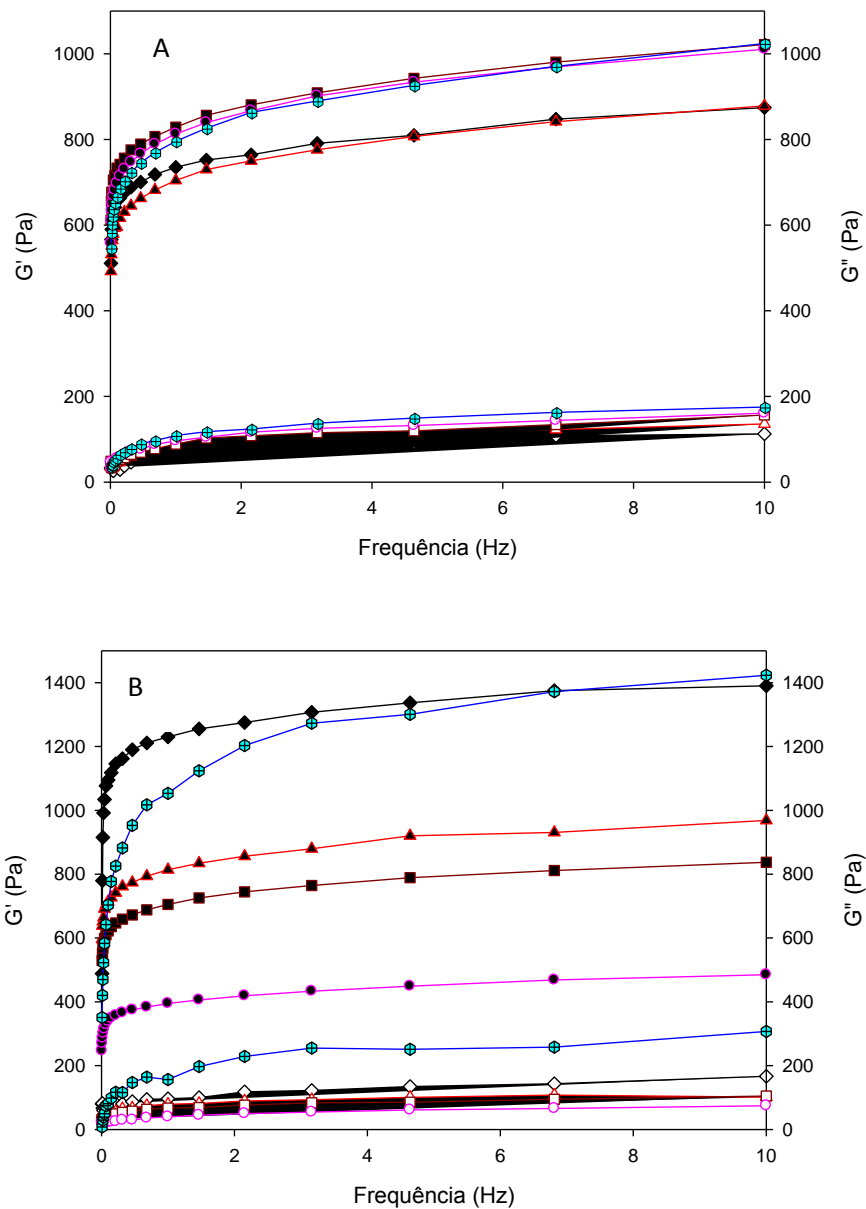
Pode-se verificar que com o aumento da concentração de amido de 10% para 12% houve um aumento nas características elásticas dos géis (Figura 11 e 12). Tendência semelhante ao encontrado, foi também observado por Pereira et al. (2005), Chun e Yoo (2006), Cui et al. (1995) e Kim e Yoo (2006), o que pode ser explicado, pois com o aumento da concentração de amido ocorre redução da disponibilidade de água no meio, desta forma os grânulos não conseguem intumescer o suficiente tornando-se mais rígidos e mais elásticos.

Os géis formulados com o amido da variedade ovo de pata sem adição de sacarose e concentrado protéico apresentaram maior elasticidade do que os géis formulados com essa mesma variedade de amido adicionados de tais componentes, o que pode ser explicado devido ao fato de tal amido apresentar menor poder de inchamento e maior teor de amilose. Os géis formulados apenas com amido da variedade comum apresentaram comportamento contrário o que foi favorecido devido ao maior poder de inchamento de tal amido e menor teor de amilose.

Pode-se observar que as concentrações de sacarose e concentrado protéico estudados tiveram maior influência sobre os géis formulados com o amido da variedade ovo de pata, o que se deve a sua maior concentração de amilose.

Houve redução na elasticidade dos géis formulados com 10% de amido da variedade ovo de pata com níveis de sacarose de 1%, 2% e 3% e níveis de concentrado proteico de 4%, 3% e 2% respectivamente, tal comportamento poder ter ocorrido devido a maior formação de géis de proteína. Na formulação com 4% de sacarose e 1% de proteína a sacarose teve efeito estabilizador ligando-se com as moléculas de amilose o que favoreceu ao aumento da elasticidade, o que também pode ser observado na formulação com 12% de amido e essas mesmas concentrações de sacarose e concentrado proteico.

Figura 11. Efeito da adição de concentrado protéico e sacarose ( $G' \blacklozenge$  e  $G'' \blacklozenge$ : 0% sacarose e 0% concentrado protéico;  $G' \blacktriangle$  e  $G'' \blacktriangle$ : 1% sacarose e 4% concentrado protéico;  $G' \blacksquare$  e  $G'' \square$ : 2% sacarose e 3% concentrado protéico;  $G' \bullet$  e  $G'' \circ$ : 3% sacarose e 2% concentrado protéico;  $G' \oplus$  e  $G'' \oplus$ : 4% sacarose e 1% concentrado protéico) nas propriedades reológicas dinâmicas dos géis com 10% de amido de araruta das variedades comum (A) e ovo de pata (B) durante a varredura de frequência.

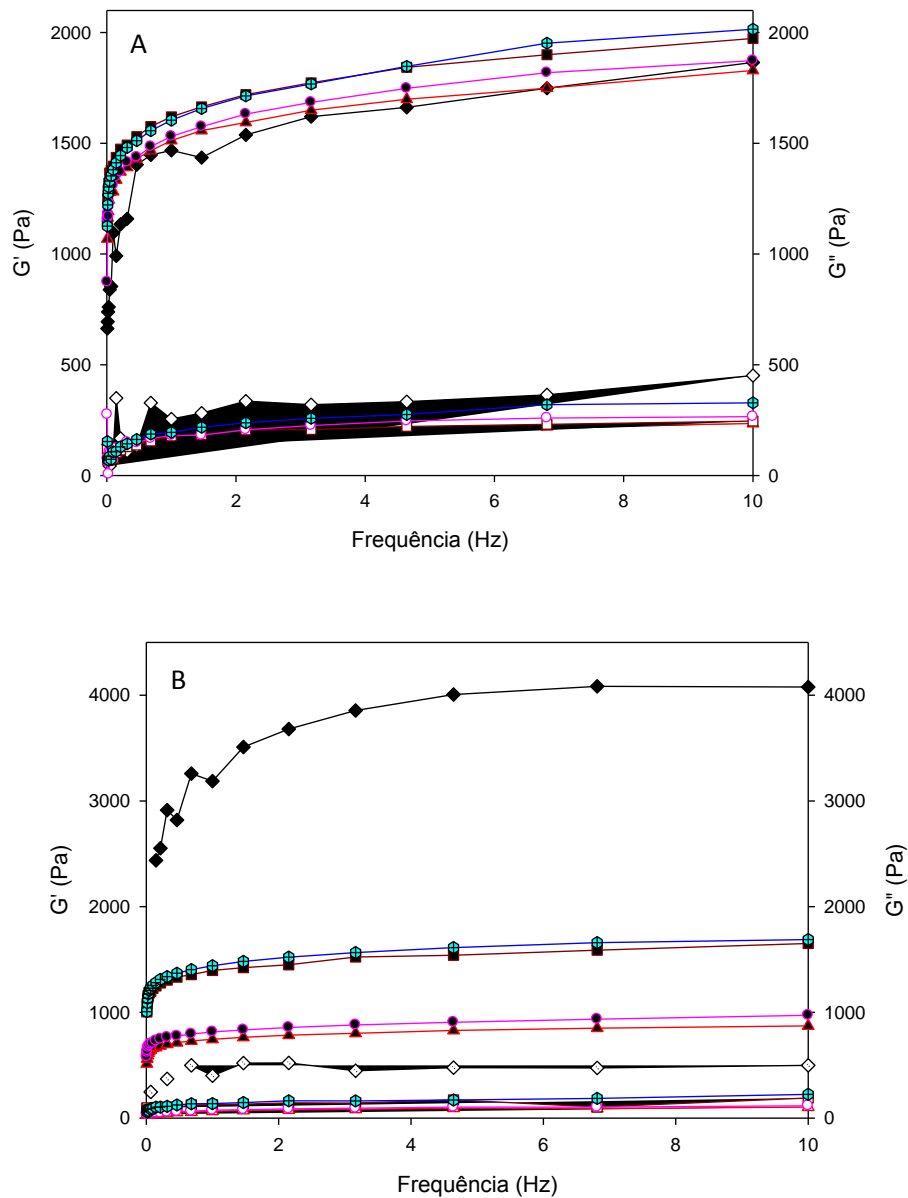


À medida que a concentração de sacarose aumentava e o concentrado protéico diminuía houve um pequeno aumento da estrutura elástica ( $G'$ ) nos géis formulados com amido da variedade comum. Este fato pode ser explicado devido à sacarose ter



contribuído para a redução do intumescimento dos grânulos tornando-os mais rígidos e mais elásticos.

