

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia  
Agroindustrial



Dissertação

**VISCOAMILOGRAFIA NA ESTIMATIVA DO TEOR DE  
AMILOSE E CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DE ARROZ**

**Pablo Daniel Freitas Bueno**

Pelotas, 2008

**PABLO DANIEL FREITAS BUENO**

**VISCOAMILOGRAFIA NA ESTIMATIVA DO TEOR DE AMILOSE E  
CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DE ARROZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Agroindustrial.

Orientador: Manoel Artigas Schirmer

Pelotas, 2008

**Banca examinadora:**

Professor Doutor Moacir Cardoso Elias

Professor Doutor Luiz Carlos Gutkoski

Professor Doutor Álvaro Renato Guerra Dias

Professor Doutor Manoel Artigas Schirmer

*Aos meus pais, minha namorada  
dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao professor Manoel Artigas Schirmer que mais que um orientador, foi um amigo estando presente em todos os momentos da execução deste trabalho, sempre disposto a incentivar e colaborar.

Aos professores Moacir Cardoso Elias e Álvaro Renato Guerra Dias que sempre estiveram presentes durante o andamento deste trabalho, colaborando, incentivando e acima de tudo pela amizade e convivência dos mesmos.

Aos demais professores do DCTA pelos ensinamentos adquiridos durante toda a pós-graduação.

A todos os colegas do Laboratório de Grãos, sem os quais teria sido impossível concretizar este trabalho, em especial aos amigos que levo pra toda vida, que sempre estiveram presentes em todos os momentos, bons e ruins. Muito obrigado Cátia Storck, Fernanda Neves, Juliane Mascarenhas, Elessandra Zavareze, Fernanda Sacchet, Elizabete Helbig, Daniel Rutz e todos os demais que não tenham sido mencionados nesta citação, mas com certeza nunca esquecidos.

Um agradecimento especial a minha namorada Renata pela convivência, incentivo e compreensão durante os momentos mais difíceis deste trajeto.

Aos meus pais, Florentino e Jaci, e meus irmãos, Rodrigo e Janine, que sempre me apoiaram para que aqui estivesse e que sem eles nunca teria alcançado o que eu sou.

Aos meus sogros, Renato e Verena, que tenho um carinho especial por terem sempre acreditado que eu conseguiria alcançar mais este objetivo.

Em resumo, a todos que em geral tenham contribuído, direta ou indiretamente, para a execução deste trabalho, aqui não mencionados, mas nunca esquecidos.

*“Seja você a mudança que deseja ver no mundo”*

*Mahatma Gandhi*

## Resumo

BUENO, Pablo Daniel Freitas. **Viscoamilografia na estimativa do teor de amilose e características de consumo de arroz**. 2008. 69f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Foi estudado a remoção de cada constituinte secundário, proteína e lipídios, de farinhas de arroz contendo alto, médio e baixo teor de amilose e amido ceroso e avaliado os parâmetros quantitativos dos perfis viscoamilográficos gerados no RVA. Foi determinado as correlações ( $r^2$ ) confrontando o teor de amilose com cada parâmetro da curva viscoamilográfica para cada tratamento de remoção dos constituintes secundários. Procurou-se através do estudo de textura, estabelecer correlações entre amilose e textura de grão de arroz cozido, para que os testes rápidos em RVA fossem um indicador do comportamento do grão para consumo. O gel de farinha de arroz tratado com protease e remoção de lipídios apresentou uma correlação de 0,94 frente ao parâmetro de viscosidade final da curva amilográfica, sendo possível estimar a faixa do teor de amilose a partir deste ensaio. Os teores de amilose apresentaram correlações significativas para os atributos de coesividade e adesividade, 0,94 e 0,98, respectivamente. O teor de amilose e o parâmetro de viscosidade final das curvas viscoamilográficas de farinha de arroz quando submetida aos diferentes tratamentos estudados apresentam para todos correlações maiores que 0,90. A remoção do conteúdo protéico da matriz do grânulo de amido em relação ao parâmetro de viscosidade máxima do gel de farinha de arroz apresentou uma correlação acima de 0,93. A viscosidade final e o parâmetro de retrogradação das curvas viscoamilográficas e o atributo adesividade de textura instrumental são inversamente proporcionais, indicando que o grão de arroz com maior teor de amilose apresenta-se mais solto após o cozimento. O RVA associado com o texturômetro permite estabelecer correlações numéricas de seus resultados, com confiabilidade de 95%, que permite prever as características de consumo de uma cultivar de arroz, indiretamente estimando a faixa do teor de amilose da cultivar analisada.

Palavras-Chave: *Oriza sativa* L., composição química, cozimento, textura, amido.

## Abstract

BUENO, Pablo Daniel Freitas. **Viscoamilograms to estimate amylose content and consumption characteristics of Rice**. 2008. 69f. Dissertation (Master of Science) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The removal of protein and lipids from rice flour, containing high, medium and low amylose content and waxy starch were studied and appraised the quantitative parameters of the viscoamilograms profiles generated by RVA. Correlations ( $r^2$ ) of the amylose content and RVA parameters for each treatment were determined. Correlations of amylose content and grain texture of cooked rice were also studied in order to establish a fast RVA test as an indicator of the grain behavior for consumption. The rice flour gel treated with protease and lipid removal showed a correlation of 0,94 of the Final Viscosity parameter and amylose content allowing to estimate group of amylose content that the rice grain belongs. The amylose content presented significant correlations for the attributes Cohesiveness and Adhesiveness, of 0,94 and 0,98, respectively. The amylose content and the final viscosity parameter of the RVA curves of rice flour presented correlations larger than 0,90 when submitted to all treatments. The removal of protein content of the starch granule in relation to maximum viscosity (peak 1) parameter of rice flour gel showed a correlation above 0,93. The final viscosity and setback of the RVA curves were inversely proportional to the texture instrumental adhesiveness, indicating that rice grain with high amylose content comes loose from each other after cooking. RVA curves associated with texture analysis allows to establish numeric correlations of their results, with reliability of with of 95%, and allows to foresee eating characteristics of a rice cultivar, esteeming indirectly its group of amylose content.

Key-words: *Oriza sativa* L., physicochemical properties, cooking, texture, starch.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Rapid Visco Analyser (RVA) e o modelo do canister utilizado para avaliar as amostras.....   | 31 |
| Figura 2 – Modelo de curva viscoamilográfica gerada no RVA, com os parâmetros determinados.....  | 31 |
| Figura 3 – Curvas viscoamilográficas representativas dos grupos de amostras estudados.....   | 39 |
| Figura 4 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes reduções de constituintes para o Grupo 4 (alta amilose) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica..... | 43 |
| Figura 5 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 4 (alta amilose).....   | 46 |
| Figura 6 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 3 (média amilose) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.....    | 48 |
| Figura 7 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 3 (média amilose) utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.....                              | 50 |
| Figura 8 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 2 (baixa amilose) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.....    | 52 |
| Figura 9 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 2 (baixa amilose) utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.....                              | 53 |
| Figura 10 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 1 (tipo ceroso) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.....     | 55 |
| Figura 11 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes reduções de constituintes do Grupo 1 (tipo ceroso) utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.....                               | 57 |

## LISTA DE TABELAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Tabela 1 –  | Tratamentos das interações grupo de amostra x componente removido.....   | 30 |
| Tabela 2 –  | Condições operacionais do RVA utilizadas nas análises viscoamilográficas (padrão Newport Scientific rice profile).....   | 32 |
| Tabela 3 –  | Constituintes (umidade, proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos) dos grupos de amostras.....   | 34 |
| Tabela 4 -  | Teor de amilose para os diferentes grupos de amostras.....   | 35 |
| Tabela 5 -  | Médias das propriedades instrumentais de textura para os diferentes grupos de amostras utilizadas neste estudo.....  | 36 |
| Tabela 6 -  | Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para grupos de amostras estudados.....   | 38 |
| Tabela 7 -  | Coeficientes de correlação (r) entre parâmetros de textura e características viscoamilográficas para diferentes cultivares de arroz branco.....  | 41 |
| Tabela 8 -  | Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 4 (alta amilose) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.....  | 43 |
| Tabela 9 -  | Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 4 (alta amilose) para as diferentes remoções de constituintes estudadas utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.....                            | 45 |
| Tabela 10 - | Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 3 (média amilose) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica..... | 47 |
| Tabela 11 - | Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 3 (média amilose) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.....                           | 49 |
| Tabela 12 - | Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima,   | 51 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
|             | viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 2 (baixa amilose) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.....  |    |
| Tabela 13 - | Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 2 (baixa amilose) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.....                         | 53 |
| Tabela 14 - | Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 1 (tipo ceroso) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica..... | 55 |
| Tabela 15 – | Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 1 (tipo ceroso) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.....                           | 56 |
| Tabela 16 – | Correlações ( $r^2$ ) determinadas para os grupos de amostras estudados x viscosidade máxima.....  | 59 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....  | 13 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 16 |
| 2.1 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E DE CONSUMO DO ARROZ .....   | 16 |
| 2.1.1 AMIDO .....   | 17 |
| 2.1.2. PROTEÍNAS .....  | 21 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS .....  | 27 |
| 3.1 MATERIAL .....  | 27 |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS CULTIVARES .....  | 27 |
| 3.2.1 Determinação do Teor de Amilose .....   | 28 |
| 3.3 REMOÇÃO DE LIPÍDIOS E/OU PROTEÍNAS.....   | 29 |
| 3.4 GRUPO DE AMOSTRAS X COMPONENTE REMOVIDO .....   | 29 |
| 3.5 CARACTERÍSTICAS VISCOAMILOGRÁFICAS.....   | 30 |
| 3.6 PERFIL TEXTUROMÉTRICO .....   | 32 |
| 3.7 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA .....   | 33 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 34 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS GRUPOS DE AMOSTRAS.....   | 34 |
| 4.2 CARACTERÍSTICAS VISCOAMILOGRÁFICAS E PERFIL TEXTUROMÉTRICO DOS GRUPOS .....                                   | 35 |
| 4.2.1. Perfil Texturométrico .....  | 35 |
| 4.2.2 Características Viscoamilográficas.....   | 38 |
| 4.3 GRUPO DE AMOSTRAS X COMPONENTE REMOVIDO .....   | 42 |
| 4.4 CORRELAÇÕES ENTRE OS CONSTITUINTES REDUZIDOS DAS FARINHAS E OS PARÂMETROS DAS CURVAS VISCOAMILOGRÁFICAS ..... | 60 |
| 5 CONCLUSÕES .....  | 63 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....   | 64 |

## 1 INTRODUÇÃO

Cultivares de arroz com baixo conteúdo de amilose geralmente resultam em características de pegajosidade e “umidade”, enquanto que cultivares com alto conteúdo de amilose resultam em características de não-pegajosidade e firmeza. (JULIANO; ONADE; DEL MUNDO, 1965). Entretanto, desvios nessas correlações existem, como cultivares de baixa amilose com característica de não-pegajosidade e vice-versa. Assim, cultivares de arroz com o mesmo conteúdo de amilose podem diferir significativamente em características como dureza (firmeza) e pegajosidade (PEREZ; JULIANO, 1979).

Proteína não tem sido considerada com uma forte influência nas características de cozimento e de consumo. Quando diferenças no conteúdo de proteína bruta foram examinadas em relação à textura do arroz cozido, apenas uma fraca correlação foi encontrada. Devido ao fato que comumente arroz para consumo contém geralmente cerca de 7% de proteína e não existem grandes flutuações deste valor, o conteúdo de proteína não é considerado um importante indicador de qualidade. A influência do tipo e da estrutura da proteína, entretanto, tem sido geralmente observada em termos de garantia da qualidade. Contudo, isso se deve a que a maioria das proteínas presentes no arroz se encontrarem na forma de pequenos corpúsculos de proteína, no entanto podem estar presentes como uma matriz protéica influenciando o comportamento durante o cozimento. (HARRIS; JULIANO, 1977, BECHTEL; POMERANZ, 1978).

Estudos realizados com sorgo (CHANDRASHEKAR e KIRLEIS, 1988) e trigo (SEGUCHI, 1986) propõem que as propriedades de gelatinização do grânulo de amido sejam influenciadas pela matriz de proteína do endosperma e pela proteína associada com o mesmo, e que respectivamente essas interações influenciam a textura final do alimento. Este é um modelo possível para o arroz, embora, a

estrutura do endosperma do grão seja completamente diferente das de sorgo e trigo, especialmente no que diz respeito à quantidade presente de matriz de proteína. De fato, não é claro se qualquer uma destas proteínas existem mesmo no arroz. Alguns estudos adicionais necessitam ser realizados para demonstrar se a intensidade da gelatinização do amido de arroz é afetada pelo rompimento da proteína presente.

Já que as proteínas impactam tanto na aplicação final de outros cereais, é muito provável que elas contribuam para a qualidade do arroz cozido. Portanto, é importante desenvolver metodologias para medir a contribuição das proteínas na qualidade do arroz, contribuindo assim na busca de cultivares diferenciadas que possuam características desejadas.

Devido à etapa de cozimento criar as propriedades físicas necessárias para o desenvolvimento da textura dos produtos (CALDWELL et al., 2000), é importante correlacionar as propriedades de empaste com a composição. Desse modo, o efeito físico de composições de arroz específicas pode ser determinado. A ferramenta mais conveniente para avaliar as propriedades de cozimento do arroz é o Analisador Rápido de Viscosidade (RVA). Um RVA mede a viscosidade enquanto a amostra é agitada, aquecida e gelatinizada. Isso resulta na lixiviação das moléculas de amilose e desarranjo da matriz de amilopectina. O papel exato dos componentes granulares, tais como proteínas e lipídios, ligados à matriz de amido é incerto e não é sempre aparente nas curvas do RVA. No entanto, há diferenças evidentes no comportamento reológico de arroz com diferentes composições, o que sugere que as informações relacionadas a composição estão ocultas nos viscoamilogramas.

Houve muitas tentativas de correlacionar as diferentes partes da curva de viscosidade com as propriedades de consumo ou sensoriais dos grãos de arroz (CHAMPAGNE et al., 1999), e então para relacionar estas correlações com as propriedades de consumo, amido e proteínas. No entanto, as correlações são frequentemente insatisfatórias. Estas curvas são, na maioria das vezes, extensas e suaves e somente variações de taxa ou transições de fase drásticas são observáveis. Isto impede a elucidação de detalhes durante o empaste. Porém, viscoamilogramas diferenciados têm sido úteis em prover maiores detalhes do empaste do amido (LAI; CHAO, 2000).

Diante da complexidade para analisar o amido quanto: (i) a distribuição do peso molecular e da linearidade das frações de amilose; (ii) o comprimento e a

quantidade das moléculas de ramificação das moléculas de amilopectina e (iii) a interação destas moléculas com proteínas e lipídios, para propor um modelo para explicar as propriedades encontradas no arroz, identificou-se a oportunidade de utilizar a curva viscoamilográfica como uma forma simplificada de avaliar a contribuição parcial de todas essas características. Este é um ensaio rápido, que utiliza uma pequena quantidade de amostra, para determinar o comportamento do arroz no cozimento e pode ser correlacionado numericamente com os teores de amilose, de lipídios e de proteínas e atributos sensoriais mecânicos medidos pelo texturômetro, sem a necessidade de utilizar a complexa análise da estrutura das moléculas e compensando a heterogeneidade de repostas do grupo de painelistas de análise sensorial.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Propriedades Tecnológicas e de Consumo do Arroz**

Arroz (*Oriza sativa* L.) é um dos mais importantes alimentos na dieta básica de aproximadamente 50% da população mundial. Somente nos países asiáticos, cerca de três bilhões de habitantes têm o arroz e seus derivados como fontes de 60 a 70% das calorias ingeridas diariamente. Segundo a FAO (2006), o arroz fornece 20% da energia e 15% das proteínas necessárias ao homem e se destaca pela sua fácil digestão. Por ser um produto de origem vegetal, o arroz é um alimento com baixo teor de gordura e naturalmente isento de colesterol,.

Na produção mundial de arroz, o Brasil se destaca como principal produtor entre os países ocidentais, sendo o maior produtor de arroz da América do Sul e um dos dez maiores do mundo (MOHAN et al., 2005; IRGA, 2008). Produzido há cerca de um século no Estado do Rio Grande do Sul, o arroz é um importante produto agrícola estadual, responde por quase 60% da produção nacional deste cereal, é a segunda cultura agrícola em importância, ficando somente atrás da cultura da soja, sendo um dos setores mais relevantes dessa economia, (SILVA, 2004; CONAB 2008).

Tratando-se de um produto agrícola de valor elevado, o arroz é utilizado predominantemente na forma de grão para alimentação humana. Ao contrário do que ocorre com o trigo e o milho, que são transformados em outros produtos antes do consumo ou destinados à alimentação animal, o arroz é consumido no Brasil, principalmente, na forma de grãos inteiros, descascados, polido ou integral, branco

ou parboilizado (CASTRO et al., 1999; AMATO e ELIAS, 2005). Historicamente, a oferta de produtos mais processados utilizando o arroz como matéria-prima, onera o produto, tornando-o incompatível com o poder de compra da maioria da população mundial consumidora do mesmo. Assim, a forma tradicional de consumo deste grão tem se mantido bem como a necessidade de continuar estudando o comportamento do cozimento do grão inteiro, oriundos de diversas partes do mundo, frente à concentração de seus constituintes.

