

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MALTODEXTRINAS A PARTIR DE
AMIDOS DE MANDIOCA E BATATA-DOCE**

ANA PAULA CERINO COUTINHO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia - Área de Concentração em Energia
na Agricultura.

BOTUCATU-SP
julho - 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MALTODEXTRINAS A PARTIR DE
AMIDOS DE MANDIOCA E BATATA-DOCE**

ANA PAULA CERINO COUTINHO

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Cabello

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP

julho - 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C871p Coutinho, Ana Paula Cerino, 1973-
Produção e caracterização de maltodextrinas a partir de amidos de mandioca e batata-doce / Ana Paula Cerino Coutinho. - Botucatu : [s.n.], 2007.
x, 137 f. : il. color., gráfs, tabs.

Tese (doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007

Orientador: Cláudio Cabello

Inclui bibliografia

1. Mandioca. 2. Batata-doce. 3. Hidrólise. 4. Amido. I. Cabello, Cláudio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MALTODEXTRINAS A PARTIR
DE AMIDOS DE MANDIOCA E BATATA-DOCE"

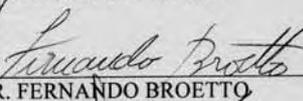
ALUNO: ANA PAULA CERINO COUTINHO

ORIENTADORA: PROF. DR. CLAUDIO CABELLO

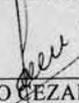
Aprovado pela Comissão Examinadora



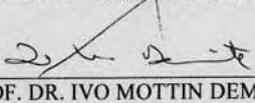
PROF. DR. CLAUDIO CABELLO



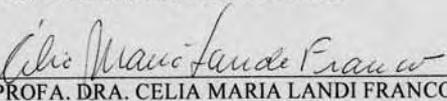
PROF. DR. FERNANDO BROETTO



PROF. DR. PAULO CEZAR RAZUK



PROF. DR. IVO MOTTIN DEMIATE



PROFA. DRA. CELIA MARIA LANDI FRANCO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Cláudio Cabello pela orientação deste trabalho;

À Profa. Dra. Marta Mischan pela realização das análises estatísticas;

À Dra. Magali Leonel pela ajuda na interpretação das análises estatísticas e na utilização do microscópio óptico;

À Amidos Pasquini pelo fornecimento do amido de mandioca;

À Corn Products pelo fornecimento das maltodextrinas comerciais de mandioca e milho;

À Profa. Dra. Célia Maria Landi Franco do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da IBILCE/UNESP pela realização das análises no DSC;

Ao Luiz, técnico do Laboratório de Análises do CERAT/UNESP pela ajuda na caracterização dos amidos e realização das análises de cromatografia (CLAE);

Ao Douglas e Sérgio, técnicos do Laboratório de Matérias-primas do CERAT/UNESP pela ajuda na extração e secagem do amido de batata-doce;

Ao Sebastião, técnico do Laboratório Multidisciplinar do Departamento de Química da UNESP/Araraquara pela realização das análises no microscópio eletrônico de varredura;

Ao Augusto, técnico do Laboratório de Cristalografia do Departamento de Física da USP/São Carlos pela realização das análises de difração de raios-X;

A todos os funcionários da pós-graduação pela atenção;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado;

As minhas amigas Eloneida, Tânia, Irene, Ivanete, Roseli, Flávia, que me apoiaram nos momentos difíceis, obrigado pela compreensão e pelos momentos alegres....

Ao meu marido Bazilio Jr. pela compreensão, dedicação, incentivo nos momentos mais difíceis e pelo amor e carinho;

À Deus;

À todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho;