Figura 12. Efeito da adição de proteína e sacarose ( $G'$   $\blacklozenge$  e  $G''$   $\diamond$ : 0% sacarose e 0% concentrado protéico;  $G'$   $\blacktriangle$  e  $G''$   $\triangle$ : 1% sacarose e 4% concentrado protéico;  $G'$   $\blacksquare$  e  $G''$   $\square$ : 2% sacarose e 3% concentrado protéico;  $G'$   $\bullet$  e  $G''$   $\circ$ : 3% sacarose e 2% concentrado protéico;  $G'$   $\oplus$  e  $G''$   $\ominus$ : 4% sacarose e 1% concentrado protéico) nas propriedades reológicas dinâmicas dos géis com 12% de amido de araruta das variedades comum (A) e ovo de pata (B) durante a varredura de frequência.



Aguilera e Rojas (1996) relataram que com o aumento da concentração de amido ocorre redução do módulo elástico dos géis formulados com amido-isolado proteico de soro de leite devido à formação de uma matriz fraca com regiões de proteína dispersas.

A tangente de perda ou fricção interna ou amortecimento ( $\tan \delta$ ) é a razão entre a energia perdida por ciclo e a energia armazenada durante o ciclo. Esta relação é muito útil na caracterização da força do gel. Assim, materiais mais rígidos irão apresentar valores de  $\tan \delta$  menores e, do mesmo modo, materiais mais flexíveis irão apresentar valores de  $\tan \delta$  maiores. Os géis apresentam comportamento viscoelástico, com valores de  $\tan \delta$  que variam entre 0,001 e 3 (CANEVAROLO, 2003), tal comportamento foi verificado em todos os géis estudados.

Observa-se uma redução nos valores da tangente de perda com o aumento dos níveis de sacarose para todos os géis com 12% de amido (Figuras 13 e 14), concordando assim com os dados referentes à varredura de frequência. Os géis formulados com 1% e 2% de sacarose apresentaram diferença insignificante. Os géis formulados apenas com 12% de amido apresentaram-se mais flexíveis do que os demais, o que pode ser explicado devido ao aumento da concentração reduzir a disponibilidade de água e em consequência disso não houve intumescimento o suficiente dos grânulos de amido.

Como observado nos ensaios de textura (Figuras 9) os géis formulados com 10% são mais firmes e mais rígidos.

Os diferentes níveis de sacarose e proteína influenciaram na viscosidade complexa dos géis estudados, sendo que a formulação com 4% de sacarose e 1% de proteína apresentou-se mais viscosas do que as demais formulações também adicionadas de tais componentes (Figuras 15 e 16).

A viscosidade complexa diminuiu com o aumento da frequência para todos os géis estudados. Assim, fica evidente um comportamento pseudoplástico dos géis, o que também foi observado por Guimarães et. al., 2003. Os géis pseudoplásticos 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. Com o aumento da taxa de cisalhamento, ocorreu à desagregação dessa rede e consequentemente a viscosidade reduziu.

Figura 13. Curvas de  $\tan(\delta)$  em função da frequência (Hz) ( $\blacklozenge$ : 0% sacarose e 0% concentrado protéico;  $\blacktriangle$ : 1% sacarose e 4% concentrado protéico;  $\blacksquare$ : 2% sacarose e 3% concentrado protéico;  $\bullet$ : 3% sacarose e 2% concentrado protéico;  $\oplus$ : 4% sacarose e 1% concentrado protéico) nas propriedades reológicas dinâmicas dos géis com 10% de amido de araruta das variedades comum (A) e ovo de pata (B) durante a varredura de frequência.

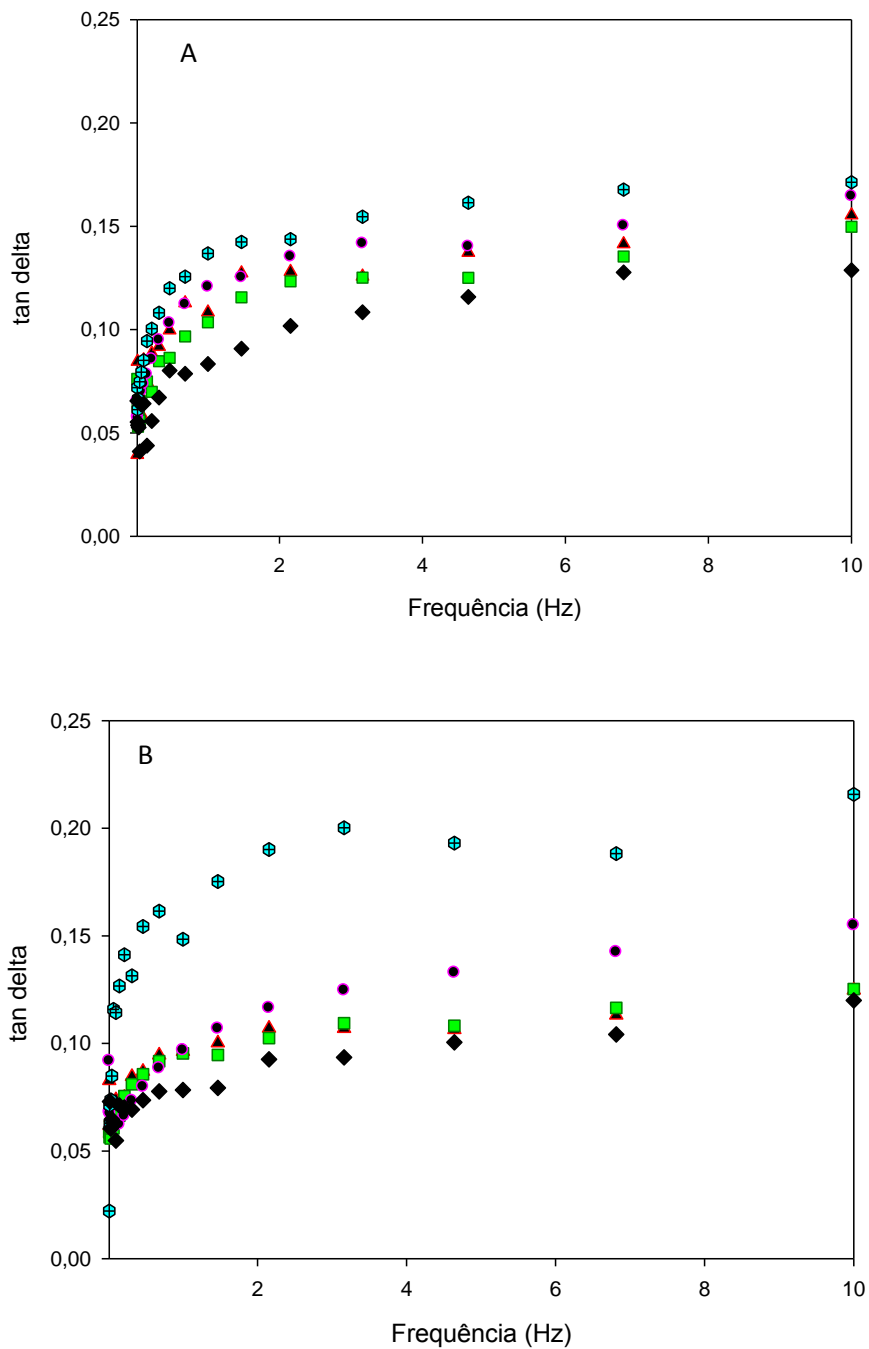


Figura 14. Curvas de  $\tan(\delta)$  em função da frequência (Hz) ( $\blacklozenge$ : 0% sacarose e 0% concentrado protéico;  $\blacktriangle$ : 1% sacarose e 4% concentrado protéico;  $\blacksquare$ : 2% sacarose e 3% concentrado protéico;  $\bullet$ : 3% sacarose e 2% concentrado protéico;  $\oplus$ : 4% sacarose e 1% concentrado protéico) nas propriedades reológicas dinâmicas dos géis com 12% de amido de araruta das variedades comum (A) e ovo de pata (B) durante a varredura de frequência.