### 2.1.1 Amido

O foco no amido não é surpreendente considerando que o amido corresponde a até 95% da matéria seca em um grão de arroz beneficiado. As proteínas representam 4,5 a 10% e os lipídios 0,5 a 2,5% (DERYCKE et al., 2005).

A qualidade de consumo do arroz cozido tem sido durante muito tempo atribuída às características do amido. Fatores considerados para determinar a qualidade de consumo incluem: conteúdo de amilose (JULIANO et al., 1964), a solubilidade da amilose (BHATTACHARYA e SOWBHAGYA, 1971), as temperaturas de gelatinização e fusão das regiões amorfa e cristalina da amilopectina (SLADE e LEVINE, 1988), o comprimento das cadeias A e B da amilopectina (HANASHIRO; ABE; HIZUKURI, 1996) e a quantidade de estrutura remanescente nos grânulos de amido após o aquecimento (TSAI; LI; LII, 1997).

A disponibilidade de amido de arroz é baixa em função da dificuldade de extração e necessidade de tecnologia de custo elevado. O grânulo de amido de arroz é muito pequeno, quando comparado com os de milho (15 $\mu$ m) e de trigo (30 $\mu$ m), variando de 2 a 10 $\mu$ m (HOSENEY, 1994) e a presença de corpos ou matriz protéicos dispersos na matriz amilácea dificultam seu isolamento (EL-DASH e NABESHIMA, 2004). Embora, as pesquisas a respeito do amido sejam interessantes e necessárias, as interações deste com as proteínas constituem ainda um dos fatores pouco estudados e que podem esclarecer algumas propriedades do arroz cozido não justificados unicamente pelo comportamento do amido.

Dos constituintes do grânulo de amido, a amilose é essencialmente linear formada através da polimerização da D-glicose ligadas por ligações  $\alpha$ -1,4 enquanto que a amilopectina apresenta-se altamente ramificada e, além das ligações  $\alpha$ -1,4,

apresenta de 5 a 6% de ligações  $\alpha$ -1,6 nos pontos de ramificação. A grande maioria dos amidos contém 20 – 30% de amilose e 70 – 80% de amilopectina e essa proporção varia de acordo com a fonte botânica e, em alguns casos, a amilose encontra-se quase ausente e o amido é denominado de “ceroso” (waxy). (HOSENEY, 1991; DONALD e JENKINS, 1995; CEREDA et al., 2001; HOOVER, 2001; DELCOUR et al., 2003).

A amilose apresenta peso molecular de  $1,5 \times 10^5 - 10^6$ , é variável com a fonte e as condições de processamento empregadas na extração do amido tendo tamanho médio de cadeia de aproximadamente  $1 \times 10^3$  unidades de glicose (BILIADERIS, 1991). Em uma das extremidades da cadeia polimérica, a unidade terminal da glicose apresenta uma hidroxila primária e duas secundárias, sendo esse denominado de final redutor da molécula, em função da hidroxila presente no carbono da posição 1 da unidade de glicose. A extremidade oposta, ou final não-redutor, apresenta uma unidade de glicose contendo uma hidroxila primária e três secundárias, sendo que as outras unidades de glicose do polímero apresentam uma hidroxila primária e duas secundárias (CEREDA et al., 2001).

A amilose forma complexo com iodo, dando uma coloração azul, instável em soluções aquosas diluídas e também forma complexos com monoglicerídios que são denominados de clatratos. Mais recentemente passou a ser aceito que a amilose não é completamente linear (BILIADERIS, 1991).

A amilopectina está presente em todos os grânulos de amido conhecidos, constituindo em torno de 75% de seu conteúdo, possuindo peso molecular da ordem de  $(5 - 50) \times 10^7$ . O comprimento das ramificações é variável, mas, em média, apresenta entre 20 e 30 unidades de glicose. Em presença de iodo, a amilopectina apresenta coloração vermelha e é estável em soluções aquosas diluídas (CEREDA et al., 2001).

Acredita-se que as propriedades físicas do arroz eram controladas pela amilose. Posteriormente, a pesquisa científica mostrou que outros componentes presentes no grão de arroz devem ser considerados para explicar seu comportamento no cozimento. Por exemplo, as hélices de amilose parecem formar complexos de inclusão com os lipídios (BANKS e GREENWOOD, 1972; HEINECK et al. 2008) que desempenham um papel importante nas propriedades viscoamilográficas. Cada atributo estrutural pode produzir diferentes graus de

interações ou complexação com outros componentes do arroz tais como proteínas e fosfolípidios (HAMAKER e GRIFFIN, 1990).

A diversidade na estrutura e na composição do amido pode resultar em uma variedade de propriedades viscoamilográficas. Além disso, a textura do arroz tem sido associada a outros componentes não amídicos do grão (CHAMPAGNE et al., 1999). Alguns dos componentes que afetam as propriedades do empaste são os compostos fósforados (LIN e CZUCHAJOWSCA, 1998), a proteína (TEO et al., 2000) e os comprimentos das cadeias laterais de amilopectina. Pode haver uma miríade de variações estruturais, tais como grau de ramificação, comprimento das cadeias ramificadas laterais e estrutura coloidal.

Durante a fase inicial de aquecimento, um aumento na viscosidade é registrado no RVA quando os grânulos começam a intumescer. Neste ponto, polímeros com menor peso molecular, particularmente moléculas de amilose, começam a ser lixiviadas dos grânulos. Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando os grânulos, em sua maioria, estão totalmente inchados, havendo também grânulos intactos e o alinhamento molecular dos polímeros solubilizados ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento. Durante a fase de temperatura constante (95 °C) sob agitação, os grânulos começam a quebrar, a solubilização dos polímeros continua e o alinhamento molecular ocorre dentro do campo de atrito do instrumento, causando uma diminuição da viscosidade denominada de “viscosidade mínima à temperatura constante” (THOMAS e ATWELL, 1999).

Ao ocorrer resfriamento, alguns polímeros de amilose e amilopectina solubilizados (lixiviados) começam a se reassociar, formando um gel ocorrendo um aumento na opacidade da pasta. Este processo é denominado de “retrogradação” ou *setback* (WHISTLER e BEMILLER, 1997) e ocorre aumento da viscosidade, sendo que, nos géis de amido que contém cerca de 25% de amilose, as moléculas de amilose formam uma rede resultando em um gel firme, em contraste com géis de amido ceroso, que são brandos não formando uma rede intermolecular durante o ensaio nesta temperatura. (TANG e COPELAND, 2007). Dependendo do tipo de amido (da fonte botânica, ou se é um amido natural ou modificado), do nível de sólidos, do pH e do regime de aquecimento, vários perfis de curvas viscoamilográficas podem ser gerados (THOMAS e ATWELL, 1999).

A retrogradação é basicamente um processo de cristalização das moléculas de amido que ocorre pela forte tendência de formação de pontes de hidrogênio entre moléculas adjacentes. A associação das moléculas do amido propicia o desenvolvimento de uma rede tridimensional mantida coesa pelas áreas cristalinas. Esta rede é formada por grânulos de amido parcialmente inchados e componentes do amido em solução. A formação desta rede durante o resfriamento resulta na formação de gel (HOOVER, 2001). Com o tempo, este gel formado tem a tendência de liberar água. Esta liberação de água é conhecida como sinérese e é comumente encontrada em alguns produtos como molhos em geral (CEREDA et al., 2001).

Complexos com lipídios (clatratos) reduzem a solubilidade de amido em água, alterando as propriedades viscoamilográficas de pasta, diminuindo a capacidade de intumescimento, aumentando a temperatura de gelatinização, reduzindo a rigidez do gel, retardando a retrogradação e reduzindo a suscetibilidade a hidrólise enzimática (COPELAND et al., 2008). Segundo Tang e Copeland (2007), a diminuição da retrogradação do amido em presença de lipídios tem sido demonstrada pela formação de géis com mais espaços nas zonas de junção devido à redução da disponibilidade da amilose para formar redes de agregados e retardando o endurecimento deste gel (textura mais firme).

Devido à retrogradação se potencializar em temperaturas de refrigeração, a sinérese é freqüentemente observada em produtos refrigerados e congelados. Amidos de diferentes fontes botânicas retrogradam em diferentes intensidades e temperaturas (CEREDA et al., 2001).

Cultivares de arroz com baixo conteúdo de amilose geralmente resultam em características de pegajosidade e “umidade”, enquanto que cultivares com alto conteúdo de amilose resultam em características de não-pegajosidade e firmeza. (JULIANO; ONADE; DEL MUNDO, 1965). Entretanto, desvios nessas correlações existem, como cultivares de baixa amilose com característica de não-pegajosidade e vice-versa. Assim, cultivares de arroz com o mesmo conteúdo de amilose podem diferir significativamente em características como dureza (firmeza) e pegajosidade (PEREZ e JULIANO, 1979).

### 2.1.2. Proteínas

O arroz para consumo contém cerca de 7% de proteína e não existem grandes flutuações deste valor, o conteúdo de proteína não é considerado um importante indicador de qualidade deste produto. A proteína não tem sido relacionada como determinante nas características de cozimento e de consumo do grão de arroz. Quando diferenças no conteúdo de proteína bruta foram examinadas em relação à textura do arroz cozido, apenas uma fraca correlação foi encontrada. O tipo e da estrutura da proteína, no entanto, tem contribuições específicas para a qualidade de consumo do grão de arroz. Isso se deve a que a maioria das proteínas presentes no arroz se encontrarem na forma de pequenos corpúsculos de proteína, no entanto podem estar presentes como uma matriz protéica influenciando significativamente o comportamento durante o cozimento (HARRIS e JULIANO, 1977, BECHTEL e POMERANZ, 1978).

O componente químico no arroz com a segunda maior concentração é a proteína bruta. Na maioria dos cereais, os tipos e quantidades de proteínas afetam significativamente a aplicação final dos diferentes grãos. No arroz, as proteínas podem representar até 10% da matéria seca do grão, apesar de que ela geralmente representa um pouco menos. As proteínas do arroz consistem principalmente de glutelina ou orizina. Como em outros cereais, prolaminas, globulinas e albuminas também ocorrem. A orizina é composta de subunidades que estão ligadas por pontes dissulfídicas, tanto intra como intermoleculares. Entretanto, seu papel em determinar propriedades viscoamilográficas não é completamente entendido (SUGIMOTO; TANAKA; KASAI, 1986; CHRASTIL e ZARINS, 1994).

Hamaker e Griffin (1990) relatam que as características estruturais da proteína podem influenciar as características de cozimento e de consumo de arroz. A clivagem das ligações dissulfídicas por DDT (Dicloro-Difenil-Tricloroetano), que presumivelmente incluem ligações intermoleculares, aumenta consideravelmente a adesividade na maioria das cultivares de arroz estudadas. Também são observadas alterações na viscosidade de pasta, afirmando que as proteínas são responsáveis por essas mudanças, e que isso não é uma reação anômala do DDT com outro componente presente no grão. Isso pode ser observado por causa do efeito

potencial das proteínas na gelatinização do amido. Martin e Fitzgerald (2002) também relatam que utilizando DDT observa-se uma significativa redução dos parâmetros da curva viscoamilográfica de várias cultivares de arroz.

As proteínas são encontradas em diferentes partes do grão de arroz estando a maioria dentro das camadas do endosperma, formando as proteínas de armazenamento, situadas entre os grânulos de amido na forma de corpos protéicos (CAGAMPANG et al., 1966; LASZTITY, 1996).

Padhye e Salunkhe (1979) relatam que utilizando o processo de extração de proteínas conforme classificação de Osborne, no qual o arroz cru é desengordurado e submetido à extração com água para obter a fração da albumina, seguida por seqüencial extração com solução diluída de sal, diluição alcalina e 70% etanol é possível obter frações de globulina, de glutelina e de prolamina, respectivamente. Shih e Daigle (1997, 2000) demonstram que a remoção enzimática do amido da farinha do arroz pode ser usada para produzir isolados protéicos que contêm até 76% proteína. Entretanto, suspeita-se que a remoção do amido por hidrólise enzimática ou amidos modificados por gelatinização antes da extração conforme classificação de Osborne podem afetar a recuperação de proteína, suas características ou suas propriedades funcionais (SHIH et al., 1999).

Supõe-se que as proteínas no arroz afetam a adesividade (CHRASIL, 1994). Também tem sido relatado que o arroz de alta proteína é mais firme do que o de baixa proteína (TAMAKI et al., 1989), com isso afetando a firmeza superficial (OKADOME et al., 1999). Talvez isso seja porque o Tg ("glass transition") da proteína é levemente mais baixo do que o do amido (BUSHUK, 1998; MATVEEV; GRINBERG; TOLSTOGUZOV, 2000) de forma que quando cozido com água em quantidade limitada, quanto maior o teor de proteína, mais água irá se combinar com as mesmas, deixando menos água para o intumescimento dos grânulos de amido e lixiviação da amilose.

Martin e Fitzgerald (2002) relatam que produzindo arroz com adubações crescentes de nitrogênio no solo e conseqüentemente aumentando a concentração de proteína nos grãos de arroz geram proporcionalmente uma redução nos parâmetros da curva viscoamilográfica.

A proteína bruta desempenha um papel na determinação das propriedades de viscosidade e de textura de arroz, reduzindo o conteúdo de proteína na farinha do

arroz, é observado um aumento em seu pico de viscosidade (LIM et al. 1999). Isto é confirmado por Tan e Corke (2002) que propõem que o conteúdo de proteína é negativamente correlacionado com o pico de viscosidade e viscosidade mínima de pasta quente. Além disso, Lyon et al. (2000) encontram que o conteúdo de proteína é negativamente correlacionado com a adesividade do arroz cozido e diretamente com a solubilidade. Enquanto estes estudos sugerem uma relação entre a proteína total e propriedades físicas do arroz, não está claro como frações individuais de proteína contribuem para as propriedades de viscosidade e textura do arroz. Chrastil (1990) sugere que a ligação orizina-amido é um dos mais importantes fatores afetando a adesividade e encontra uma relação linear entre o grau de interação e a adesividade. Porém, uma relação não linear entre as propriedades de textura mecânica e o conteúdo de proteína também é encontrada (CHAMPAGNE et al., 1999).

Estudos realizados com sorgo (CHANDRASHEKAR e KIRLEIS, 1988) e trigo (SEGUCHI, 1986) propõem que as propriedades de gelatinização do grânulo de amido sejam influenciadas pela matriz de proteína do endosperma e pela proteína associada com o mesmo, e que respectivamente essas interações influenciam a textura final do alimento. Este é um modelo possível para o arroz, embora, a estrutura do endosperma do grão seja completamente diferente das de sorgo e trigo, especialmente no que diz respeito à quantidade presente de matriz de proteína, não havendo relatos de que estas proteínas existem no arroz.

As mudanças nas interações entre proteínas podem também alterar a viscosidade de pasta. Entretanto, depois da clivagem das ligações dissulfídicas, pode-se demonstrar mais claramente se as proteínas ainda não estruturadas totalmente (“unfolded”) interagem para aumentar a viscosidade ou para diminuí-la. Neste sentido, proteínas hidrolisadas enzimaticamente podem, contrariamente, diminuir a viscosidade. Uma possível explicação pode ser que os grânulos de amido que intumescem devido às forças de aquecimento e hidratação podem, na ausência de uma matriz circunvizinha da proteína ou de amido associado à proteína, tornar-se mais frágil. Por causa do grau elevado de tensão de cisalhamento presente no viscoamílografo, os grânulos intumescidos de amido rompem mais rapidamente, e conseqüentemente causam o rebaixamento dos parâmetros da curva da viscosidade (MARTIN e FITZGERALD, 2002).

Devido à etapa de cozimento criar as propriedades físicas necessárias para o desenvolvimento da textura dos produtos, é importante correlacionar as propriedades de empaste com a composição (CALDWELL et al., 2000). Desse modo, o efeito físico de composições de arroz específicas pode ser determinado. A ferramenta mais conveniente para avaliar as propriedades de cozimento do arroz é o Analisador Rápido de Viscosidade (RVA) (AMATO e ELIAS, 2005). O RVA mede a viscosidade enquanto a amostra é agitada, aquecida e gelatinizada. Isso resulta na lixiviação das moléculas de amilose e desarranjo da matriz de amilopectina (NS, 1998; HOSENEY, 1994).

O papel exato dos componentes granulares, tais como proteínas, ligados à matriz de amido é incerto e não é sempre aparente nas curvas do RVA. No entanto, há diferenças evidentes no comportamento viscoamilográfico de arroz com diferentes composições, o que sugere que as informações relacionadas à composição ainda não estão completamente elucidadas nos viscoamilogramas (COPELAND et al., 2008).

Existem muitas tentativas de correlacionar as diferentes partes da curva de viscosidade com as propriedades de consumo ou sensoriais dos grãos de arroz (CHAMPAGNE et al., 1999), e então para relacionar estas correlações com as propriedades de consumo, amido e proteínas. No entanto, as correlações são freqüentemente insatisfatórias. Estas curvas são, na maioria das vezes, extensas e suaves, e somente variações de taxa ou transições de fase drásticas são observáveis. Isto impede a exposição de detalhes durante o empaste. Porém, viscoamilogramas diferenciados têm sido úteis em prover maiores detalhes do empaste do amido (LAI e CHAO, 2000; MEADOWS, 2002).