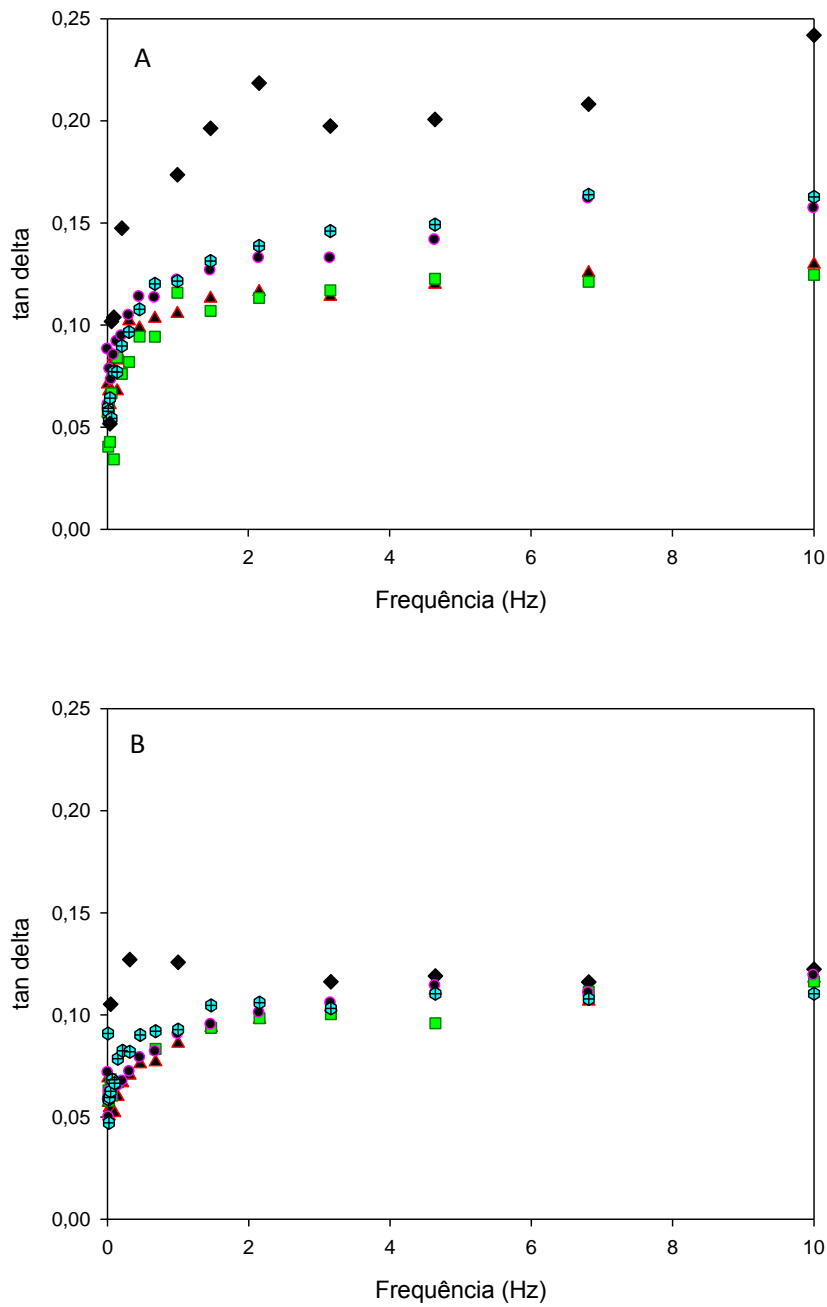


Figura 15. Curvas de viscosidade dinâmica complexa ( $\eta^*$ ) em função da frequência (Hz) ( $\blacklozenge$ : 0% sacarose e 0% concentrado protéico;  $\blacktriangle$ : 1% sacarose e 4% concentrado protéico;  $\blacksquare$ : 2% sacarose e 3% concentrado protéico;  $\bullet$ : 3% sacarose e 2% concentrado protéico;  $\times$ : 4% sacarose e 1% concentrado protéico) nas propriedades reológicas dinâmicas dos géis com 10% de amido de araruta das variedades comum (A) e ovo de pata (B) durante a varredura de frequência.

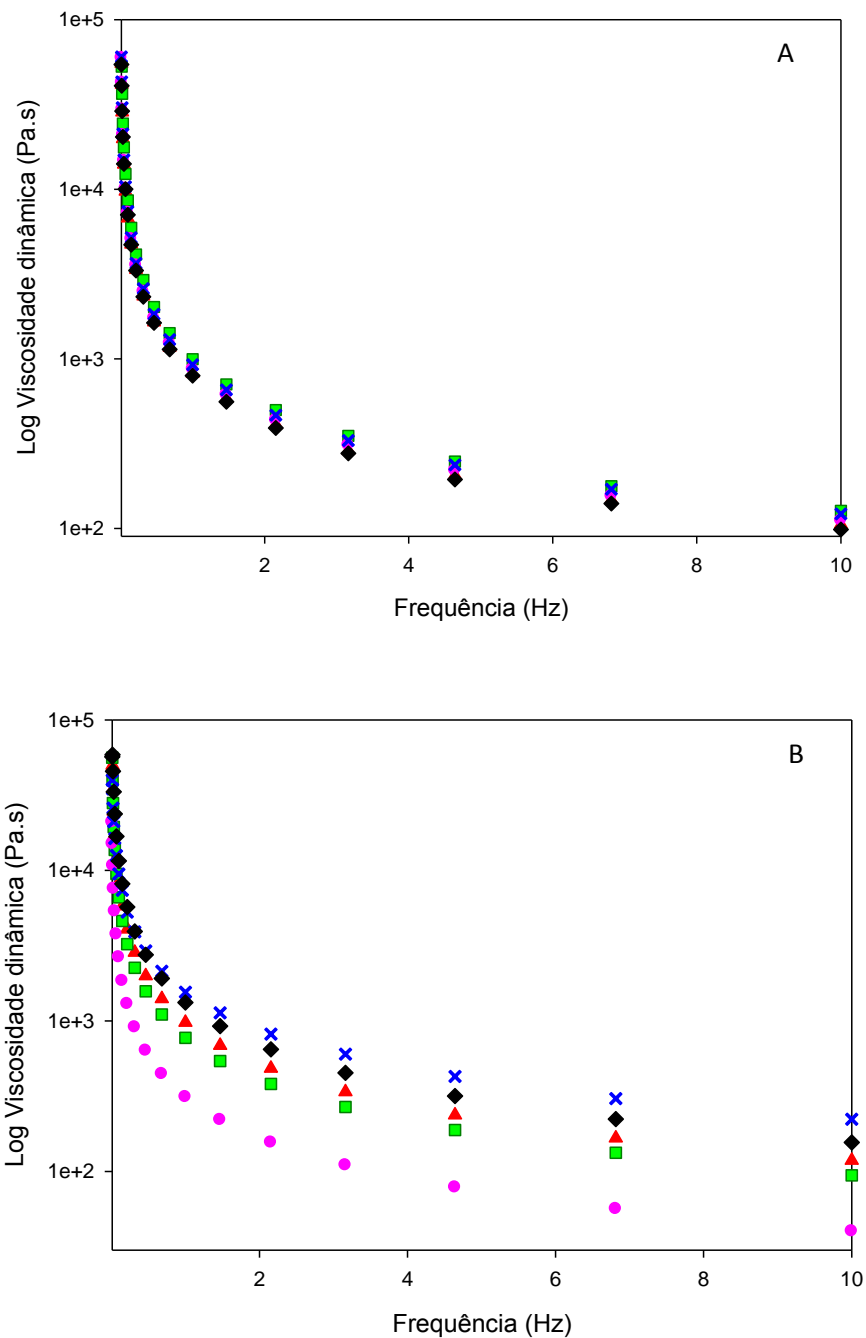
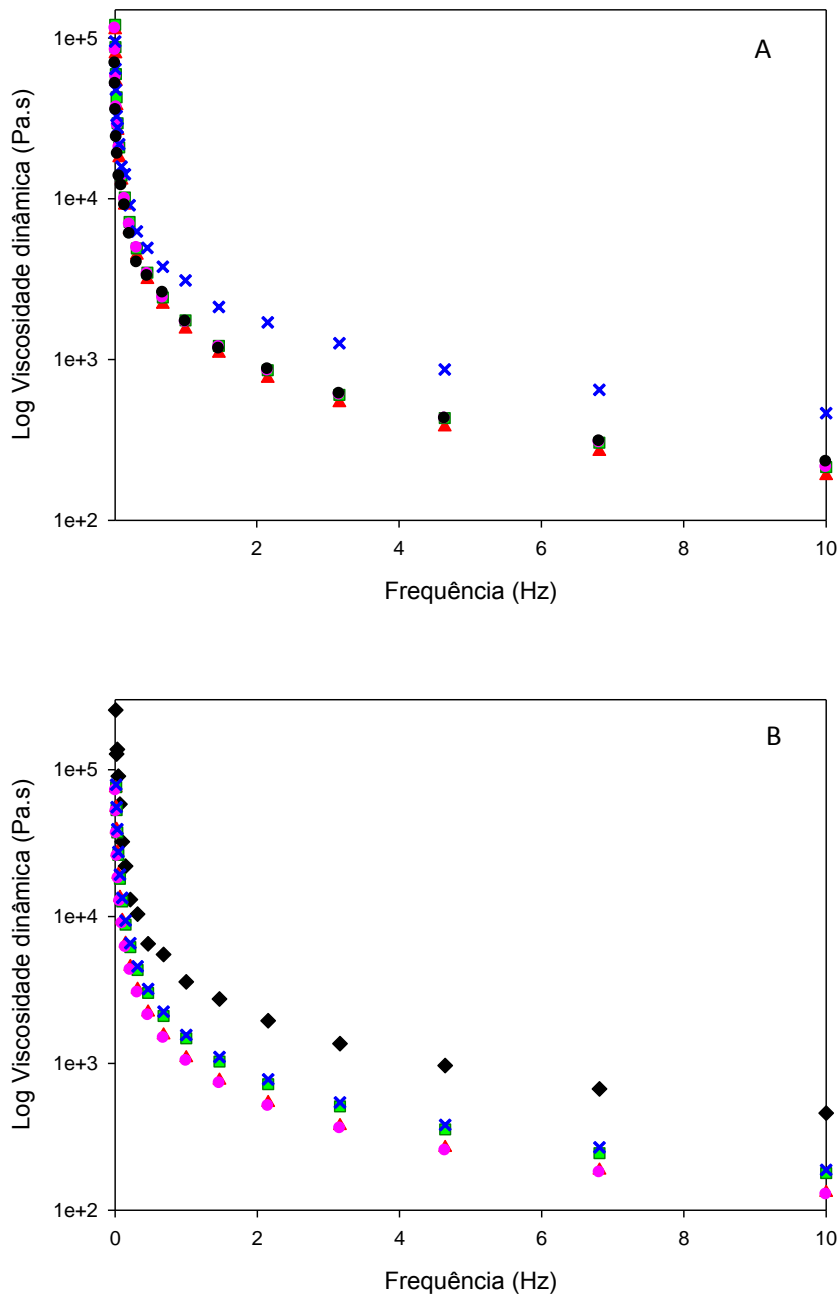