Martin e Fitzgerald (2002) observam durante o ensaio viscoamilográfico de arroz, que tratando a farinha de arroz previamente ao ensaio com protease, observa-se uma queda drástica na curva viscoamilográfica, demonstrando a contribuição da proteína na manutenção da estrutura dos grânulos de amido e como seu teor afeta o perfil dessa curva. Segundo estes mesmos autores, as proteínas influenciam as curvas viscoamilográficas (I) através da água ligada, que causa o aumento da concentração das fases dispersa e viscosa do amido gelatinizado e (II) através da ação de uma rede ligada por pontes dissulfídicas. Pode-se observar nessas curvas que a hidratação da proteína afetam a disponibilidade de água que o arroz absorve

inicialmente no cozimento o que determina a concentração das fases dispersas e viscosa do amido, por sua vez, influenciando a textura do arroz cozido.

É normalmente aceito que o aumento que ocorre na viscosidade durante o aquecimento da suspensão de farinhas amiláceas seja, principalmente, devido ao inchamento dos grânulos de amido e a depressão da curva viscoamilográfica durante o aquecimento a temperatura constante à 95°C (breakdown) seja causada pela ruptura dos grânulos intumescidos (SANDHYA RANI e BHATTACHARYA, 1995). Conseqüentemente, a maior intensidade da depressão da curva viscosidade a quente em função da adição de prolamina à mistura de amido-água seja devido a um aumento da taxa de ruptura do grânulo de amido durante o ensaio do RVA. Isto pode ser causado pelo aumento na taxa de absorção de água pelos grânulos de amido, facilitado pela presença de prolamina. Esta hipótese é sustentada pelo aumento na taxa de absorção de água nos primeiros estágios do cozimento quando a prolamina estava presente. Além disso, o grande decréscimo na quantidade de água ligada após o cozimento ao longo de 3 minutos, observado nas amostras com a adição de prolamina, sugere que uma proporção maior de grânulos de amido rompeu-se durante o cozimento (Baxter, Blanchard e Zhao (2004).

Uma barreira de proteína naturalmente presente no endosperma do arroz ou formada durante o cozimento restringe o inchamento por aquecimento induzido do amido de arroz. Além disso Derycke et al. (2005) indicam que esta barreira de proteína tem um impacto positivo na rigidez dos grânulos de amido de arroz não-parboilizado, medidas de RVA, durante o cozimento e demonstram que esta barreira também exerce um papel na textura do arroz cozido, limitando o lixiviamento dos sólidos durante o cozimento, aumentando a dureza e diminuindo a pegajosidade do arroz cozido, especialmente quando a barreira de amilose é fraca (arroz de baixo teor de amilose).

Meadows (2002) utiliza as primeiras derivadas dos viscoamilogramas para determinar relações entre proteína, amido e empaste. Isso é efetuado através da redução das ligações dissulfídicas das proteínas em farinha de arroz e observando as taxas de variação da viscosidade que ocorrem durante o empaste. Entender como as proteínas afetam a curva de viscosidade é o primeiro passo para garantir que a sua contribuição possa ser medida e para compreender os fundamentos das

correlações entre as proteínas e curva de viscosidade (MARTIN e FITZGERALD, 2002).

O gel formado ao final do ciclo de resfriamento do RVA é essencialmente uma rede tridimensional de moléculas de amilose incorporadas aos grânulos intumescidos e rompidos de amido. Segundo Baxter, Blanchard e Zhao (2004), a diminuição na viscosidade final das amostras com a adição de prolamina sugerem que a rede tridimensional seja enfraquecida pela presença de prolamina nesta matriz. Esta hipótese é suportada pela redução na dureza e na adesividade dos géis de arroz contendo prolamina. Chrastil (1990) verifica que a adesividade do arroz aumenta com o aumento da quantidade de glutelina. Os efeitos contrários da prolamina e da glutelina sobre a adesividade podem significar que a adesividade do arroz seja determinada, em parte, pelas proporções relativas das duas principais frações da proteína no arroz. Isto pode significar a possibilidade para desenvolver cultivares de arroz com níveis desejados de adesividade pela produção de variedades com proporções particulares de prolamina e de glutelina.

Considerando que as proteínas impactam na aplicação final de outros cereais, é muito provável que elas contribuam para a qualidade do arroz cozido. Desenvolver métodos rápidos utilizando o RVA para medir a contribuição das proteínas farinhas de arroz para avaliar sua qualidade, pode contribuir para o desenvolvimento de cultivares diferenciadas que possuam características desejadas de solubilidade bem como permitir simultaneamente correlacioná-la com seu grupo de teor de amilose.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material**

Foram utilizados grãos de arroz com quatro teores de amilose, produzido no sul do Brasil. As amostras foram enquadradas nos seguintes grupos:

- GRUPO 1: Arroz “ceroso” (< 10% de amilose)
- GRUPO 2: Arroz de baixa amilose (10-22%)
- GRUPO 3: Arroz de média amilose (23-27%)
- GRUPO 4: Arroz de alta amilose (>27%)

Amostras de 5Kg representativas de 50kg de arroz de cada grupo de faixa de amilose, respectivamente, foram reservadas as quais foram descascadas, polidas, em engenho de provas modelo Zaccaria, e moídas em moinho de laboratório (Perten Instruments) no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos do DCTA-FAEM-UFPel, tendo sido separadas porções de grãos inteiros descascados e polidos para utilização nos ensaios de propriedades de textura experimental. Todas as amostras, posteriormente ao seu beneficiamento, foram armazenadas em ambiente climatizado com temperatura inferior a 18°C, assim garantindo a estabilidade biológica do mesmo.

#### **3.2 Caracterização Físico-Química Dos Cultivares**

As farinhas de arroz obtidas dos quatro grupos de amostras foram avaliadas quanto à sua composição química, segundo os métodos prescritos pela American Association of Cereal Chemists (1995):

- Umidade: determinado em estufa com circulação forçada, a 130°C por 3 horas, segundo método 44-15A
- Cinzas: por carbonização de uma massa conhecida de amostra, por calcinação da amostra a 540°C, segundo o método 08-01.
- Lipídios: determinado por extração com éter de petróleo em aparelho Soxhlet, segundo método 30-10.
- Proteínas: determinado pelo método micro-Kjeldhal, segundo método 46-13, utilizando como fator de conversão o valor 5,9.
- Carboidratos: determinados por diferença.

### **3.2.1 Determinação do Teor de Amilose**

A determinação do teor de amilose nas amostras foi realizada através de espectrofotometria. O método se fundamenta na capacidade da amilose formar complexos com iodo. Estes complexos produzem coloração azul, que terá maior ou menor intensidade, dependendo da quantidade de amilose, podendo ser lida pelo aparelho. Foi utilizado o método proposto por Martinez e Cuevas (1989), com adaptações.

Cada amostra era descascada, polida e a seguir moída até 60 mesh. Foram pesadas três repetições de 0,1g para cada amostra e 0,04g de amilose pura, as quais eram colocadas em balões de 100mL, sendo acrescentados 1mL de álcool etílico e 9mL de solução 1N de NaOH. A seguir, as amostras ficavam 10 minutos em banho-maria a 100°C. Quando resfriadas, eram diluídas com água até completar os 100mL do balão, sendo retirada uma alíquota de 5mL para outro balão de 100mL, quando eram acrescentados 1mL de ácido acético e 2mL de solução de iodo, sendo novamente diluídos com água destilada até completar o volume do balão. Foram retiradas do balão com amilose alíquotas de 1, 2, 3, 4 e 5mL, acrescentando-se 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1mL de ácido acético e 0,4, 0,8, 1,2, 1,6 e 2mL de iodo, respectivamente, completando os balões com água destilada.

As leituras no espectrofotômetro ocorriam no comprimento de onda de 610nm e os resultados das absorvâncias (A) eram multiplicados por um fator de

correção (FC) obtido pela a média dos valores lidos com as amostras de amilose pura, para se obter o teor de amilose em cada amostra, de acordo com a equação 1.

$$\% \text{ amilose} = A \times FC \quad \text{equação 1}$$

### **3.3 Remoção de Lipídios e/ou Proteínas**

A fração de lipídios do arroz foi extraída segundo método de extração contínua em aparelho Soxhlet (AOAC, 1995) e método de extração a frio (BLIGH e DYER, 1959). A fração protéica foi extraída conforme metodologia indicada por Martin e Fitzgerald (2002). Esses procedimentos de remoção das frações foram realizados para o preparo das avaliações viscoamilográficas das amostras a serem avaliadas no Analisador Rápido de Viscosidade (RVA) conforme desenho experimental exposto no item 3.5.

### **3.4 Grupo de Amostras x Componente Removido**

O experimento foi constituído de 48 amostras resultantes do delineamento inteiramente casualizado consistindo de 16 tratamentos (4 cultivares x 4 componentes removidos) com três repetições, avaliando-se as características viscoamilográficas totalizando 288 determinações, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Tratamentos das interações grupo de amostra x componente removido.

| Tratamentos | Variáveis Independentes |                       | Variáveis Dependentes   |
|-------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
|             | Arroz (% amilose)       | Componentes Removidos |                         |
| 01          | GRUPO 1                 | Nenhum                |                         |
| 02          | < 10 %                  | Lipídios              |                         |
| 03          |                         | Proteínas             |                         |
| 04          |                         | Lipídios e Proteínas  | <b>Viscoamilografia</b> |
| 05          | GRUPO 2                 | -                     | - Viscosidade           |
| 06          | 10 – 22 %               | -                     | Máxima                  |
| 07          |                         | -                     | - Viscosidade           |
| 08          |                         | -                     | Mínima a 95°C           |
| 09          | GRUPO 3                 | -                     | - Quebra                |
| 10          | 23 – 27 %               | -                     | -Viscosidade Final      |
| 11          |                         | -                     | - Retrogradação         |
| 12          |                         | -                     |                         |
| 13          | GRUPO 4                 | -                     |                         |
| 14          | > 27 %                  | -                     |                         |
| 15          |                         | -                     |                         |
| 16          |                         | -                     |                         |

### 3.5 Características Viscoamilográficas

Foram determinadas com o Analisador Rápido de Viscosidade (Rapid Visco Analyser – RVA) (Figura 1), utilizando o software Thermocline for Windows versão 1.10. Foram pesados com exatidão 3,00 g de amostra e adicionados de 25,00 mL de água destilada, sendo realizada a correção de ambos para 13% de umidade. As amostras foram analisadas através do padrão Newport Scientific rice profile (NS, 1998), cujos parâmetros são apresentados na Tabela 2.



Figura 1 – Rapid Visco Analyser (RVA) e o modelo do canister utilizado para avaliar as amostras.

As características avaliadas, de acordo com o gráfico gerado no RVA (Figura 2) foram:

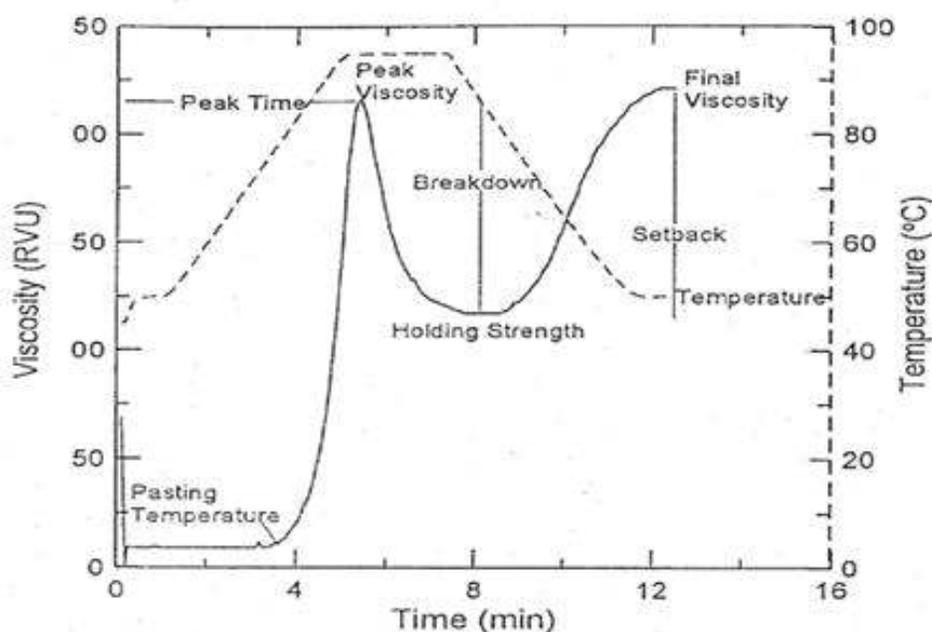


Figura 2 – Modelo de curva viscoamilográfica gerada no RVA, com os parâmetros determinados

- Viscosidade máxima: viscosidade máxima inicial, correspondente ao primeiro pico da curva que ocorre quando a temperatura alcança os 95°C, expressa em cP (centipoise).

- Viscosidade mínima à 95°C: é o menor valor de viscosidade, após ter sido atingida à temperatura constante de 95°C, expressa em cP.

- Quebra: é obtido pela diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade mínima da curva viscoamilográfica, expresso em cP.
- Viscosidade Final: valor de viscosidade obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50°C, expresso em cP.
- Retrogradação: é obtido pela diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima, expresso em cP.

Tabela 2 – Condições operacionais do RVA utilizadas nas análises viscoamilográficas (padrão Newport Scientific rice profile)

| TEMPO<br>(hora: min: segundos) | TIPO<br>(temperatura/velocidade) | VALOR<br>(°C ou rpm) |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 00:00:00                       | Temperatura                      | 50                   |
| 00:00:00                       | Velocidade                       | 960                  |
| 00:00:10                       | Velocidade                       | 160                  |
| 00:01:00                       | Temperatura                      | 50                   |
| 00:04:42                       | Temperatura                      | 95                   |
| 00:07:12                       | Temperatura                      | 95                   |
| 00:11:00                       | Temperatura                      | 50                   |
| Final do Teste: 00:13:00       |                                  |                      |

### 3.6 Perfil Textuométrico

As avaliações de textura foram realizadas utilizando um Texturômetro (Texture Analyser TA.XTplus, Stable Micro Systems) com uma célula de força de 30kg usando um teste de compressão de dois ciclos (TPA, textural profile analysis). O equipamento estava conectado a um computador que registrou os dados através do Texture Exponent Software. As amostras de arroz foram preparadas para a cocção, pesando-se 20g de arroz cru em um béquer de 100mL. Foi adicionada água destilada fervente na proporção de 1:2 (v/v). O béquer foi colocado em chapa quente e cozido até toda a água evaporar. Após, foi colocado em banho-maria a 50°C por 5 minutos. A amostra foi homogeneizada com auxílio de uma colher e mantida em torno de 30 minutos, até atingir a temperatura ambiente, ou seja, estabilizando a sua

temperatura. Alíquotas de 10g foram acondicionadas em recipiente de vidro cilíndrico de 50mm de diâmetro e 10mm de profundidade, e levadas imediatamente para o texturômetro. A amostra de arroz cozido foi comprimida a 60% do seu tamanho original com um probe cilíndrico de 45mm a uma velocidade de 1,7mm/seg. O probe retornou a posição inicial e comprimiu a amostra novamente. Valores de dureza, adesividade, flexibilidade e coesividade foram determinados através das curvas geradas. Cada cocção foi realizada em triplicata e para cada cocção foram realizadas triplicatas de textura instrumental.

### **3.7 Avaliação Estatística**

Os resultados foram analisados através da Análise de Variância (ANOVA) e nos modelos significativos as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; Também foram obtidas as correlações ( $r^2$ ) e os coeficientes de correlação ( $r$ ) para os parâmetros estudados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização Físico-Química dos Grupos de Amostras

A Tabela 3 apresenta os teores dos constituintes para os diferentes grupos de amostras utilizados neste trabalho.

Tabela 3 – Constituintes (umidade, proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos) dos grupos de amostras.

| GRUPO* | Umidade            | Proteínas         | Lipídios          | Cinzas            | Carboidratos       |
|--------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1      | 13,51 <sup>b</sup> | 6,44 <sup>a</sup> | 2,52 <sup>a</sup> | 0,64 <sup>b</sup> | 76,89 <sup>b</sup> |
| 2      | 13,72 <sup>a</sup> | 5,20 <sup>b</sup> | 1,44 <sup>d</sup> | 0,63 <sup>b</sup> | 79,01 <sup>a</sup> |
| 3      | 13,78 <sup>a</sup> | 5,00 <sup>c</sup> | 1,71 <sup>c</sup> | 0,65 <sup>b</sup> | 78,86 <sup>a</sup> |
| 4      | 13,35 <sup>c</sup> | 6,27 <sup>a</sup> | 2,00 <sup>b</sup> | 0,68 <sup>a</sup> | 77,70 <sup>b</sup> |

\* GRUPO 1: Arroz “ceroso” (< 10% de amilose); GRUPO 2: Arroz de baixa amilose (10-22%); GRUPO 3: Arroz de média amilose (23-27%); GRUPO 4: Arroz de alta amilose (>27%)

\*\* Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença significativa, ao nível de 5% de significância, entre as amostras.

Os dados expostos na Tabela 3 demonstraram que para os grupos de amostras estudados, o que apresentou um maior teor de proteínas e lipídios foi o grupo 1, diferindo significativamente dos demais, sendo o que apresentou a segunda maior concentração destes mesmos constituintes foi o grupo 4. A umidade e o teor de cinzas presentes nas amostras ficaram na faixa de 13 a 14% e 0,6 a 0,7%, respectivamente. Todos os resultados são típicos de cultivares de arroz e estão de acordo com Derycke et. al. (2005) que elucidaram especificamente que os teores de proteína presentes na composição ficavam na faixa compreendida de 4,5 – 10%, enquanto que os lipídios variavam de 0,5 – 2,5%.

A Tabela 4 apresenta o teor de amilose para as diferentes grupos de amostras utilizados neste experimento.

Tabela 4 - Teor de amilose para os diferentes grupos de amostras.

| GRUPO | Teor de amilose (%) |
|-------|---------------------|
| 1     | 8,04 <sup>d</sup>   |
| 2     | 21,50 <sup>c</sup>  |
| 3     | 25,45 <sup>b</sup>  |
| 4     | 29,49 <sup>a</sup>  |

\* GRUPO 1: Arroz “ceroso” (< 10% de amilose); GRUPO 2: Arroz de baixa amilose (10-22%); GRUPO 3: Arroz de média amilose (23-27%); GRUPO 4: Arroz de alta amilose (>27%)

\*\* Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença significativa, ao nível de 5% de significância, entre as amostras.

Conforme os dados expostos na Tabela 4, verificou-se que para o Grupo 1, o teor de amilose médio foi de 8,04%, enquanto que para os Grupos 2, 3 e 4, os teores de amilose médios encontrados foram de 21,50%, 25,45% e 29,49%, respectivamente. Estes grupos, com exceção do Grupo 1 (arroz “ceroso”), são valores tipicamente conhecidos o que permitiu denominar os grupos de baixa, média e alta amilose. Essas três faixas de teores de amilose estão de acordo com a classificação do IRGA (2008), sendo que o Grupo 1, de acordo com Hosney (1994), não contém amilose, no entanto a amostra estudada apresentou um teor de 8,04%, o que é considerado um valor muito baixo e representa o comportamento de um amido ceroso.

## 4.2 Características Viscoamilográficas e Perfil Texturométrico dos Grupos

### 4.2.1. Perfil Texturométrico

A análise instrumental da textura de arroz cozido foi realizada com o intuito de tentar caracterizar os grupos de amostras de arroz que contém diferentes teores de amilose e tentar correlacionar as mesmas com as propriedades desejadas de consumo do grão. Para isso, foram analisados, no texturômetro, os seguintes

atributos de grãos cozidos: dureza, adesividade, flexibilidade e coesividade, sendo estes resultados mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Médias das propriedades instrumentais de textura para os diferentes grupos de amostras utilizadas neste estudo.

| GRUPO* | Dureza              | Adesividade         | Flexibilidade        | Coesividade          |
|--------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1      | 9538,7 <sup>a</sup> | -905,5 <sup>a</sup> | 0,96889 <sup>a</sup> | 0,39656 <sup>c</sup> |
| 2      | 7682,1 <sup>b</sup> | -379,7 <sup>b</sup> | 0,82578 <sup>b</sup> | 0,53489 <sup>b</sup> |
| 3      | 4958,0 <sup>c</sup> | -79,56 <sup>c</sup> | 0,67656 <sup>c</sup> | 0,54356 <sup>b</sup> |
| 4      | 4976,7 <sup>c</sup> | -1,496 <sup>c</sup> | 0,63411 <sup>c</sup> | 0,60978 <sup>a</sup> |

\* GRUPO 1: Arroz “ceroso” (< 10% de amilose); GRUPO 2: Arroz de baixa amilose (10-22%); GRUPO 3: Arroz de média amilose (23-27%); GRUPO 4: Arroz de alta amilose (>27%)

\*\*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ao nível de 95% de confiança.

Os valores obtidos para o parâmetro de flexibilidade diminuíram inversamente proporcionais ao aumento dos teores de amilose dos grupos 1 ao 4 (Tabela 5), ou seja, à medida que aumenta o teor de amilose dos grupos, este atributo sofre uma diminuição dos seus valores quantitativos, assim, os grãos de arroz apresentam uma deformação maior dos seus grãos entre o intervalo da primeira e da segunda mordida. Este parâmetro está de acordo com o observado por Mohapatra e Bal (2006), que relatam que esta está relacionada com a altura que o grão de arroz cozido recupera durante o tempo que decorre entre o final da compressão que simula a primeira mordida e o da compressão no início da segunda mordida. Isto permite concluir que um maior teor de amilose enrijece os grânulos de amido, suprimindo a sua flexibilidade o que causa o esmagamento e ruptura do grão durante a sua compressão. Por outro lado, os grãos contendo um baixo teor de amilose são mais plásticos e permanecem flexíveis após a primeira compressão.

O parâmetro de dureza dos diferentes grupos de amostras (Tabela 19) também apresentou um comportamento inversamente proporcional ao teor de amilose, como a flexibilidade, sendo que para os grupos de média e alta amilose o mesmo se apresentou sem diferença significativa. Este comportamento foi elucidado observando a amostra do grupo 1 (arroz ceroso) que se apresentou mais aglutinada, com alta resistência mecânica a compressão sem se romper. Conforme aumentou o

teor de amilose dos grupos de amostras, o grão se apresentou mais quebradiço, com isso diminuindo a resistência a compressão e conseqüentemente reduzindo a sua dureza. A dureza é definida como a força máxima durante o primeiro ciclo de compressão (primeira mordida) e tem sido freqüentemente substituída pelo termo firmeza (TAXT plus, referência). Os valores típicos para a dureza destes grupos de amostras não foram encontrados na literatura.

O parâmetro coesividade mostrado na Tabela 5 apresentou um comportamento diretamente proporcional ao aumento do teor de amilose dos grupos analisados. A coesividade medida pelo texturômetro é definida como a proporção da área da curva da segunda compressão em relação à primeira compressão. A coesividade também pode ser medida como a taxa na qual o material se desintegra sob ação mecânica. A resistência a tensão também é uma manifestação de coesividade (MOHAPATRA e BAL, 2006).

O parâmetro de adesividade, conforme mostrado na Tabela 5, apresentou um comportamento inversamente proporcional (em módulo) para os diferentes teores de amilose dos grupos analisados. A característica de pegajosidade após o cozimento é também avaliada pela soltabilidade mas o parâmetro medido no texturômetro é a adesividade. Este parâmetro representa a força necessária para elevar o probe que está aderido ao arroz devido a compressão. Nesta tabela observou-se que grãos com menor teor de amilose apresentaram uma maior característica de “pegajosidade”, em módulo, após o cozimento, caracterizando-se como um arroz que gruda, tipo japonês. Conforme o teor de amilose das cultivares aumenta, o mesmo começa a apresentar um menor valor quantitativo para a característica de adesividade, o que indica um arroz mais solto após o cozimento.

A adesividade representa o trabalho requerido para superar as forças atrativas entre a superfície do alimento e a superfície de outros materiais os quais ele entra em contato. Mohapatra e Bal (2006) relatam que para materiais de alta adesividade e baixa coesividade, quando testados, parte da amostra adere-se ao probe no momento em que este faz força para subir, o que está de acordo com os resultados expostos na Tabela 5, onde as amostras do grupo 1 tiveram uma forte tendência a apresentarem este comportamento.

O conjunto de valores dos parâmetros de textura mecânica dos quatro grupos de arroz apresentados na Tabela 5, permitiu estimar que existe uma linha de

corde em torno dos valores quantitativos entre os grupos 1 e 2, considerando que a maior parte dos grãos do grupo 1 apresentaram uma alta adesividade, conseqüentemente baixa soltabilidade, após o cozimento, ficando grudados ao probe. Isto pode ser relacionado a um produto gomoso que ficaria preso aos dentes durante o processo de mastigação destes grãos, resultando em uma baixa aceitabilidade pelo consumidor. Estes grãos são usualmente utilizados para o preparo de pudins e sobremesas e não sendo utilizados para consumo na forma de grão inteiro. Por sua vez, os grãos do grupo 2 apresentaram um aspecto típico dos consumidores japoneses, que embora ainda apresentem uma baixa soltabilidade, possuindo uma alta aceitabilidade neste hábito alimentar.

#### 4.2.2 Características Viscoamilográficas

A Tabela 6 contém as médias obtidas para os diferentes parâmetros da curva viscoamilográfica para os quatro grupos de amostra com diferentes teores de amilose e a Figura 3 estão expostos os perfis das curvas viscoamilográficas para as amostras estudadas.

Tabela 6 - Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para grupos de amostras estudados.

| GRUPO* | Parâmetros Viscoamilográficos |                           |                      |                      |                      |
|--------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|        | Viscosidade Máxima            | Viscosidade Mínima a 95°C | Quebra               | Viscosidade Final    | Retrogradação        |
| 1      | 1850,00 <sup>b</sup>          | 929,00 <sup>d</sup>       | 921,00 <sup>c</sup>  | 1158,00 <sup>d</sup> | 229,00 <sup>c</sup>  |
| 2      | 3392,00 <sup>a</sup>          | 1464,00 <sup>c</sup>      | 1928,00 <sup>a</sup> | 2898,00 <sup>c</sup> | 1434,00 <sup>b</sup> |
| 3      | 3019,70 <sup>a</sup>          | 1737,00 <sup>b</sup>      | 1282,70 <sup>b</sup> | 3616,30 <sup>b</sup> | 1879,30 <sup>b</sup> |
| 4      | 3106,50 <sup>a</sup>          | 2591,00 <sup>a</sup>      | 515,50 <sup>d</sup>  | 6130,50 <sup>a</sup> | 3539,50 <sup>a</sup> |

\* GRUPO 1: Arroz “ceroso” (< 10% de amilose); GRUPO 2: Arroz de baixa amilose (10-22%); GRUPO 3: Arroz de média amilose (23-27%); GRUPO 4: Arroz de alta amilose (>27%)

\*\*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ao nível de 95% de confiança.

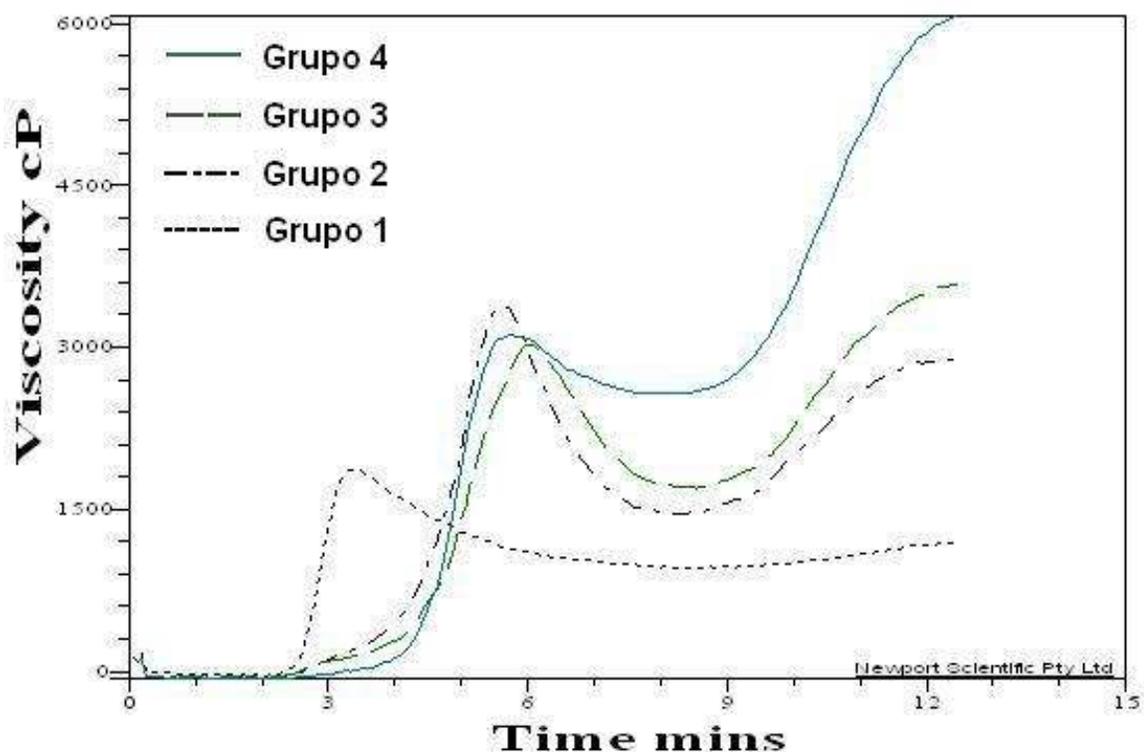


Figura 3 – Curvas viscoamilográficas representativas dos grupos de amostras estudados.

Observando-se os dados expostos na Tabela 6, oriundos da média de três análises viscoamilográficas, quanto maior o teor de amilose do amido do gel da farinha de arroz do grupo 1 ao 4 das amostras, a viscosidade final foi proporcionalmente crescente e, conseqüentemente, maior se apresentou a retrogradação, e estes valores foram significativamente diferentes.

Estes resultados foram claramente visíveis nas curvas viscoamilográficas destes grupos (Figura 3), onde o arroz com teor de amilose abaixo de 10% (Grupo 1) apresentou uma curva com pouca variação entre viscosidade mínima a 95°C e a viscosidade final, durante o processo de resfriamento do gel, perfil este característico deste grupo de amostras considerada “amido ceroso” ou sem amilose.

À medida que aumenta o teor de amilose das cultivares estudadas, os perfis das curvas viscoamilográficas sofrem alterações quantitativas de todos os parâmetros da curva, apresentando para o Grupo 2 curva com pico de viscosidade máxima ainda superior à viscosidade final, comportamento parecido ao encontrado

para o Grupo 1 (“amido ceroso”), e ambos se caracterizam por apresentar grãos de arroz que se aglutinam e “desmancham” após o cozimento, respectivamente.

Considerando que a amilose é lixiviada no processo de gelatinização (WHISTLER; BEMILLER, 1997) e esta dá consistência ao gel na retrogradação (viscosidade final), permitiu elucidar que o teor de amilose das variedades “ceroso” e de baixo teor de amilose, tipo japonico, não foram suficientes para formar um gel firme ou contribuir para que os grãos de arroz aos quais pertencem se mantivessem intactos no cozimento. As variedades de médio (mistura japonico e índico) e de alto teor de amilose, tipo índico, que apresentaram um comportamento de grãos mais firmes e no último de grãos soltos após o cozimento, podem ser avaliados pela viscosidade final de suas curvas viscoamilográficas com valores superiores à viscosidade máxima (TANG; COPELAND, 2007).

Por outro lado, alguns comportamentos dos grãos de arroz durante o cozimento não são possíveis de serem explicados somente pelo teor de amilose e são de difícil interpretação nas curvas viscoamilográficas, como, por exemplo, no parâmetro quebra. A Figura 4 sugere que amido com maior teor de amilose possui a menor quebra, no entanto Cardoso (2004) afirma que há uma contribuição importante do teor de proteína da farinha de arroz na quebra observada na curva viscoamilográfica.

De acordo com os dados expostos anteriormente, procurou-se através do estudo de textura instrumental, estabelecer correlações entre amilose e atributos tipicamente sensoriais de grão de arroz cozido, para que os testes rápidos em RVA fossem um indicador do comportamento do grão para consumo.

Correlacionando às análises de textura instrumental com os resultados quantitativos obtidos para os grupos analisados no RVA a fim de encontrar uma relação entre os mesmos, foram calculados os coeficientes de correlação ( $r$ ) e estão expostos na Tabela 7.

Tabela 7 - Coeficientes de correlação (r) entre parâmetros de textura e características viscoamilográficas para diferentes cultivares de arroz branco

|       | Amil.  | Visc. Máx. | Break down | Visc. Final | Setback | Dur.  | Ades. | Flex. | Coes. |
|-------|--------|------------|------------|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Amil. | 1,00   |            |            |             |         |       |       |       |       |
| Dur.  | -0,88  | -0,59      | 0,18       | -0,86       | -0,86   | 1,00  |       |       |       |
| Ades. | -0,98* | -0,84      | -0,10      | -0,90*      | -0,90*  | 0,92* | 1,00  |       |       |
| Flex. | -0,78  | -0,67      | 0,02       | -0,81       | -0,81   | 0,75  | -0,76 | 1,00  |       |
| Coes. | 0,94*  | 0,88       | 0,16       | 0,90*       | 0,88    | -0,75 | 0,92* | -0,75 | 1,00  |

\*Correlação significativa ao nível de 10% de significância.

\*\*Amil = amilose; visc. máx. = viscosidade máxima; visc. final = viscosidade final; dur. = dureza; ades. = adesividade; flex. = flexibilidade; coes. = coesividade

Pôde-se observar na Tabela 7 que para as correlações identificadas por um asterisco houve correlação significativa, ao nível de 90% de confiança, entre atributos quantitativos de textura, adesividade e coesividade, e os parâmetros, viscosidade final e retrogradação, das curvas viscoamilográficas.