Figura 16. Curvas de viscosidade dinâmica complexa ( $\eta^*$ ) em função da frequência (Hz) ( $\blacklozenge$ : 0% sacarose e 0% concentrado protéico;  $\blacktriangle$ : 1% sacarose e 4% concentrado protéico;  $\blacksquare$ : 2% sacarose e 3% concentrado protéico;  $\bullet$ : 3% sacarose e 2% concentrado protéico;  $\times$ : 4% sacarose e 1% concentrado protéico) nas propriedades reológicas dinâmicas dos géis com 12% de amido de araruta das variedades comum (A) e ovo de pata (B) durante a varredura de frequência.



Os géis formulados com 10% e 12% da variedade ovo de pata, sem adição de sacarose e concentrado proteico apresentaram de acordo com o observado nas figuras 11 e 12 referentes à varredura de frequência, maior viscosidade dinâmica e consequentemente mais elásticos do que as demais formulações, sendo um indicativo que tal formulação ofereceu maior resistência às tensões de cisalhamento.

### **5.5.2 Varredura de Tempo**

Tanto para o gel preparado com o amido da variedade comum como o preparado com a variedade ovo de pata, a componente viscosa manteve-se constante durante todo o tempo enquanto que a componente elástica teve pequeno aumento, como pode ser verificado nas Figuras 17 e 18. Este efeito foi mais pronunciado para os géis formulados com o amido da variedade ovo de pata que alcançaram valores de  $G'$  maiores do que os géis da variedade comum sendo um indicativo de que os géis do amido ovo de pata tendem a retrogradar mais rapidamente do que os géis do amido comum. Isso se deve ao fato da amilose retrogradar mais rapidamente que a amilopectina, tendo forte tendência a reassociar-se por meio da formação de interações de hidrogênio com outras moléculas de amilose adjacentes, formando estruturas cristalinas de duplas hélices quando a solução esfria e se mantém por longo período de tempo (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006). Como consequência do processo de retrogradação ocorre perda de água pelos grânulos de amido e consequente sinerese. Sendo assim, em um processo de congelamento e descongelamento os géis formulados com o amido da variedade comum seriam mais estáveis do que o da variedade ovo de pata.

Os géis formulados com 10% de amido da variedade ovo de pata apresentaram aumento de  $G'$  com o aumento da concentração de sacarose, indicando que com o aumento do teor de sacarose menor a tendência ao processo de retrogradação. A sacarose pode ter interagido com as moléculas de água provocando a retenção da mesma nos géis, o que favoreceu a géis mais elásticos.

Para os géis formulados com 12% de amido pode-se observar que houve redução do módulo de armazenamento com o aumento da concentração de sacarose. Com o aumento da concentração de amido ocorre redução na disponibilidade de água no meio assim, os grânulos de amido não conseguiram intumescer o suficiente tornando-se mais rígidos e menos deformáveis.

Figura 17. Efeito da adição de proteína e sacarose ( $G'$  ◆ e  $G''$  ◇: 0% sacarose e 0% concentrado protéico;  $G'$  ▲ e  $G''$  △: 1% sacarose e 4% concentrado protéico;  $G'$  ■ e  $G''$  □: 2% sacarose e 3% concentrado protéico;  $G'$  ● e  $G''$  ○: 3% sacarose e 2% concentrado protéico;  $G'$  ⊕ e  $G''$  ⊖: 4% sacarose e 1% concentrado protéico) nas propriedades reológicas dinâmicas dos géis com 10% de amido de araruta da variedade comum (A) e ovo de pata (B) submetidos a 30°C por 15 minutos.