O parâmetro de pico de viscosidade máxima apresentou sua maior correlação ( $r = 0,88$ ) frente aos parâmetros de textura com a coesividade (Tabela 7). De acordo com os resultados obtidos nesta mesma tabela para a textura instrumental dos grupos de amostras, quanto maior o teor de amilose presente nos grupos estudados, menores se apresentaram as suas características de adesividade e maiores as suas coesividades. Desta forma, o arroz do grupo 2 que representa o tipo japonês, ou seja, um arroz que “gruda”, apresenta baixos teores de amilose, ao contrário do arroz do grupo 4, solto e seco, tipo indiano ou sul-americano com alto teor de amilose. O grupo 3 apresentou características mais acentuadas do tipo indiano (grupo 4) do que tipo japonês (grupo 2). Já o grupo 1, apresentou um perfil da curva viscoamilográfica tão distinto dos demais grupos, para o qual não foi possível obter uma correlação clara entre o seu teor de amilose com as características de textura instrumental.

Assim, comparando os parâmetros das curvas geradas no RVA e os atributos de textura, observou-se que quanto maior a viscosidade final e a retrogradação, menor se apresenta a adesividade, indicando uma correlação inversamente proporcional entre estes parâmetros analisados. Esses resultados

estão de acordo com Champagne et. al. (1999), o qual observou que quanto maior a viscosidade final apresentada pelas farinhas de arroz, menor adesividade, ou seja, maior solubilidade.

#### **4.3 Grupo de Amostras x Componente Removido**

Considerando a baixa correlação apresentada entre os valores determinados pela viscoamilografia, especificamente o pico de viscosidade máxima e os parâmetros de textura mecânica e considerando o efeito da concentração de proteína sobre este parâmetro, como sugerido por Cardoso (2004), foi desenvolvido um método de hidrólise proteolítica enzimática durante o ensaio de viscoamilografia sem afetar a estrutura do amido para promover uma melhor correlação entre os parâmetros.

Tendo em vista a necessidade de se ter um teste rápido para ajudar a caracterizar as amostras sem isolar amido para estimar sua contribuição para a qualidade do produto final e observando os perfis das curvas viscoamilográficas característicos para cada um dos grupos com diferentes teores de amilose, buscou-se demonstrar a interferência de outros constituintes encontrados nas mesmas, ou seja, as proteínas e os lipídios, removendo-os individualmente ou simultaneamente. Os lipídios foram considerados devido ao afirmado por Hosney (1994) onde estes complexam com amilose formando clatratos enrijecendo a molécula dificultando sua lixiviação e retrogradação.

As tabelas 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 contêm os dados quantitativos obtidos das curvas viscoamilográficas, mostradas nas Figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 onde estão demonstradas as alterações nos perfis destas curvas devido às remoções de proteínas e lipídios para os diferentes grupos de amostras estudados.

A Tabela 8 contém os valores quantitativos obtidos nas curvas viscoamilográficas do Grupo 4 (alta amilose), e na Figura 4 estão expostos os perfis representativos destas curvas viscoamilográficas, onde estão demonstradas as alterações nos mesmos devido as remoções de proteínas e lipídios, individualmente ou simultaneamente.

Tabela 8 - Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 4 (alta amilose) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

| Constituinte Reduzido da Farinha* | Parâmetros Viscoamilográficos |                           |                     |                        |                        |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
|                                   | Viscosidade Máxima            | Viscosidade Mínima a 95°C | Quebra              | Viscosidade Final      | Retrogradação          |
| Nenhum                            | 3106,50 <sup>a</sup>          | 2591,00 <sup>a</sup>      | 515,50 <sup>a</sup> | 6130,50 <sup>a</sup>   | 3539,50 <sup>a</sup>   |
| Lipídios                          | 2477,00 <sup>a,b</sup>        | 2421,50 <sup>a,b</sup>    | 77,00 <sup>d</sup>  | 5016,50 <sup>a,b</sup> | 2595,00 <sup>b,c</sup> |
| Lipídios e Proteínas              | 2206,50 <sup>b</sup>          | 1948,50 <sup>b,c</sup>    | 258,00 <sup>c</sup> | 4028,00 <sup>b</sup>   | 2079,50 <sup>c</sup>   |
| Proteínas                         | 2247,50 <sup>b</sup>          | 1825,00 <sup>c</sup>      | 422,50 <sup>b</sup> | 4537,00 <sup>b</sup>   | 2712,00 <sup>b</sup>   |

\*Redução de lipídios realizada com éter de petróleo (Soxhlet).

\*\*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ao nível de 95% de confiança.

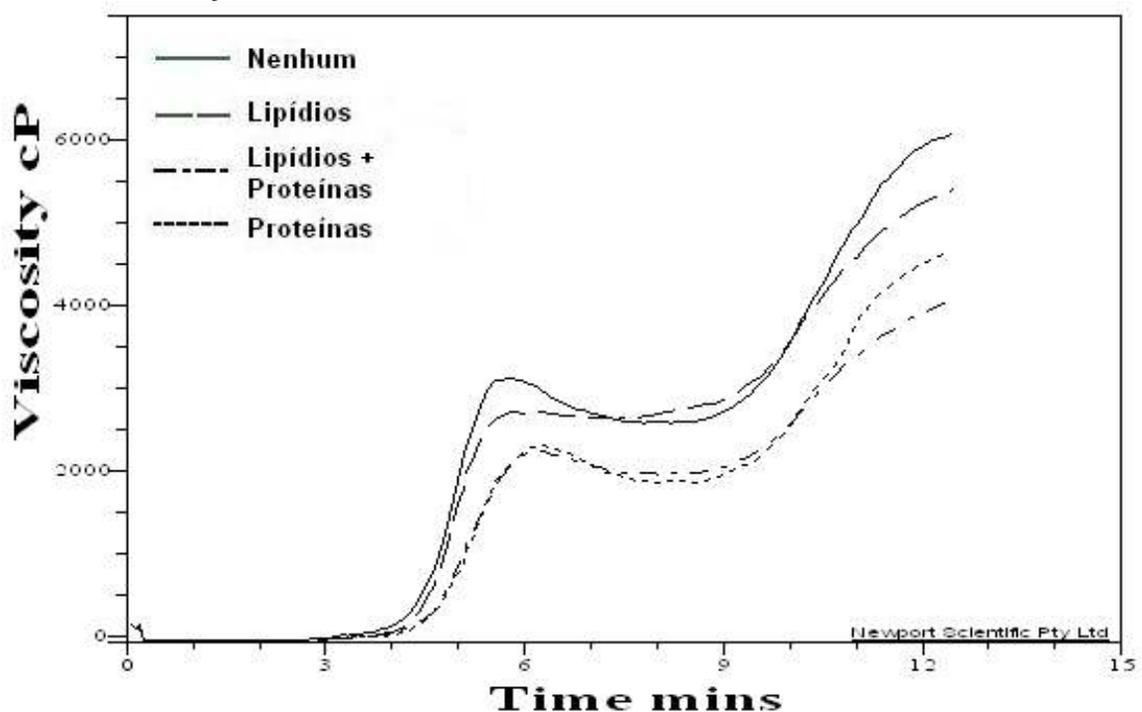


Figura 4 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes reduções de constituintes para o Grupo 4 (alta amilose) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

Foi observado na Tabela 8, que a redução de lipídios apresentou para as curvas viscoamilográficas valores estatisticamente iguais para viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C e viscosidade final em relação à curva sem a redução de qualquer constituinte. Na Figura 4, percebeu-se, no entanto, uma alteração no perfil da curva viscoamilográfica em função da redução de lipídios, onde o pico de viscosidade máxima foi destruído aproximando-se ao valor de viscosidade mínima, o que também foi confirmado pelo menor valor de quebra (Tabela 8) estando em torno de 15% do valor da curva sem a redução de lipídios e proteínas. Isto sugeriu que houve uma alteração parcial do amido, tipo uma gelatinização, reduzindo o perfil do pico de viscosidade máxima.

Complementarmente, não foi observado um aumento na viscosidade final como o esperado para a redução de lipídios, que eventualmente complexam com amilose inibindo a retrogradação, conforme citado por Hosney (1994). Pôde-se, outrossim, observar que a ação das enzimas proteolíticas pareceu promover uma remoção da proteção dos grânulos de amido, o que ocasionou uma redução significativa em todos os valores do perfil da curva viscoamilográfica quando comparado com o tratamento da farinha normal.

O objetivo da utilização da redução de lipídios e da ação da enzima proteolítica foi avaliar o efeito destes constituintes nos perfis das curvas viscoamilográficas. Desta forma, tentando uma possível melhora na correlação da amilose e parâmetros da viscosidade final. Essa seria uma forma de utilizar o RVA como um instrumento rápido de determinação indireta da faixa de teor de amilose conforme os quatro grupos de amostras testados. No entanto, foi observado que o valor de viscosidade final do tratamento somente com protease é maior numericamente, embora estatisticamente igual, ao tratamento com redução de proteínas e lipídios, o que não era o esperado.

Suspeitando que o método de extração de lipídios pudesse ter influenciado neste resultado, em função do calor envolvido no processo, e que a extração com éter de petróleo não removesse os lipídios complexados com amilose, decidiu-se utilizar um método de extração a frio (Bligh e Dyer), o qual contivesse metanol similar ao proposto no método de quantificação de amilose.

Na Tabela 9 estão apresentados os valores quantitativos obtidos nas curvas viscoamilográficas do Grupo 4 (alta amilose) e na Figura 5 estão expostos os perfis

representativos destas curvas, onde estão demonstradas as alterações nos mesmo devido às reduções de proteínas e lipídios, individualmente ou simultaneamente, utilizando método de Bligh e Dyer para redução lipídica.

Tabela 9 - Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 4 (alta amilose) para as diferentes remoções de constituintes estudadas utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.

| Constituinte         | Parâmetros Viscoamilográficos |                           |                     |                      |                      |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|                      | Viscosidade Máxima            | Viscosidade Mínima a 95°C | Quebra              | Viscosidade Final    | Retrogradação        |
| Nenhum               | 3106,50 <sup>a</sup>          | 2591,00 <sup>b</sup>      | 515,50 <sup>a</sup> | 6130,50 <sup>a</sup> | 3539,50 <sup>a</sup> |
| Lipídios             | 2955,00 <sup>b</sup>          | 2825,50 <sup>a</sup>      | 129,50 <sup>c</sup> | 5296,50 <sup>b</sup> | 2471,00 <sup>b</sup> |
| Lipídios e proteínas | 2356,50 <sup>c</sup>          | 2220,50 <sup>c</sup>      | 136,00 <sup>c</sup> | 3622,00 <sup>d</sup> | 1409,00 <sup>c</sup> |
| Proteínas            | 2247,50 <sup>c</sup>          | 1825,00 <sup>d</sup>      | 422,50 <sup>b</sup> | 4537,00 <sup>c</sup> | 2712,00 <sup>b</sup> |

\*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ao nível de 95% de confiança.

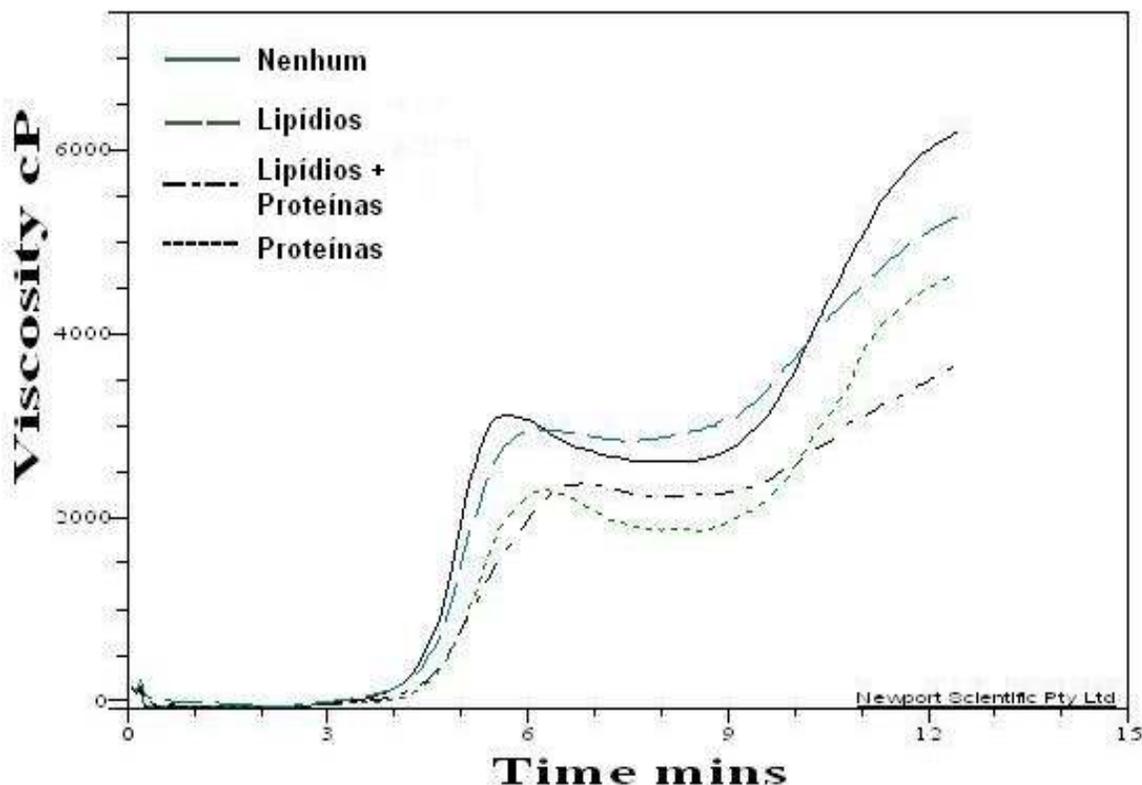


Figura 5 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 4 (alta amilose).

Pôde-se observar na Tabela 9 que para o tratamento com redução de lipídios e proteínas houve uma redução numérica de praticamente todos os parâmetros quantitativos da curva viscoamilográfica, exceto para a viscosidade mínima a 95°C, que se apresentou menor para o tratamento de redução de proteínas com enzima proteolítica. Analisando os perfis das curvas viscoamilográficas gerados, percebeu-se que apesar da redução de lipídios por Bligh e Dyer não envolver temperatura neste processo, o mesmo gerou curvas viscoamilográficas sem um pico definido de viscosidade máxima, igualmente ao observado na extração contínua em aparelho Soxhlet.

O processo de extração de lipídios contribuiu para a alteração do perfil acentuado do pico de viscosidade máxima no processo de cozimento, possivelmente em função de um potencial complexo proteína-amido inicial durante o cozimento. Analisando a Figura 5, os perfis das curvas viscoamilográficas que sofreram o processo de extração lipídica por Bligh e Dyer apresentaram um comportamento de retrogradação linear, diferentemente aos tratamentos sem nenhuma remoção de

lipídios e proteínas ou com ação da enzima proteolítica isoladamente, os quais apresentaram um comportamento visualmente observado de dois estágios de inclinação na retrogradação (Figura 5).

A Tabela 10 contém os valores quantitativos obtidos nas curvas viscoamilográficas, mostradas na Figura 6, onde estão demonstradas as alterações nos perfis das curvas viscoamilográficas devido às reduções de proteínas e lipídios para o Grupo 3 (média amilose) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

Tabela 10 - Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 3 (média amilose) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

| Constituinte Reduzido da Farinha* | Parâmetros Viscoamilográficos |                           |                       |                      |                      |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
|                                   | Viscosidade Máxima            | Viscosidade Mínima a 95°C | Quebra                | Viscosidade Final    | Retrogradação        |
| Nenhum                            | 3019,70 <sup>a</sup>          | 1737,00 <sup>a</sup>      | 1282,70 <sup>a</sup>  | 3616,30 <sup>a</sup> | 1879,30 <sup>a</sup> |
| Lipídios                          | 2587,50 <sup>b</sup>          | 1675,00 <sup>a</sup>      | 912,00 <sup>b</sup>   | 3554,00 <sup>a</sup> | 1878,50 <sup>a</sup> |
| Lipídios e Proteínas              | 2216,00 <sup>b</sup>          | 1418,50 <sup>b</sup>      | 797,50 <sup>b,c</sup> | 2965,50 <sup>b</sup> | 1596,50 <sup>b</sup> |
| Proteínas                         | 2012,00 <sup>c</sup>          | 1325,00 <sup>b</sup>      | 687,00 <sup>c</sup>   | 2880,00 <sup>b</sup> | 1555,00 <sup>b</sup> |

\*Redução de lipídios realizada com éter de petróleo (Soxhlet).

\*\*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ao nível de 95% de confiança.

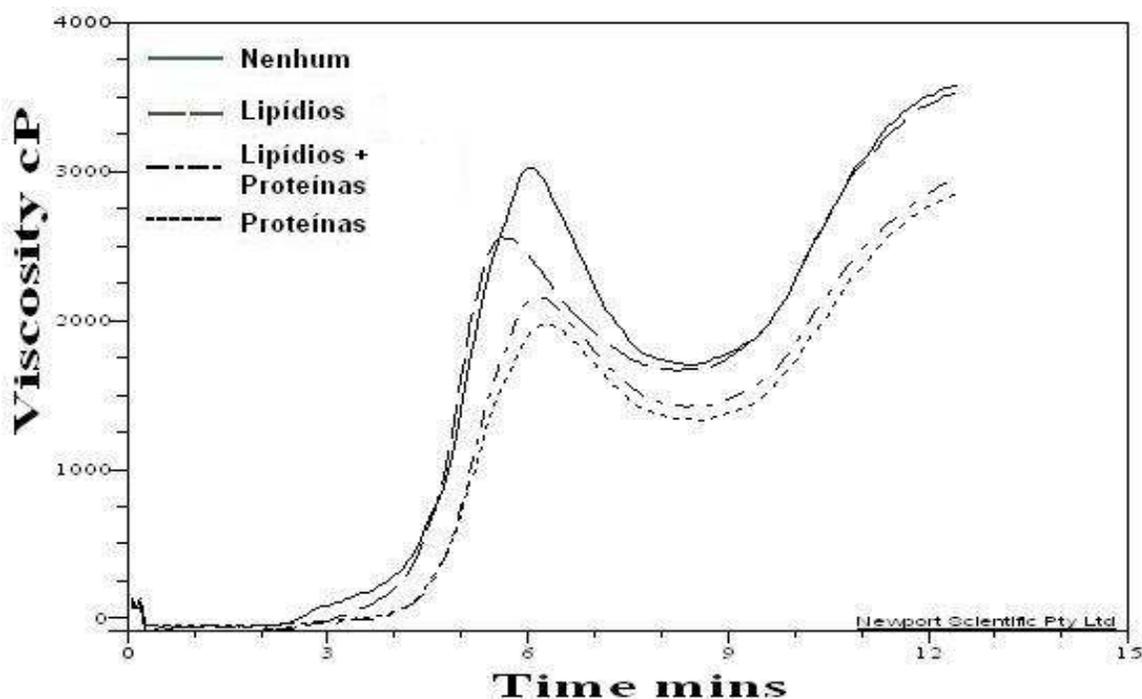


Figura 6 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 3 (média amilose) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

De acordo com a Tabela 10, verificou-se que para os tratamentos com e sem redução de lipídios, apenas, os mesmos não apresentaram diferença significativa para os parâmetros de viscosidade mínima a 95°C, viscosidade final e retrogradação. Isto indicou que para a faixa do teor médio de amilose, a concentração de lipídios presentes não foram proporcionalmente suficientes para modificar significativamente estes parâmetros, especialmente na retrogradação, como também pode ser observado para o Grupo 4 (alta amilose).

Conforme observado na Figura 6, o perfil da curva viscoamilográfica para o Grupo 3 (média amilose) sem redução de seus constituintes lipídios e proteínas e o mesmo com a redução de proteínas foram de perfil (shape) semelhantes, porém todos os parâmetros deste apresentaram-se significativamente menores, dados estes em consonância com os valores médios da triplicata da Tabela 10. O comportamento dos perfis das curvas viscoamilográficas para o tratamento de redução de lipídios se mostrou muito semelhante ao da redução de lipídios e proteínas, guardando a semelhança na forma do perfil (shape) citada anteriormente.

Como foi observado, quando removido os lipídios, houve uma redução significativa da viscosidade máxima. Neste processo, houve também uma redução da quebra, o que já havia sido constatado para os resultados obtidos do Grupo 4, quando removido este constituinte. Entretanto, não ocorreu a destruição do pico de viscosidade máxima, perdendo sua definição conforme apresentado no grupo de amostras de alta amilose. Este resultado atenuou a suspeita de que o método de extração de lipídios com éter de petróleo teria afetado termicamente o amido a ponto de destruir seu pico de viscosidade máxima.

A Tabela 11 contém os valores quantitativos obtidos nas curvas viscoamilográficas, mostradas na Figura 7, onde estão demonstradas as alterações nos perfis das curvas viscoamilográficas devido às reduções de proteínas e lipídios para o Grupo 3 (média amilose) utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.

Tabela 11 - Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 3 (média amilose) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.

| Constituinte         | Parâmetros Viscoamilográficos |                           |                      |                      |                      |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                      | Viscosidade Máxima            | Viscosidade Mínima a 95°C | Quebra               | Viscosidade Final    | Retrogradação        |
| Nenhum               | 3019,70 <sup>a</sup>          | 1737,00 <sup>b</sup>      | 1282,70 <sup>a</sup> | 3616,30 <sup>a</sup> | 1879,30 <sup>a</sup> |
| Lipídios             | 3013,50 <sup>a</sup>          | 2345,50 <sup>a</sup>      | 668,00 <sup>b</sup>  | 3853,50 <sup>a</sup> | 1508,00 <sup>b</sup> |
| Lipídios e proteínas | 2091,50 <sup>b</sup>          | 1794,50 <sup>b</sup>      | 297,00 <sup>c</sup>  | 2705,50 <sup>b</sup> | 911,00 <sup>c</sup>  |
| Proteínas            | 2012,00 <sup>b</sup>          | 1325,00 <sup>c</sup>      | 687,00 <sup>b</sup>  | 2880,00 <sup>b</sup> | 1555,00 <sup>b</sup> |

\*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ao nível de 95% de confiança.

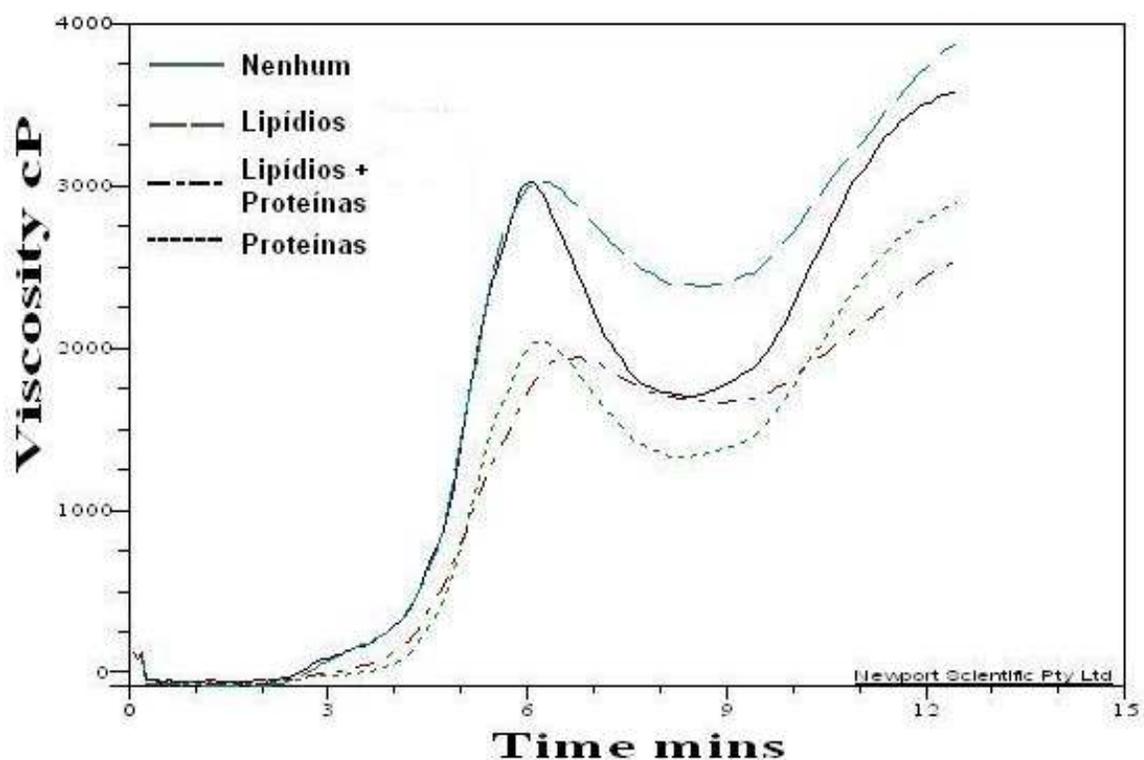


Figura 7 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 3 (média amilose) utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.

Observou-se na Tabela 11 que houve um aumento significativo da viscosidade final quando se reduziu o conteúdo lipídico por Bligh e Dyer. Este pareceu atuar nos complexos lipídio-amilose mais intensamente, desfazendo este complexo, o que potencialmente permitiu sua maior lixiviação. A amilose lixiviada apresenta maior mobilidade o que repercutiu no aumento significativo da viscosidade final.

Observou-se nesta mesma tabela, que ao se reduzir os lipídios, o parâmetro de viscosidade máxima foram significativamente iguais ao da farinha normal (sem redução de proteínas e/ou lipídios). A viscosidade mínima a 95°C se apresentou numericamente superior ao da farinha normal. Isto levou a suspeitar que no tempo do ensaio do RVA, a enzima proteolítica não conseguiu degradar a proteína tratada por Bligh e Dyer, que contém metanol e sulfato de sódio e potássio, o que eventualmente resultou numa maior interação amido-proteína aumentando sua resistência a ação desta enzima. Este fenômeno não pôde ser observado no Grupo

4, possivelmente devido ao alto teor de amilose presente, que eventualmente cumpriu o mesmo papel da proteína de evitar a quebra dos grânulos de amido.

A Tabela 12 contém os valores quantitativos obtidos nas curvas viscoamilográficas, mostradas na Figura 8, onde estão demonstradas as alterações nos perfis das curvas viscoamilográficas devido às reduções de proteínas e lipídios para o Grupo 2 (baixa amilose) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

Tabela 12 - Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 2 (baixa amilose) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

| Constituinte         | Parâmetros Viscoamilográficos |                           |                      |                      |                      |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                      | Viscosidade Máxima            | Viscosidade Mínima a 95°C | Quebra               | Viscosidade Final    | Retrogradação        |
| Nenhum               | 3392,00 <sup>a</sup>          | 1464,00 <sup>b</sup>      | 1928,00 <sup>a</sup> | 2898,00 <sup>b</sup> | 1434,00 <sup>b</sup> |
| Lipídios             | 3446,00 <sup>a</sup>          | 1940,50 <sup>a</sup>      | 1505,50 <sup>b</sup> | 3611,50 <sup>a</sup> | 1671,00 <sup>a</sup> |
| Lipídios e Proteínas | 2243,50 <sup>b</sup>          | 1156,50 <sup>c</sup>      | 1087,00 <sup>c</sup> | 2311,00 <sup>c</sup> | 1154,50 <sup>c</sup> |
| Proteínas            | 2049,50 <sup>c</sup>          | 1018,00 <sup>d</sup>      | 1031,50 <sup>c</sup> | 2136,50 <sup>d</sup> | 1118,50 <sup>c</sup> |

\* Remoção de lipídios realizada com éter de petróleo (Soxhlet)

\*\*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ao nível de 95% de confiança.

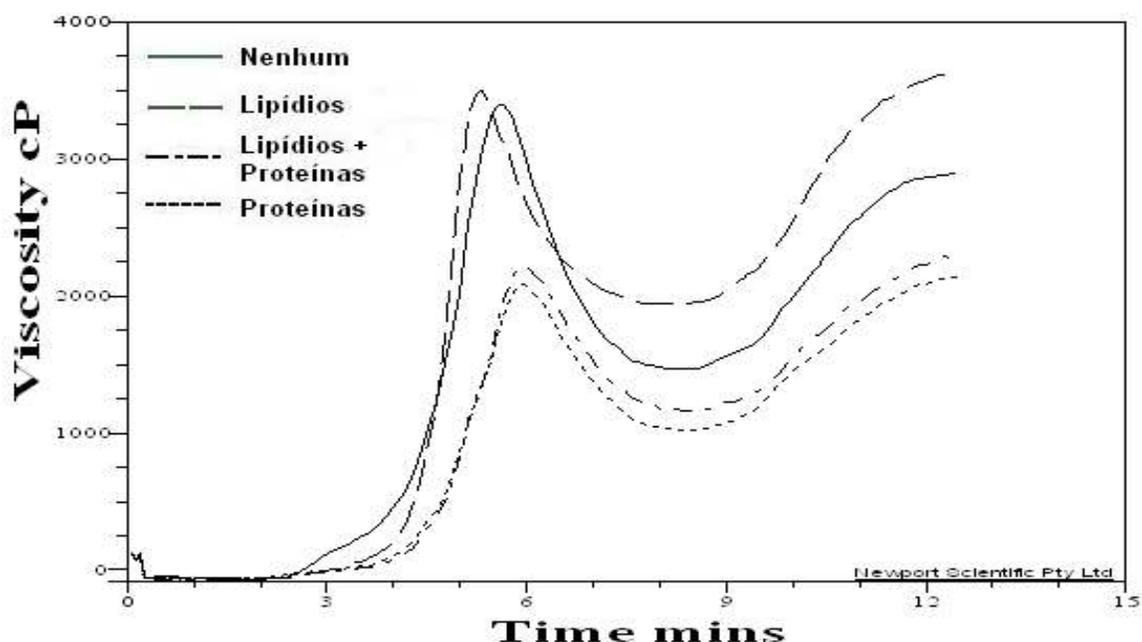


Figura 8 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 2 (baixa amilose) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

Dados da Tabela 12 permitiram afirmar que um baixo teor de amilose influenciou na viscosidade final das curvas viscoamilográficas de forma que ficaram estatisticamente iguais à viscosidade máxima para os tratamentos de remoção lipídica com éter de petróleo. Os tratamentos de redução de proteína com enzima proteolítica reduziram proporcionalmente todos os parâmetros sem afetar o perfil da curva viscoamilográfica de quebra e retrogradação típicos de um amido com baixa amilose.

Como foi demonstrado para os grupos 3 (média amilose) e 4 (alta amilose), foi realizado o método de Bligh e Dyer para a remoção de lipídios também neste grupo de amostras. Os valores quantitativos médios obtidos nas curvas viscoamilográficas estão expostos na Tabela 13, e os perfis representativos das curvas viscoamilográficas exemplificados na Figura 9, onde demonstram as alterações nos perfis destas curvas devido as remoções de proteínas, lipídios, lipídios e proteínas para o Grupo 2 (baixa amilose).

Tabela 13 - Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 2 (baixa amilose) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.

| Constituinte            | Parâmetros Viscoamilográficos |                        |                                 |                        |                      |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------|
|                         | Reduzido da<br>Farinha        | Viscosidade<br>Máxima  | Viscosidade<br>Mínima a<br>95°C | Quebra                 | Viscosidade<br>Final |
| Nenhum                  | 3392,00 <sup>a</sup>          | 1464,00 <sup>a,b</sup> | 1928,00 <sup>a</sup>            | 2898,00 <sup>a,b</sup> | 1434,00 <sup>a</sup> |
| Lipídios                | 3282,00 <sup>a</sup>          | 2097,50 <sup>a</sup>   | 1189,50 <sup>b</sup>            | 3598,00 <sup>a</sup>   | 1500,5 <sup>a</sup>  |
| Lipídios e<br>Proteínas | 2065,50 <sup>b</sup>          | 1444,50 <sup>a,b</sup> | 621,00 <sup>c</sup>             | 2301,00 <sup>b</sup>   | 856,50 <sup>c</sup>  |
| Proteínas               | 2049,50 <sup>b</sup>          | 1018,00 <sup>b</sup>   | 1031,50 <sup>b</sup>            | 2136,50 <sup>b</sup>   | 1118,50 <sup>b</sup> |

\*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ao nível de 95% de confiança.

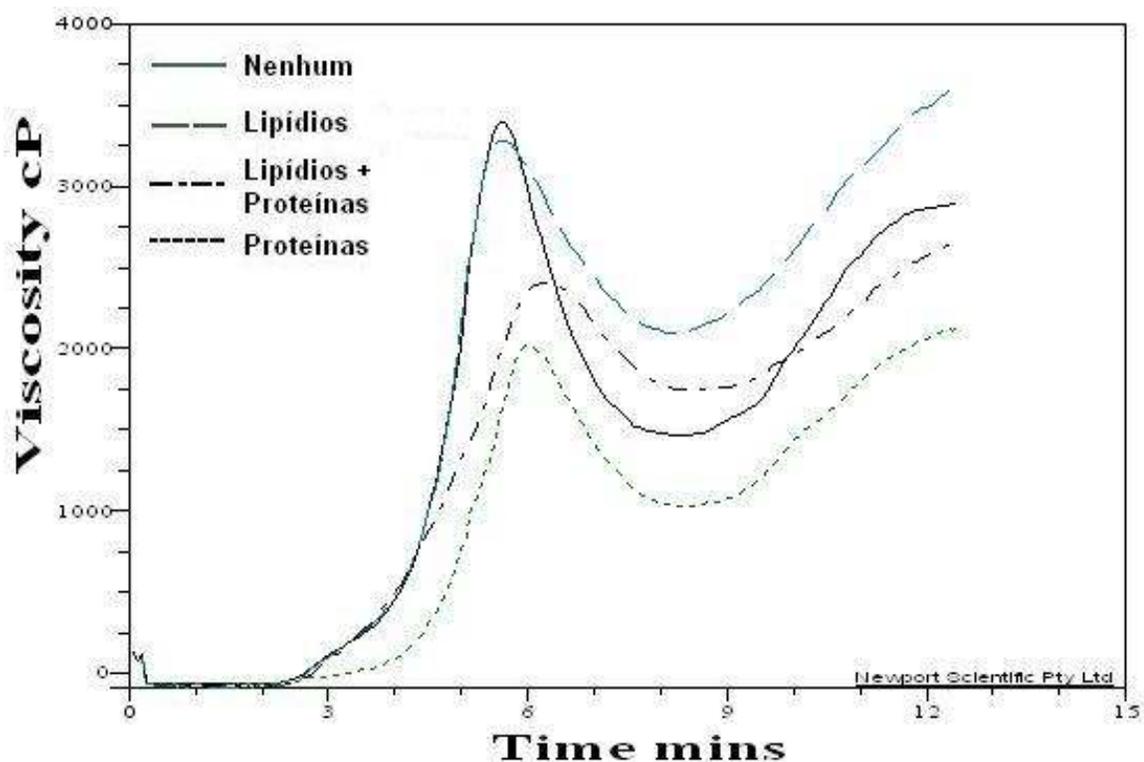


Figura 9 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 2 (baixa amilose) utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.