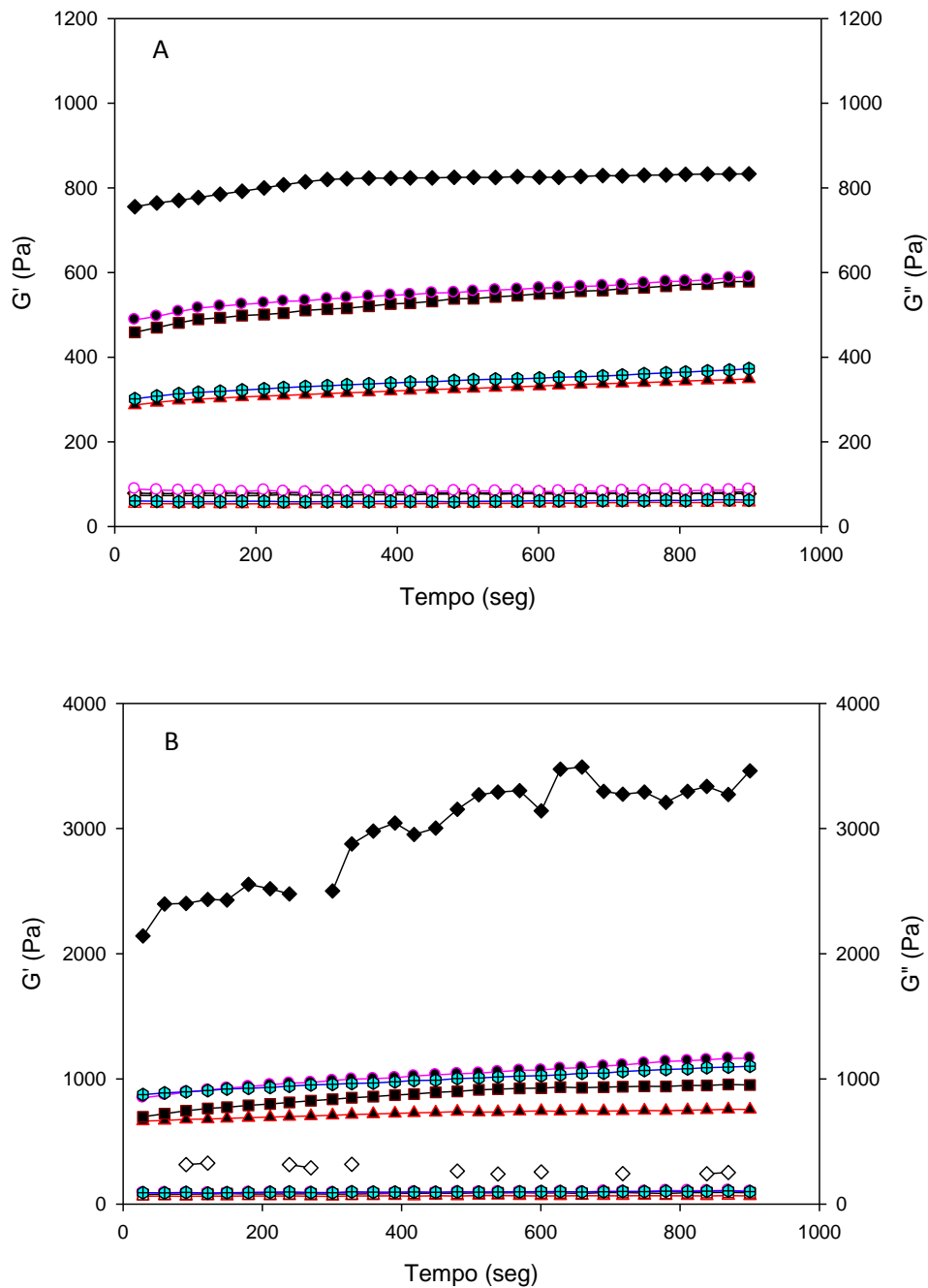
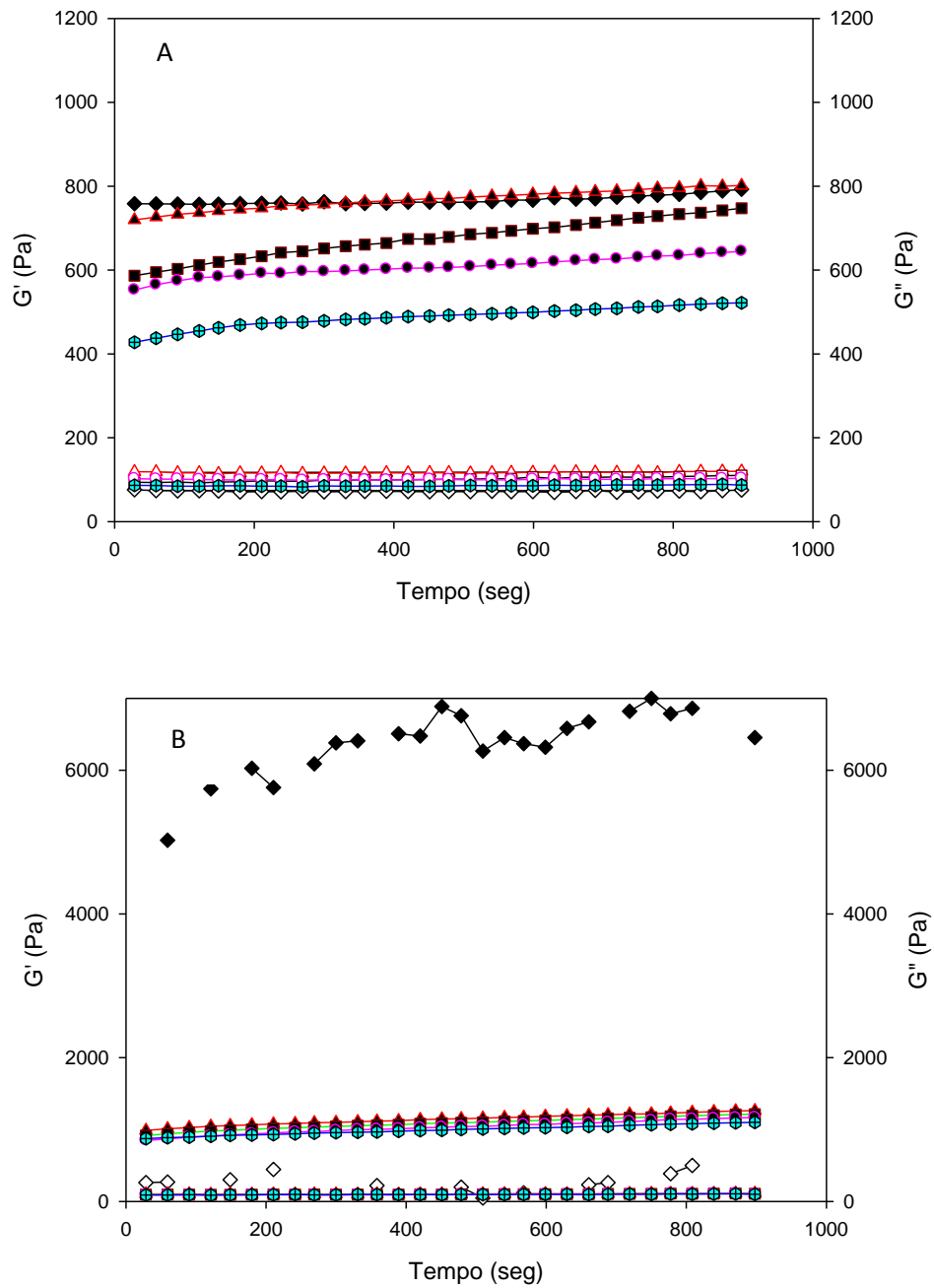




Figura 18. Efeito da adição de proteína e sacarose ( $G'$   $\blacklozenge$  e  $G''$   $\blacklozenge$ : 0% sacarose e 0% concentrado protéico;  $G'$   $\blacktriangle$  e  $G''$   $\blacktriangle$ : 1% sacarose e 4% concentrado protéico;  $G'$   $\blacksquare$  e  $G''$   $\square$ : 2% sacarose e 3% concentrado protéico;  $G'$   $\bullet$  e  $G''$   $\circ$ : 3% sacarose e 2% concentrado protéico;  $G'$   $\oplus$  e  $G''$   $\oplus$ : 4% sacarose e 1% concentrado protéico) nas propriedades reológicas dinâmicas dos géis com 12% de amido de araruta da variedade comum (A) e ovo de pata (B) submetidos a 30°C por 15 minutos.



### **5.5.3 Varredura de Temperatura**

A partir das Figuras 19 e 20, pode-se observar que os géis formulados com o amido da variedade ovo de pata apresentaram maior temperatura de gelatinização que os géis formulados com a variedade comum, tal fato pode ser explicado devido ao amido da variedade ovo de pata apresentar maior teor de amilose e como foi visto na análise do poder de inchamento, existem fortes forças associativas entre as cadeias de amilose e amilopectina em tal amido que favorecem ao aumento da temperatura necessária para que os grânulos de amido intumescam e conseqüentemente há aumento da temperatura de gelatinização, pois mais energia será necessária para que ocorra o rompimento das ligações intermoleculares para que o grânulo de amido interaja com a água, além disso, a presença da sacarose e proteína no meio reduz a disponibilidade de água, o que também favorece ao aumento da temperatura de gelatinização.

Figura 19. Efeito da adição de proteína e sacarose ( $G' \blacklozenge$ : 0% sacarose e 0% concentrado protéico;  $G' \blacktriangle$ : 1% sacarose e 4% concentrado protéico;  $G' \blacksquare$ : 2% sacarose e 3% concentrado protéico;  $G' \bullet$ : 3% sacarose e 2% concentrado protéico;  $G' \oplus$ : 4% sacarose e 1% concentrado protéico) nas propriedades reológicas dinâmicas dos géis com 10% de amido de araruta da variedade comum (A) e ovo de pata (B).

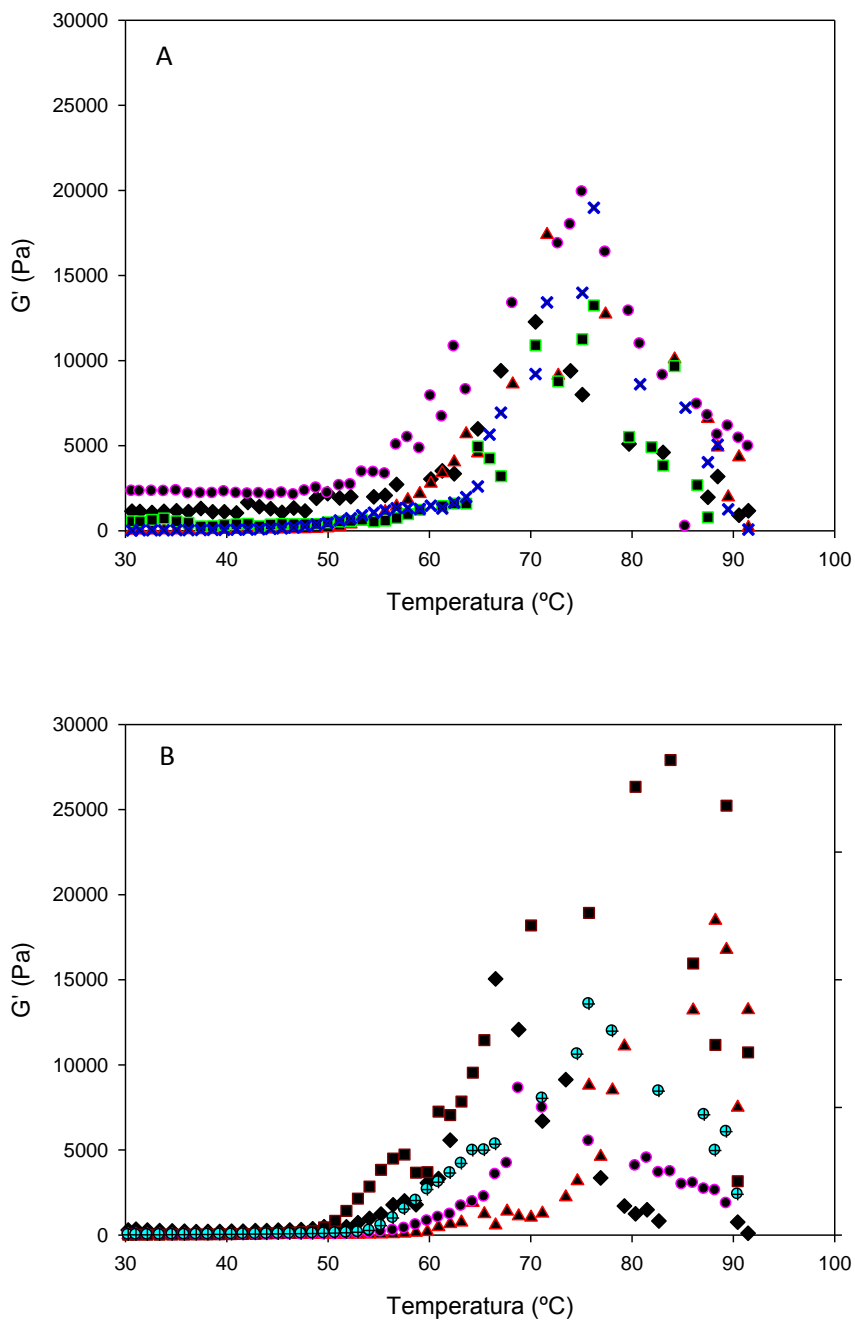
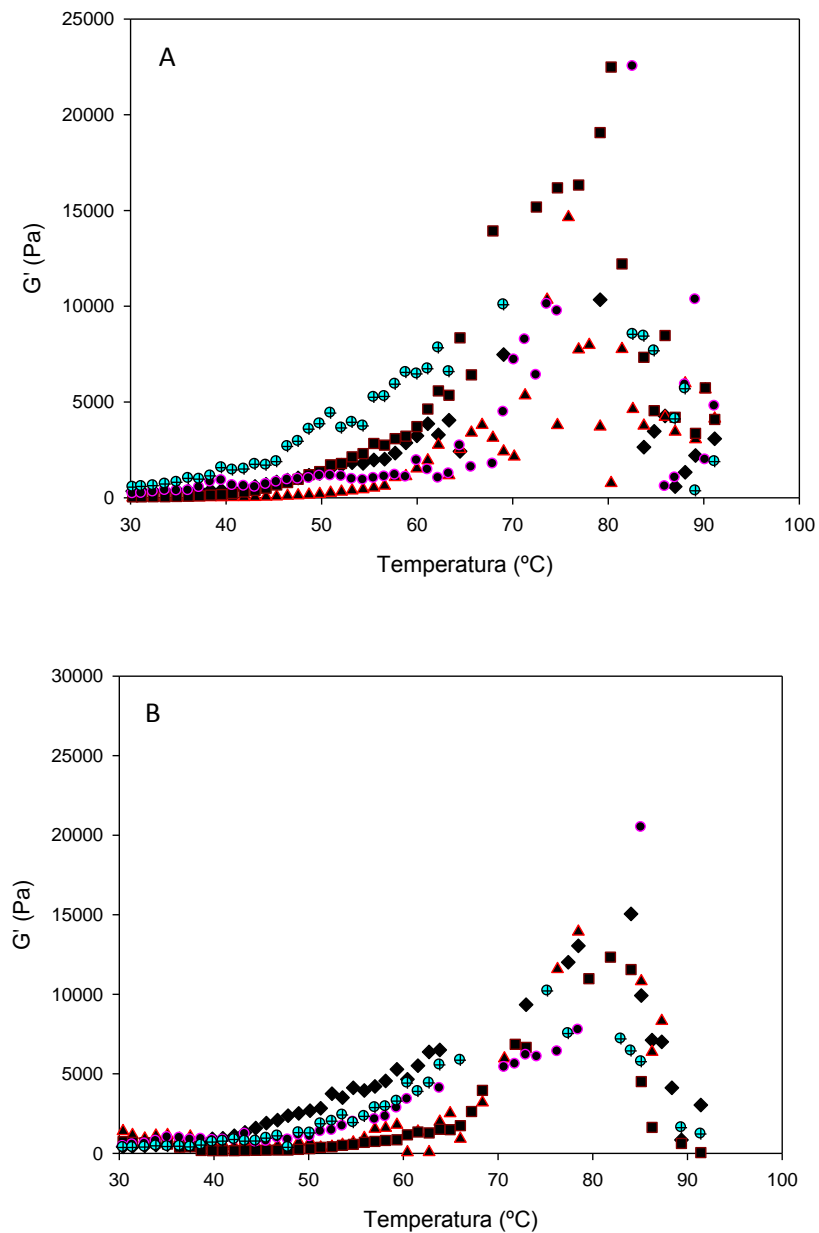


Figura 20. Efeito da adição de proteína e sacarose ( $G' \blacklozenge$  : 0% sacarose e 0% concentrado protéico;  $G' \blacktriangle$  : 1% sacarose e 4% concentrado protéico;  $G' \blacksquare$  : 2% sacarose e 3% concentrado protéico;  $G' \bullet$  : 3% sacarose e 2% concentrado protéico;  $G' \times$  : 4% sacarose e 1% concentrado protéico) nas propriedades reológicas dinâmicas dos géis com 12% de amido de araruta da variedade comum (A) e ovo de pata (B).



## 6. CONCLUSÃO

O amido de araruta da variedade comum pode ser indicado para elaboração de produtos de panificação, sobremesas, molhos para salada, conservas, etc., devido ao seu menor teor de amilose. Já o amido da variedade ovo de pata pode ser indicado para elaboração de produtos que necessitam ser crocantes e resistentes como salgadinhos.

A sacarose favoreceu ao aumento da firmeza dos géis estudados e o concentrado proteico favoreceu a redução da firmeza exceto nos géis formulados com 12% de amido da variedade comum.

O poder de inchamento dos géis da variedade comum foram maiores do que o da variedade ovo de pata e o índice de solubilidade dos géis do amido de araruta da variedade ovo de pata foram maiores do que da variedade comum.

No ensaio reológico dinâmico pode-se observar na varredura de frequência os géis se comportam mais como sólidos viscoelásticos ( $G' > G''$ ). Os géis formulados com 12% de amido apresentaram-se mais elásticos que os géis formulados com 10% de amido. Tanto nas formulações com 10% quanto com 12% de amido, a adição de 4% de sacarose e 1% de proteína proporcionou maior elasticidade nos géis.

Os géis formulados com o amido da variedade ovo de pata apresentaram maior temperatura de gelatinização que os géis formulados com a variedade comum, o que pode ter ocorrido devido ao alto teor de amilose o que dificultou o intumescimento do grânulo e dessa foi é requerido maior quantidade de energia para intumescer os mesmos com conseqüente aumento da temperatura de gelatinização.

## 7. REFERENCIAS

ABRAHAM, T. E.; SIMI, C. K. Physicochemical Rheological and Thermal Properties of Njavara Rice (*Oryza sativa*) Starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 3, n. 56, p. 12105–12113, 2008.