Conforme observado na Figura 9, o perfil da curva viscoamilográfica para o Grupo 2 sem redução de lipídios e proteínas e a mesma com a redução somente de proteínas são semelhantes, porém todos os parâmetros desta apresentaram-se significativamente menores, dados estes em consonância com os valores médios da triplicata da Tabela 13. O comportamento dos perfis das curvas viscoamilográficas para o tratamento de redução de lipídios se mostrou muito semelhante ao da redução de lipídios e proteínas, porém apesar da pequena concentração que os mesmos se encontram na matriz do grão de arroz são suficientes para causar uma mudança no perfil da curva viscoamilográfica deste grupo de amostras na parte da retrogradação, mesmo quando simultaneamente submetido à redução de proteínas. Os dois métodos de remoção de lipídios tiveram um comportamento semelhante.

Estes resultados encontrados para o Grupo 2 geraram dois questionamentos principais: (i) por que a ação da enzima proteolítica (protease) após a redução de lipídios produziu um gel com viscosidade maior que um tratamento somente de

redução de proteínas; (ii) por que a redução dos lipídios aumentou os parâmetros de viscosidade da curva viscoamilográfica. Era esperado que não houvesse variação significativa na viscosidade máxima e que na ausência de lipídios houvesse uma maior retrogradação e viscosidade final. Isto se comprovou, embora não tenha acontecido com o Grupo 4 (amido com alto teor de amilose). Estimou-se que para o baixo teor de amilose, o teor de lipídios presente na amostra seja suficiente para alterar o parâmetro de viscosidade final.

A Tabela 14 contém os valores quantitativos obtidos das curvas viscoamilográficas, mostradas na Figura 10, onde estão demonstradas as alterações nos perfis das curvas viscoamilográficas devido às reduções de proteínas e lipídios para o Grupo 1 (tipo ceroso) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

Tabela 14 - Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 1 (tipo ceroso) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

| Constituinte         | Parâmetros Viscoamilográficos |                        |                           |                     |                      |                     |
|----------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|                      | Reduzido da Farinha*          | Viscosidade Máxima     | Viscosidade Mínima a 95°C | Quebra a            | Viscosidade Final    | Retrogradação       |
| Nenhum               |                               | 1850,00 <sup>a</sup>   | 929,00 <sup>a</sup>       | 921,00 <sup>a</sup> | 1158,00 <sup>a</sup> | 229,00 <sup>b</sup> |
| Lipídios             |                               | 1477,00 <sup>a,b</sup> | 1222,00 <sup>a</sup>      | 255,00 <sup>a</sup> | 1482,00 <sup>a</sup> | 260,00 <sup>a</sup> |
| Lipídios e Proteínas |                               | 1438,00 <sup>a,b</sup> | 855,00 <sup>a</sup>       | 497,50 <sup>a</sup> | 1040,00 <sup>a</sup> | 185,00 <sup>c</sup> |
| Proteínas            |                               | 797,00 <sup>b</sup>    | 309,00 <sup>b</sup>       | 488,00 <sup>b</sup> | 434,50 <sup>b</sup>  | 125,50 <sup>d</sup> |

\* Remoção de lipídios realizada com éter de petróleo (Soxhlet)

\*\*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ao nível de 95% de confiança.

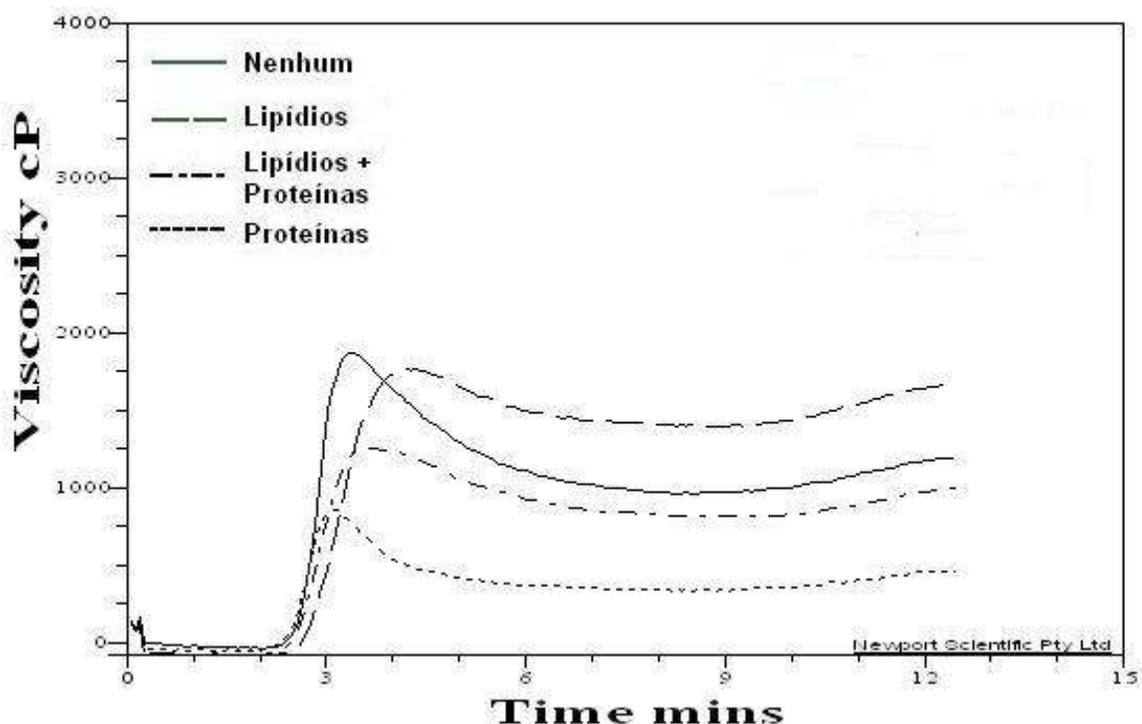


Figura 10 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes remoções de constituintes do Grupo 1 (tipo ceroso) utilizando extração contínua com éter de petróleo para redução lipídica.

Conforme os dados da Tabela 14, pode-se observar que os parâmetros do Grupo 1 são estatisticamente iguais para os tratamentos sem a redução de lipídios e proteínas e os mesmos com a redução de lipídios com ou sem a redução de proteínas simultaneamente. Observou-se nesta mesma tabela que houve uma tendência a queda de todos os parâmetros da curva viscoamilográfica quando removidos os constituintes, sendo apenas afetados pela redução de proteína.

Através das curvas expostas na Figura 10 observou-se que o perfil das curvas viscoamilográficas para os diferentes tratamentos estudados são semelhantes, mantendo o perfil (shape) para os mesmos.

A Tabela 15 contém os valores quantitativos obtidos das curvas viscoamilográficas, mostradas na Figura 11, onde estão demonstradas as alterações nos perfis das curvas viscoamilográficas devido às reduções de proteínas e lipídios para o Grupo 1 (tipo ceroso) utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.

Tabela 15 – Médias obtidas para os parâmetros de viscosidade máxima, viscosidade mínima a 95°C, quebra, viscosidade final e retrogradação para o Grupo 1 (tipo ceroso) para as diferentes reduções de constituintes estudadas utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.

| Constituinte         | Parâmetros Viscoamilográficos |                           |                      |                      |                     |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
|                      | Viscosidade Máxima            | Viscosidade Mínima a 95°C | Quebra a             | Viscosidade Final    | Retrogradação       |
| Nenhum               | 1850,00 <sup>c</sup>          | 929,00 <sup>c</sup>       | 921,00 <sup>a</sup>  | 1158,00 <sup>c</sup> | 229,00 <sup>b</sup> |
| Lipídios             | 3307,50 <sup>a</sup>          | 2026,50 <sup>a</sup>      | 1281,00 <sup>a</sup> | 2409,00 <sup>a</sup> | 382,50 <sup>a</sup> |
| Lipídios e Proteínas | 2439,00 <sup>b</sup>          | 1394,00 <sup>b</sup>      | 1045,00 <sup>a</sup> | 1618,50 <sup>b</sup> | 224,50 <sup>b</sup> |
| Proteínas            | 797,00 <sup>d</sup>           | 309,00 <sup>d</sup>       | 488,00 <sup>b</sup>  | 434,50 <sup>d</sup>  | 125,50 <sup>b</sup> |

\*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ao nível de 95% de confiança.

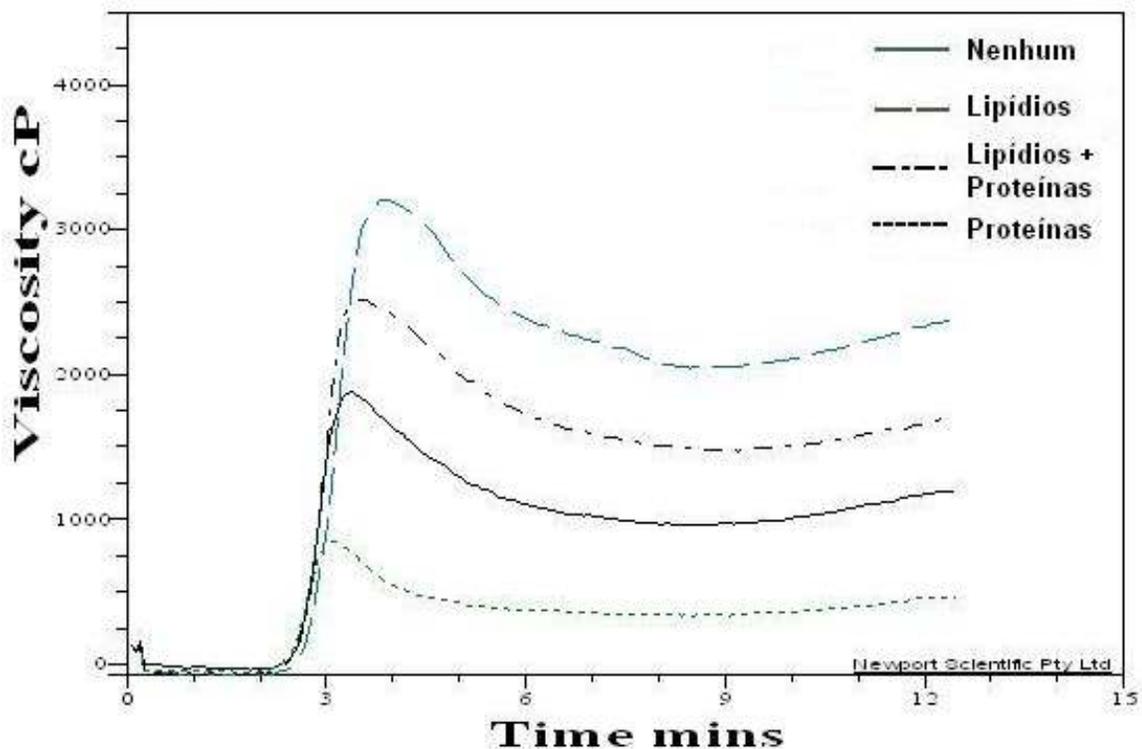


Figura 11 - Curvas viscoamilográficas representativas para as diferentes reduções de constituintes do Grupo 1 (tipo ceroso) utilizando Bligh e Dyer para redução lipídica.

De acordo com os dados expostos na Tabela 15 e Figura 11, pode-se observar que existiu uma redução significativa, ao nível de 95% de confiança, para todo perfil da curva viscoamilográfica quando utilizou-se protease para a redução da proteína presente no Grupo 1 em relação ao mesmo sem a redução de lipídios e proteínas.

Quando os lipídios foram removidos, observou-se um aumento significativo de todo o perfil da curva viscoamilográfica quando comparado com a curva sem a redução de nenhum constituinte. Considerando que o teor de amilose é muito pequeno e este grupo de amostras apresentou o maior teor de lipídios de todos os grupos analisados, foi possível supor que estes não estivessem complexados com amilose e que ao removê-los tivesse sido diminuída a hidrofobicidade do sistema, o que favoreceu seu maior intumescimento, conseqüentemente maior viscosidade. Por outro lado, quando as amostras desse grupo são removidos os conteúdos lipídico e protéico, observou-se que a redução do perfil da curva viscoamilográfica não foi tão intenso quanto a redução da viscosidade observada na farinha tratada somente com a redução de proteínas e ainda este se apresentou superior a curva sem a redução de nenhum constituinte. Foi, portanto, possível afirmar que a ação da protease, neste caso, foi reduzida devido à alguma interação da proteína-amido ocorrida durante o processo de redução de lipídios pelo método de Bligh e Dyer que contém clorofórmio, metanol e sulfato de potássio.

Pôde-se também especular que na ausência de amilose no grânulo de amido, a contribuição dos lipídios foi apenas para afinidade com água e não interferindo na viscosidade final, e que a proteína contribuiu para o aumento da viscosidade máxima devido ao aumento da resistência à destruição do grânulo durante todo o cozimento.

Como explicar, portanto, o aumento da viscosidade em função de, apenas, a remoção de lipídios? É possível que em função do maior teor de lipídios encontrados em todos grupos analisados e o método de extração de lipídios adotado, tenham contribuído para este aumento de viscosidade. O primeiro repelindo a água no processo e o segundo em função dos compostos presentes no sistema de extração que afetam a matriz protéica do grânulo de amido. Este processo de extração de lipídios pode ter interferido nas proteínas que recobrem os grânulos de amido, impedindo a sua remoção completa pela ação da enzima proteolítica.

Através dos dados expostos nas Tabelas 6 a 13 pôde-se observar que para os parâmetros estudados nas curvas viscoamilográficas, houve uma redução quantitativa de todos conforme a remoção dos constituintes lipídios e proteínas, demonstrando que os mesmos interferem nos pontos das curvas viscoamilográficas geradas. Martin e Fitzgerald (2002) observaram durante o ensaio viscoamilográfico de arroz, que tratando a sua farinha previamente com protease ocorria uma queda drástica na curva de viscosidade, demonstrando a contribuição da proteína na manutenção da estrutura dos grânulos de amido e o quanto seu teor afeta o perfil viscoamilográfico. Também observaram que as proteínas influenciam as curvas de viscosidade, agindo como uma barreira a absorção de água pelo grânulo de amido, aumentando sua resistência a quebra, evitando a sua desestruturação durante o cozimento. Lim et. al. (1999) reportam que o conteúdo de proteína na farinha de arroz tem uma relação inversamente proporcional ao pico de viscosidade máxima, esse fato foi também relatado por Tan e Corke (2002). De acordo com os autores citados anteriormente, o estudo da relação das proteínas nas características de viscosidade é de suma importância, na tentativa de encontrar uma correlação linear entre os constituintes secundários presentes na matriz do grão de arroz e suas propriedades após o cozimento.

Hoseney (1994) observou que lipídios complexam com amilose inibindo a retrogradação. Nos amidos de alto teor de amilose, não foi observado um aumento na viscosidade final como o esperado para a remoção de lipídios, no entanto, analisando os grupos com baixa e média amilose, observa-se este aumento.

Para entender melhor o comportamento da remoção de cada constituinte (lipídios e proteínas) individualmente ou simultaneamente nos parâmetros quantitativos dos perfis das curvas viscoamilográficas gerados no RVA, foi determinado as correlações ( $r^2$ ) confrontando o teor de amilose com cada parâmetro da curva viscoamilográfica para cada remoção destes constituintes.

#### 4.4 Correlações entre os constituintes reduzidos das farinhas e os parâmetros das curvas viscoamilográficas

A Tabela 16 apresenta as correlações ( $r^2$ ) encontradas entre os diferentes grupos de amostras estudados e a viscosidade máxima das curvas viscoamilográficas para os diferentes tratamentos de remoções envolvidas.

Tabela 16 – Correlações ( $r^2$ ) determinadas para os grupos de amostras estudados x viscosidade máxima.

| Constituinte Reduzido da Farinha | Viscosidade Máxima | Viscosidade Mínima a 95°C | Quebra | Viscosidade Final | Retrogradação |
|----------------------------------|--------------------|---------------------------|--------|-------------------|---------------|
| Nenhum                           | 0,7242             | 0,8241                    | 0,1672 | 0,9284*           | 0,8712        |
| Lipídios                         | 0,3826             | 0,4812                    | 0,0075 | 0,9371*           | 0,9843*       |
| Lipídios e Proteínas             | 0,8508             | 0,5266                    | 0,0268 | 0,9426*           | 0,9833*       |
| Proteínas                        | 0,9373*            | 0,9586*                   | 0,0046 | 0,9189*           | 0,8882        |

\*Correlação significativa ao nível de 10% de significância.