AGUILERA, J.M.; ROJAS, G.V. Rheological, thermal and microstructural properties of heat-induced whey protein/starch gels. *J. Food Sci.* v. 62, p. 1048–1053, 1996.

AHMAD, F. B.; WILLIAMS, P. A. Effect of sugars on the thermal and rheological properties of sago starch. *Biopolymers*, v. 50, p. 401–412, 1999.

ANDO, H.; TANG, H.; WATANABE, K. e MITSUNAGA, T. Some physicochemical properties of large, medium and small granule starches in fractions of wheat grain. *Food Science Technology Research*, v. 8, n. 1, p. 24-27, 2002.

AOAC INTERNATIONAL. Official methods of analysis. 16<sup>a</sup> ed., 3<sup>a</sup> rev. Gaithersburg: Published by AOAC International, v. 2, cap. 32, p.1-43, 1997.

BAKER, L.A.; RAYAS-DUARTE, P. Retrogradation of amaranth starch at different storage temperatures and the effects of salt and sugars. *Cereal Chemistry* v. 75, p. 308–314, 1998.

BARUFALDI, M. Araruta: a farinha esquecida pelos brasileiros. Disponível em: <http://www.diariodemarilia.com.br/Noticias/121533/Araruta-a-farinha-esquecida-pelos-brasileiros> Acessado 20/10/2013.

BELLO- PÉREZ, L.A.; MONTEALVO, M.G.M.; ACEVEDO, E.A. Almidón: definición, estructura y propiedades. In: LAJOLO, F>M>; MENEZES, E.W. *Carboidratos em alimentos regionales ibero-americano*. São Paulo: Edusp, p. 17-46, cap. 1, 2006.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Physiol.*, v. 37, p. 911-917, 1959.

BONTEMPO M. *Manual da medicina integral*. Editora best seller, 2<sup>a</sup> edição, 1994.

BOURNE, M. *Food texture and viscosity: concept and measurement*. New York: Academic Press, 2002.

BROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES. *More Solutions to Sticky Problems*, 1994.

BRUMMER, R. *Rheology essentials of cosmetic and food emulsions*. Berlin: Springer, 2006.

CANEVAROLO Jr, S. V. *Técnicas de Caracterização de Polímeros*. São Paulo: Artliber. ISBN: 85-88098-19-9, 2003.

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

CHUN, SO-YOUNG; YOO, B. Steady and dynamic shear rheological properties of sweet potato flour dispersios. *Eur. Food Res. Technol.*, v. 223, p. 313-319, 2006.

CONDE-PETIT, B. et al. Comparative characterization of aqueous starch dispersion by light microscopy, reometry and iodine binding behaviour. *Starch/Stärke*, v. 50, n. 5, p. 184-192, 1988.

COULTATE, T. P. *Alimentos: a química de seus componentes*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, p. 368, 2004.

CUI, W.; ESKIN, N.A.M.; BILIADERIS, C.G.; MAZZA, G. Synergistic interactions between yellow mustard polysaccharides and galactomannans. *Carbohydrate polymers*, v. 27, p. 123-127, 1995.

DAMODARAM, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. Química de alimentos, 4ª edição, 2010.

EBDA – Empresa baiana de Desenvolvimento Agrícola S.A. Disponível em: <http://www.ebda.ba.gov.br/ebda-resgata-a-cultura-da-araruta-em-cruz-das-almas/> Acessado em : 25/06/2013

ELIASSON, A.C. Carbohydrates in food. New York : Marcel Dekker, p. 561, 1996.

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

ESTELLER, M.S.; YOSHIMOTO, R.M.O.; AMARAL, R.L.; LANNES, S.C.S. Uso de Açúcares em Produtos de Panificação. Food Science and Technology, v. 24, n. 4, Campinas, Outubro/Dezembro, 2004.

FERRARI, T.B.; LEONEL, M. Características dos rizomas e do amido de araruta (maranta arundinacea) em diferentes estádios de desenvolvimento da planta. Brazilian Journal of Food and Technology, v. 8, p. 93-98, 2005.

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

FTC – Food Technology Corporation. Disponível em: <http://www.foodtechcorp.com/food-compression-testing.html> Acessado em: 13/10/2013.

GIBOREAU, A.; CUVELIER, G; LAUNAY, B. Rheological behaviour of three biopolymer/water systems, with emphasis on yield stress and viscoelastic properties. Journal of Texture Studies, v. 25, n. 2, p. 119-137, 1994.

GOULD, W.A. Tomato production: processing & technology. 3.ed. CTI publications, 1992.

GUIMARÃES M.J.O.C.; COUTINHO F.M.B.; ROCHA M.C.G.; BRETAS R.E.S.; FARAH M. Reologia de polietileno de alta densidade tenacificado com polietileno elastomérico. Polímeros, São Carlos, v. 13, n. 2, Abril/Junho, 2003.

GUNASEKARAN S, MM AK. Dynamic oscillatory shear testing of foods - selected applications. Trends in Food Science and Technology 11(3):115-127. (DOI 10.1016/S0924-2244(00)00058-3), 2000.

HAN, X. Z. et al. Influence of maize starch granule-associated protein on the rheological properties of starch pastes. Part II. Dynamic measurements of viscoelastic properties of starch pastes. Carbohydrate Polymers, v. 49, n. 3, p. 323-330, 2002.

HASJIM, J.; LEE, S.O.; HENDRICH, S.; SETIAWAN, S.; AI, Y.; JANE, J.L. Characterization of a novel resistant-starch and its effects on postprandial plasma-glucose and insulin responses. Cereal Chemistry, v. 87, p. 257-262, 2010.

HENRY, R.J. A comparison of the non-stach carbohydrates in cereals grains. *Journal Science of Food Agriculture*, v. 36, p. 1243-1253, 1985.

HERNÁNDEZ-MEDINA, M; TORRUCO-UCO, J.G.; CHEL-GUERRERO, L.; BETANCUR-ANCORA, D. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados em Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de alimentos*, v. 28, n. 3, p. 718-726, 2008.

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

KAMEL, B.S. and de MAN J.M. Evaluation of gelatin gel texture by penetration test. *Lebensm. Wiss. Technol.* v. 8, p. 123-127.

KAVANAGH, G. M.; ROSS-MURPHY, S. B. Rheological Characterization of Polymer gels. *Progress in Polymers Science*, v. 23, p. 533-562, 1998.

KAY, D.E. Root crops. *Tropical Products Institute Crop and Product Digest Tropical Products Institute*, London, n. 2, p. 245, 1973.

KIM, C.; YOO, B. Rheological properties of rice starch-xanthan gum mixtures. *J. of Food Engineering*, v. 75, p. 120-128, 2006.

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. Carbohidratos em alimentos regionales Iberoamericanos. São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 648, 2006.

LAPASIN, R.; PRICL, S. Rheology of industrial polysaccharides – theory and applications. Gaithersburg: Aspen Publishers. p. 620, 1999.

LARSON, R. G. The structure and rheology of complex fluids. New York: Oxford, 1999.

LEACH, H. W.; MCCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry*, v. 36, p. 534–538, 1959.

LEACH, H.W.; McCOWEN, L.D.; SCHOCH, T.J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v. 36, n. 6, p. 534-544, 1995.

LEE, C. M., CHUNG, K. H. Analysis of surimi gel properties by compression and penetration tests. *Journal of Texture Studies*, v. 20, p. 363, 1989.

LEONEL, M; CEREDA, MP. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. *Ciências e Tecnologia de Alimentos*, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.

LEONEL M. Análise da forma e tamanho de grânulo de amidos de diferentes fontes botânicas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 27, n. 3, p. 570-588, julho/setembro, 2007.



- LEWIS, M.J. Propriedades físicas de los alimentos y los sistemas de procesado. Zaragoza: Acribia, 1993.
- LI, J.Y.; YEH, A.I. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. *Journal of Food Engineering*, v. 50, p. 141-148, 2001.
- LIN, Y.P et al. Corn dry-milled grit and flour fractions exhibit differences in amylopectin fine structure and gel texture. *Cereal Chemistry*, v. 79, n. 3, p. 354-358, 2002.
- MACHADO, J. C. V. Reologia e escoamento de fluidos. 1. ed. Editora Interciência, p. 1-12, 39-44, 95-107, 2002.
- MANRICH, S.; PESSAN, L.A. Reologia: conceitos básicos. São Carlos: Gráfica UFSCar, 1987.
- MAPA-Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Manual de hortaliças não-convencionais. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília, p. 92, 2010.
- MARCOTTE, M.; TAHERIAN HOSHAHLI, A.R.; RAMASWAMY, H.S. Rheological properties of selected hydrocolloids as function of concentration and temperature. *Food Research International*. v. 34, n. 8, p. 695-703, 2001.
- MARSONO Y, WIYONO P DAN UTOMO ZAKI. Indeks glikemik produk olahan garut (*Maranta arundinacea* L.) dan uji sifat fungsionalnya, 2005.
- MARTINEZ, C.; CUEVAS, F. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. Guía de estudio, CIAT, 1989.
- MATSUGUMA, L. Caracterização do amido de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) nativo e modificado por oxidação. [Tese Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos]. Ponta Grossa (Brasil): Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2006.
- MONTEIRO, D.A.; PERESSIN, V.A. Cultura da araruta. In: CEREDA, M.P. Agricultura: tuberosas amiláceas latino-americanas. São Paulo: Fundação Cargill, p. 440-447, 2002.
- MORRIS, E. R. Polysaccharide Rheology and In-Mouth Perception. In: STEPHEN, A. M. Food Polysaccharides and their Applications. New York: Marcel Dekker, p. 517-546, 1995.
- MOTT, L.R. Mecânica de fluidos aplicada. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S. A. 1996.
- MUNHOZ, M. P.;WEBER, F. H.; CHANG, Y. K. Influência de hidrocolóides na textura de gel de amido de milho. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 24, n. 3, p.

403-406, 2004.

NAÉ, H. N. Introduction to rheology. In: *Rheological Properties of Cosmetics and Toiletries* (edited by D. Laba). p. 9-33. New York: Marcel Dreker, 1993.

NEVES, M.C.P.; COELHO, I.S.; ALMEIDA, D.L. Araruta: Resgate de um Cultivo Tradicional. Embrapa: Comunicado Técnico, Seropédia/ RJ, novembro/ 2005.

NISHINARI, K.; ZHANG, H.; IKEDA, S. Hydrocolloid gels of polysaccharides and proteins. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, v. 5, p. 195-201, 2000.

NÚÑEZ-SANTIAGO, M. C.; BELLO-PÉREZ, L. A.; TECANTE, A. Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behaviour of banana (*Musa paradisiacal*) starch. *Carbohydrate polymers*, nº 56, p. 65-75, 2004.

PARKER ,R . ; RING ,S.G . Aspects of the physical chemistry of starch. *Journal of Cereal Science*, v. 34, p. 1-17, 2001.

PASQUEL, A. Gomas: utilização e aspectos reológicos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, v. 33, p. 86-97, 1999

PEREIRA, E.A.; FERREIRA, G.M.; GUIMARÃES, M.J.O.; MAIA, M.C.A. Comportamento reológico de suspensões contendo o biopolímero xantana. In: *Resumo do 8º Congresso Brasileiro de Polímeros*, São Paulo, 2005.

PÉREZ, O.E.; WARGON, V.; PILOSOL, A.M.R.; *Food Hydrocolloids*, vol. 20, p. 966, 2006.

PERONI, F.H.G.; ROCHA, T.S.; FRANCO, C.M.L. Some structural and physicochemical characteristics of tuber and root starches. *Food Science and technology International*, v. 12, p. 505-513, 2006.

PETERSON, D. G. e FULCHER, R. G. Variation in Minnesota HRS wheats: starch granule size distribution. *Food Research International*, v. 34, n. 4, p. 357-363, 2001.

PONS, M.; FISZMAN, S. M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies*, v. 27, p. 597-624, 1996.

PROKOPOWICH D.J.; BILIADERIS C.G. A comparative study of the effect of sugar on the thermal and mechanical properties of concentrated waxy maize, wheat, potato and pea starch gels. *Food Chemistry*, v. 52, p. 255-262, 1995.

RAO, M. A. Measurement of viscoelastic properties of fluid and semisolid foods. In: RAO, M. A.; STEFFE, J. F. *Viscoelastic Properties of Foods*. New York: Elsevier Applied Science, p. 207-231, 1992.

RAO, M. A. Measurement of flow and viscoelastic properties. In: *Rheology of Fluid and Semisolid Foods*, ed. Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland, p. 105-139, 1999.

- RAO, M.A., RIZVI, S.S.H., DATTA, A.K. Engineering Properties of Foods. 3.ed. London: Taylor e Francis Group, 2005.
- ROBERTS, S. A. ,CAMERON, R. E., The effects of concentration and sodium hydroxide on the rheological properties of potato starch gelatinisation. Carbohydrate Polymers, v. 50, n. 2, p. 133-143, 2002.
- SANCHES M.F. Caracterização física de soluções de inulina e fos por análise de textura e comportamento reológico. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, Julho/2010.
- SANTOS, J.P. Polissacarídeos reação com iodo. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfrT0AC/polissacarideos-reacao-com-iodo>. Acessado: 27/10/2012.
- SATO A.C.K.; CUNHA R.L. Influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jabuticaba. Ciência e Tecnologia Alimentos, Campinas, v. 27, n. 4, p. 890-896, out.-dez. 2007.
- SANDHU, S.K.; SINGH, N. Some properties of corn starches II. Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. Food Chemistry, v. 101, p. 1499-1507, 2007.
- SCHOCH, T. J. Swelling power and solubility of granular starches. In: WHISTLER, R. L. Methods in Carbohydrate Chemistry; Starch. New York: Academic Press, v. 4, p. 106-109, 1964.
- SERRANO, P. O.; FRANCO, C. M. L. Modificações hidrotérmicas ("Annealing" •) e hidrólise enzimática do amido de mandioca. Brazilian Journal of Food Technology, v.8, p.220-232, 2005.
- SHAW, J. D. Introdução à química dos colóides e das superfícies. São Paulo: Maar, J. H., 1975.
- SILVA, J.A.; RAO, M.A. Viscoelastic Properties of Foods, London: eds. Rao, M.A. & Steffe, J.F. Elsevier Applied Science, p. 207-231, 1992.
- SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Review. Food Chemistry, v. 81, p. 219-231, 2003.
- SPIES, R.D., HOSENEY, R.C. Effect of sugars on starch gelatinization. Cereal Chemistry, v. 59, n. 2, p.128-131, 1982.
- SRIBURI, P.; HILL, S.E. Extrusion of cassava starch with either variations in ascorbic acid concentration or pH. International Journal of Food Science and Technology, v. 35, n. 2, p. 141-154, 2000.
- SRIBURI, P.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Effects of ascorbic acid on the conversion of cassava starch. Food Hydrocolloids, v. 13, n. 2, p. 177-183, 1999.

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

STANLEY, N.F. AGARS. In: STEPHEN, A. M. (Ed) *Food Polysaccharides and their applications*. New York: Marcel Dekker, p. 187-204, 1995.

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

SUMMU G.; NDIFE M.K.; BAYINDIRH L. Effects of Sugar, Protein and Water Content on Wheat Starch Gelatinization Due to Microwave Heating. *European Food Research and Tecnology*, v. 209, p. 68-71, 1999.

SZCZESNIAK A.S., Classification of textural characteristic. *J. Food Science*, vol. 28, p. 385-389, 1973.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, Elsevier, v. 13, p. 215-225, 2002.

TESTER, R.F. et al. Starch – composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, v. 39, p.151-165, 2004.

THARANATHAN, R.N. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. *Critical Reviews in Biotechnology*, v. 22, p.65-84, 2002.

UEDAIRA, H.; ISHIMURA, M., TSUDA, S. Hydration of oligosaccharides. *Bulletin of Chemical Society of Japan*, v. 63, p. 3376–3379, 1990

VALLÉS-PÀMIÉS, B. et al. The effects of low molecular weight additives on the viscosities of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, v. 34, n. 1-2, p. 31-38, 1997.

VANDEPUTTE, G.E. et al. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behavior of granular starch. *Journal of Cereal Science*, v. 38, p. 43-52, 2003.

VARDHANABHUTI, B.; FOEGEDING, E. A.; MCGUFFEY, M. K.; DAUBERT, C. R.; SWAISGOOD, H. E. Gelation properties of dispersions containing polymerized and native whey protein isolate. *Food Hydrocolloids*, Oxford, v. 15, p. 165-175, 2001.

WALTER M.; SILVA L.P.; EMANUELLI T. Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. *Ciências Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 4, Julho/Agosto 2005.

WANG, L.Z. ; WHITE , P.J. . Structure and properties of amylose , amylopectin, and intermediate materials of oat starches . *Cereal Chem*, v. 71 , n .3 , p . 263 - 268, 1994 .

WU, H.C.H.; SARKO, A. The double-helical molecular structure of crystalline A-amylose. *Carbohydrate Research*, v. 61, p. 27-40, 1978.