Pôde-se observar na Tabela 16 que as correlações entre os teores de amilose e a viscosidade máxima apresentaram uma baixa relação com a redução dos lipídios. Entretanto observou-se que ao se reduzir as proteínas obteve-se uma correlação acima de 0,93, o que demonstrou uma forte relação entre a redução do conteúdo protéico da matriz do grânulo de amido e a viscosidade máxima do gel de farinha de arroz. Estes resultados estão em consonância com o apresentado por Martin e Fitzgerald (2002), que a proteína ajuda a manter a estrutura do grânulo de amido de arroz. Pôde-se observar ainda que a redução de lipídios ou teve um efeito sobre a estrutura do grânulo ou o processo de extração afetou a proteína presente na matriz do mesmo complexando com os carboidratos ou se desnaturando e aumentando sua resistência à digestão proteolítica.

Nesta mesma tabela, observou-se que as correlações entre os teores de amilose e a viscosidade mínima apresentaram uma baixa relação com a redução de lipídios, conforme observado para o parâmetro de viscosidade máxima. Entretanto

observou-se que ao se reduzir as proteínas obteve-se uma correlação acima de 0,95, o que demonstrou uma relação ainda melhor entre a redução do conteúdo protéico da matriz do grânulo de amido e a viscosidade mínima do gel de farinha de arroz. Este resultado ainda sugeriu que este parâmetro foi o mais confiável para demonstrar as características da estrutura do grânulo em função da sua resistência ao rompimento durante o cozimento à temperatura constante (95°C).

Para o parâmetro de quebra das curvas viscoamilográficas dos géis de farinha de arroz, foi observado nesta mesma tabela que foi proporcional as oscilações encontradas nos parâmetros de viscosidade máxima e viscosidade mínima a 95°C em função dos tratamentos estudados.

Pôde-se observar que o parâmetro de viscosidade final sem a redução dos constituintes lipídios e proteínas já apresentou uma correlação de 0,92 entre os teores de amilose e seus valores quantitativos para este parâmetro. Ao se reduzir os lipídios e proteínas, obteve-se uma correlação de 0,94. Isto demonstrou que ser possível estimar rapidamente o teor de amilose pelos resultados da curva viscoamilográfica obtidos para o gel de farinha de arroz tratado com protease e redução de lipídios.

Observa-se nesta mesma tabela que a farinha com redução de lipídios apresentou uma correlação mais alta para o parâmetro de retrogradação, o que demonstrou que ao se tratar a farinha de arroz com a redução de lipídios, a mesma apresentou para este parâmetro uma correlação acima de 0,98, fato também observado para a redução de lipídios e proteínas. Ao obter-se essa relação entre os aumentos do valor quantitativo para o parâmetro de retrogradação e os teores de amilose, pode-se estimar qual faixa de amilose se encontra uma determinada cultivar de arroz frente à retrogradação determinada através do RVA.

Verificou-se também que ambos os parâmetros, viscosidade final e retrogradação, apresentaram uma forte correlação entre o teor de amilose e a redução de seus constituintes (lipídios e proteínas). Porém, somente para o parâmetro viscosidade final, todos os tratamentos apresentaram correlações maiores que 0,90 demonstrando que este foi o parâmetro de maior confiabilidade das curvas viscoamilográficas, independente do teor de amilose. Isto se deve a que este fenômeno está relacionado neste tempo de medida (resfriamento rápido) principalmente com a capacidade da amilose lixiviada de atribuir rigidez (alta

viscosidade) ao gel formado. Entretanto, sem poder avaliar os resultados das curvas viscoamilográficas de grãos de arroz com variadas concentrações de proteína para a mesma cultivar, não se pode fazer uma afirmação tão categórica. Portanto, propõe-se adotar o parâmetro de retrogradação em amidos com redução de lipídios e proteínas como melhor estimativa, julgando em função da confiabilidade acima de 0,95 para o parâmetro de viscosidade mínima x teor de amilose.

## 5 CONCLUSÕES

a) é possível estimar a faixa do teor de amilose a partir do parâmetro de viscosidade final da curva amilográfica do gel de farinha de arroz tratado com protease e remoção de lipídios.

b) o teor de amilose e atributos de textura, como coesividade e adesividade, medidos em texturômetro apresentam altos coeficientes de correlação entre si. O teor de amilose e o parâmetro de viscosidade final das curvas viscoamilográficas de farinha de arroz quando submetida aos diferentes tratamentos estudados apresentam, para todos, altas correlações. A remoção do conteúdo protéico apresentou a melhor correlação com o parâmetro de viscosidade máxima do gel de farinha de arroz para os grupos de diferentes teores de amilose analisados.

c) a retrogradação das curvas viscoamilográficas e o atributo adesividade de textura instrumental são inversamente proporcionais, indicando que o grão de arroz com maior teor de amilose apresenta-se, após o cozimento, mais solto.

d) o RVA associado ao texturômetro permite o estabelecimento de correlações numéricas de seus resultados, com confiabilidade de 95%, que permite prever as características de consumo de uma cultivar de arroz, indiretamente estimando a faixa do teor de amilose da cultivar analisada.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC – AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Aproved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9ª ed. St Paul, 1995.

AMATO, G. W; ELIAS, M.C.; **A Parboilização do Arroz**, Porto Alegre, Ricardo Lenz Editor, 160p, 2005.

AOAC – AMERICAN ASSOCIATION OF OFFICIAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis International**. 16 ed., CUNNIFF, P. A., ed., Washington DC, p. 55, 1995.

BANKS, W.; GREENWOOD, C.T. On hydrogen bonding in amylose. **Byopolimers**, v. 11, p. 321-323, 1972.

BAXTER, G.; BLANCHARD, C.; ZHAO, J. Effects os prolamin on the textural and pasting properties of rice flour and starch. **Journal of Cereal Science**, v. 40, p. 205-211, 2004.

BECHTEL, D. B.; POMERANZ, Y. Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza sativa*) caryopsis. The starchy endosperm. **American Journal of Botany**, v. 65, p. 684-691, 1978.

BHATTACHARYA, K. R.; SOWBHAGYA, C. M. Water uptake by rice during cooking, *Cereal Science Today*, v. 16, p. 420-424, 1971.

BILIADERIS, C.G. The structure and interactions of starch with food constituents, **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 69, n. 1, p. 60-78, 1991.

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

BUSHUK, W. Interaction in wheat doughs. In: Interactions: The keys to cereal quality. **American Association of Cereal Chemists**, 1998.

CAGAMPANG, G.B., CRUZ, L.J., ESPIRITU, S.G., SANTIAGO, R.G., JULIANO, B.O. Studies on the extraction and composition of rice proteins. **Cereal Chemistry**, v. 43, p. 145–155, 1966.

CALDWELL, E. F.; FAST, R. B.; IEVOLELLA, J.; LAUHOFF, C.; LEVINE, H.; MILLER, R. C.; SLADE, L.; STRAHM, B. S.; WHALEN, P.J. Cooking of ready-to-eat breakfast cereals. **Cereal Chemistry**, v. 45, p. 244-252, 2000.

CARDOSO, M.B. Características químicas e tecnológicas de farinhas mistas de arroz e trigo para elaboração de sopas, 2004. 51f. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Pelotas.

CASTRO, E.M.; VIEIRA, N.R.A.; RABELO, R.R.; SILVA, S.A. Qualidade de grãos em arroz. **Embrapa Arroz e Feijão: Circular Técnica**, 30p, 1999.

CEREDA, M. P. et al. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo, Fundação Cargill, 221 p. (Série: Culturas de tuberosas amiláceas Latino-americanas, v. 1, 2001.

CHAMPAGNE, E. T.; BETT, K. L.; VINYARD, B.T.; MCCLUNG, A.M.; BARTON II, F.E.; MOLDENHAUER, K.; LINSCOMBE, S.; MCKENZIE, K. Correlation Between Cooked Rice Texture and Rapid Visco Analyser. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 764-771, 1999.

CHANDRASHEKAR, A.; KIRLEIS, A. W. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. **Cereal Chemistry**, v. 65, p. 457-462, 1988.

CHRASTIL, J. Protein-starch interactions in rice grains. Influence of storage on oryzenin and starch. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 38, p. 1804-1809, 1990.

CHRASTIL, J. Stickness of oryzenin and starch mixtures of preharvest and postharvest rice grains. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 42, p. 2147-2151, 1994.

CHRASTIL, J.; ZARINS, Z. Influence of storage on peptides subunits composition of rice oryzenin. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 40, p. 927-930, 1992.

CHRASTIL, J.; ZARINS, Z. Changes in peptide subunit composition of albumins, globulins, prolamines and oryzenin in maturing rice grains. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 42, p. 2152-2155, 1994.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em [www.conab.com.br](http://www.conab.com.br); acesso em março de 2008

COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M.C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v. xxx, p. 1-8, 2008.

DELCOUR, J.A.; VANDEPUTTE, G.E.; VERMEYLEN, R.; GEEROMS, J. Rice Starches I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behavior of granular starch. **Journal of Cereal Science**, v. 3, p. 43-52, 2003.

DERICKE, V.; VERAVERBEKE, W.S.; VANDEPUTTE, G.E.; DE MAN, W.; HOSENEY, R.C. e DELEOUR, J.A. Impact of Proteins and Cooking Properties of Nonparboiled and Parboiled Rice. **Cereal Chemistry**, v. 82, p. 468-474, 2005.

DONALD, A.M.; JENKINS, P.J. The influence of amylase on starch granule structure. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 17, n. 6, p. 315-321, 1995.

EL-DASH, A.A.; NABESHIMA, E.H. Modificação química da farinha de arroz como alternativa para o aproveitamento dos subprodutos do beneficiamento do arroz. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos – CEPPA**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 107-120, jan./jun. 2004.

FAO – Food and Agriculture Organization. Disponível em [HTTP://www.fao.org/rice2004](http://www.fao.org/rice2004) acesso em Fevereiro de 2006.

HAMAKER, B. F.; GRIFFIN, V. K. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. **Cereal Chemistry**, v. 67, p. 261-264, 1990.

HANASHIRO, I.; ABE, J.; HIZUKURI, S. A periodic distribution of the chain length of amylopectin as revealed by high performance anion exchange chromatography. **Carbohydrate Polymers**, v. 283, p. 151-159, 1996.

HARRIS, N.; JULIANO, B. O. Ultrastructure of endosperm protein bodies in developing rice grains differing in protein content. **Annals of Botany**, v. 41, p. 1-5, 1977.

HEINECK, M.E.; CARDOSO, M.B.; GIACOMELLI, F.C.; SILVEIRA, N.P. Evidences of amylose coil-to-helix transition in stored dilute solutions. **Polymer**, v. 49, p. 4386-4392, 2008.

HOOVER, R. Composition, molecular structure and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, p. 253-267, 2001.

HOSENEY, R.C., Principles of Cereal Science and Technology, Second Edition, 378p, American Association of Cereal Chemists, 1994.

IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz. Disponível em [HTTP://www.irga.rs.gov.br](http://www.irga.rs.gov.br) acesso em março de 2008.

JULIANO, B. O.; CAGAMPANG, G. B.; CRUZ, L. J.; SANTIAGO, R. G. Some physicochemical properties of rice in southeast Ásia. **Journal Series**, v. 20, p. 275-285, 1964.

JULIANO, B.O.; ONATE, L.U.; DEL MUNDO, A.M. Relation of starch composition, protein content, and gelatinization temperature to cooking and eating quality of milled rice. **Food Technology**, v. 19, p. 1006–1011, 1965.

LAI, L. S.; CHAO, S. J.; Effects of salts on the thermal reversibility of starch and Hsain-tsao (*Mesona procumbens* Hemsl) leaf gum mixed system. **Journal of Food Science**, v. 65, p. 954-959, 2000.

LASZTITY, R. The Chemistry of Cereal Proteins. **CRC Press**, Boca Raton, Florida, p. 165 –176, 1984.

LIM, H.S.; LEE, J.H.; SHIN, D.H.; LIM, H.S. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting process. **Starch/Stärke**, v. 51, p. 120-125, 1999.

LIN, P. Y.; CZUCHAJOWSKA, Z. Role of phosphorous in viscosity, gelatinization and retrogradation of starch. **Cereal Chemistry**, v. 75, p. 705-709, 2000.

LYON, B.G.; CHAMPAGNE, E.T.; VINYARD, B.T.; WINDHAM, W.R. Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices. **Cereal Chemistry**, v. 77, p. 64-69, 2000.

MARTIN, M.; FITZGERALD, M. A. Proteins in rice grains influence cooking properties! **Journal of Cereal Science**, v. 36, p. 285-294, 2002.

MARTINEZ, C.Y.; CUEVAS, F. **Evaluation de la calidad culinaria y molinera Del arroz**. Guia de estudio, Cali: CIAT, 75p, 1989.

MATVEEV, Y. I.; GRINBERG, V. Y.; TOLSTOGUZOV, B. V. The plasticizing effect of water on proteins polysaccharides and their mixtures. Glassy state of biopolymers, food and seeds. **Food Hydrocolloids**, v. 14, p. 425-437, 2000.

MEADOWS, F. Pasting properties in rice flour using Rapid Visco Analyser curves and first derivatives. **Cereal Chemistry**, v. 79, p. 559-562, 2002.

MOHAN, B.H., GOPAL, A., MALLESHI, N.G., THARANATHAN, R.N. Characteristics of native and enzymatically hydrolyzes ragi (*Eleusine coracana*) and rice (*Oriza sativa* L.). **Carbohydrate Polymers**, v. 59, p. 43-50, 2005.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 119-125, 2007.

NS - NEWPORT SCIENTIFIC. **Instruction Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer**. Newport Scientific Pty. Ltd., Australia, 1998.

OKADOME, H.; KURIHARA, M.; KUSUDA, O.; TOYOSHIMA, H.; KIM, J.; SHIMOTSUBO, K.; MATSUDA, T.; OHTUBO, K. Multiple measurements of physical properties of cooked grains with different nitrogenous fertilizers. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 68, p. 211-216, 1999.

PADHYE, V.W., SALUNKHE, D.K. Extraction and characterization of rice proteins. **Cereal Chemistry**, v. 56, p. 389–393, 1979.

PARK, J.K.; KIM, S.S.; KIM, K.O. Effect of Milling Ratio on Sensory Properties of Cooked Rice and on Physicochemical Properties of Milled and Cooked Rice. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 2, p. 151-156, 2001.

PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O. Indicators of eating quality for nonwaxy rices. **Food Chemistry**, v. 4, p. 185, 1979.

SEGUCHI, M. Note: Dye binding to the surface of wheat starch granules. **Cereal Chemistry**, v. 63, p. 518-520, 1986.

SHIH, F.F.; DAIGLE, K. Use of enzymes for the separation of protein from rice flour. **Cereal Chemistry**, v. 74, p. 437-441, 1997

SHIH, F.F.; DAIGLE, K.W. Preparation and characterization of rice protein isolates. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 77, p. 885-889, 2000.

SHIH, F.F.; CHAMPAGNE, E.T.; DAIGLE, K.; ZARINS, Z. Use of enzymes in the processing of protein products from rice bran and rice flour. **Nahrung**, v. 43, p. 14-18, 1999.

SILVA, F.L. Análise competitiva do segmento de produção de arroz irrigado da cadeia agroindustrial do arroz no Rio Grande do Sul, 2004. 101f. Trabalho de conclusão de curso (MBA em Gestão da Informação no Agronegócio) – Universidade Federal de Juiz de Fora.

SILVA, G. O. et al. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 188-197, 2006.

SLADE, L.; LEVINE, H. Non-equilibrium melting of native granular starch: Part I. Temperature location of the glass transition associated with gelatinization of A-type cereal starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 8, p. 183-208, 1988.

SUGIMOTO, T.; TANAKA, K.; KASAI, Z. Molecular species in the protein body (ii) (PB II) of developing rice endosperm. **Agricultural Biological Chemistry**, v. 50, p. 3031-3035, 1986.

TAMAKI, M.; EBATA, M.; TASHIRO, T.; ISHIKAWA, M. Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel. II. Changes in quality of rice kernel during grain development. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 58, p. 659-663, 1989.

TAN, Y.; CORKE, H. Factor analysis of physiochemical properties of 63 rice varieties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, p. 745-752, 2002.

TANG, M. C.; COPELAND, L. Analysis of complexes between lipids and wheat starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 67, p. 80-85, 2007

TEO, C. H.; KARIM, A. A.; CHEAH, P. B.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. **Food Chemistry**, v. 69, p. 229-236, 2000.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. Practical Guide for Food Industry In: **Starches**. 30p, Minnesota: Eagan Press, 1999.

TSAI, M. L.; LI, C. F.; LII, C. Y. Effects of granular structures on the pasting behaviours of starches. *Cereal Chemistry*, v. 74, p. 750-757, 1997.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. Starch. In: **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. Saint Paul: AACC, Eagan Press, p. 117-151, 1997.