Muito Obrigada!!!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. Matéria-prima	9
2.1.1. Descrição Botânica	9
2.1.2. Composição química da raiz de mandioca e batata-doce	10
2.2. Produção e mercado consumidor.....	11
2.3. Grânulo de amido	13
2.4. Composição do amido	13
2.4.1. Estrutura do amido.....	18
2.4.1.1. Tamanho e forma.....	18
2.4.1.2. Estrutura granular	19
2.5. Funcionalidade do grânulo de amido.....	21
2.6. Uso dos amidos nas indústrias de alimentos	24
2.7. Hidrólise do amido	26
2.7.1. Ação da α -amilase.....	26
2.8. Maltodextrinas	28
2.8.1. Produção de maltodextrinas.....	30
2.8.1.1. Secagem.....	31
2.8.2. Aplicações.....	33
2.8.3. Propriedades funcionais	36
2.8.3.1. Dextrose equivalente (DE)	36
2.8.3.2. Perfis de açúcares	37
2.8.3.3. Solubilidade em água	38
2.8.3.4. Reologia.....	38
2.8.4. Microestrutura das maltodextrinas.....	41
2.8.4.1. Microscopia	41

2.8.4.2. Difração de Raios-X.....	42
2.9. Planejamento e otimização de experimentos.....	42
2.9.1. Metodologia de superfície de resposta (RSM).....	43
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1. Matéria-prima.....	45
3.1.1. Extração do amido de batata-doce.....	45
3.2. Enzima amilolítica.....	47
3.3. Caracterização da matéria-prima.....	47
3.3.1. Umidade.....	47
3.3.2. Cinzas.....	47
3.3.3. Proteínas.....	47
3.3.4. Matéria graxa.....	48
3.3.5. Fibras.....	48
3.3.6. pH.....	48
3.3.7. Açúcares solúveis totais.....	48
3.3.8. Amido.....	48
3.3.9. Teor de amilose.....	49
3.3.10. Forma e distribuição de tamanho dos grânulos de amido.....	49
3.3.11. Microscopia eletrônica de varredura.....	49
3.3.12. Difração por Raios-X.....	49
3.3.13. Propriedades de pasta dos amidos.....	50
3.3.14. Análise térmica.....	51
3.4. Planejamento experimental para a produção de maltodextrinas.....	52
3.5. Produção das maltodextrinas.....	54
3.6. Secagem.....	56
3.7. Caracterização das maltodextrinas.....	58
3.7.1. Umidade.....	58
3.7.2. Açúcar redutor.....	58
3.7.3. Teor de Glicose.....	58
3.7.4. Caracterização reológica.....	59
3.7.4.1. Preparação das suspensões.....	59

3.7.4.2. Medidas reológicas	59
3.7.5. Perfil de açúcares	59
3.7.5.1. Preparação das suspensões	60
3.7.5.2. Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).....	60
3.7.6. Solubilidade	60
3.7.7. Microscopia eletrônica de varredura.....	61
3.7.8. Difração de raios-X.....	61
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1 Caracterização dos amidos de mandioca e batata-doce.....	62
4.1.1. Propriedades físico-químicas	62
4.1.2. Tamanho e formato dos grânulos.....	64
4.1.3. Difração de raios X	67
4.1.4. Propriedades de pasta.....	68
4.1.5. Análise térmica	71
4.2. Caracterização das maltodextrinas	72
4.2.1. Ajuste dos modelos estatísticos e influência das variáveis de processo sobre as respostas em estudo.....	77
4.2.1.1. Dextrose Equivalente (DE).....	78
4.2.1.2. Teor de glicose	82
4.2.1.3. Solubilidade	87
4.2.1.4. Perfil de carboidratos das maltodextrinas.....	92
4.2.2. Reologia	96
4.2.2.1. Comportamento reológico	96
4.2.2.2. Análise da viscosidade em função das variáveis do processo.....	104
4.2.3. Microscopia eletrônica de varredura.....	111
4.2.4. Difractometria de Raios-X.....	116
5. CONCLUSÕES	119
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição centesimal, em base seca, da mandioca, batata-doce e milho.....	11
Tabela 2. Teor de oligossacarídeos de maltodextrinas comerciais.....	37
Tabela 3. Níveis das variáveis no planejamento experimental da produção de maltodextrinas.	52
Tabela 4. Planejamento experimental completo 2^2 com pontos centrais e axiais para a produção de maltodextrina.	53
Tabela 5. Caracterização físico-química dos amidos de mandioca e batata-doce <i>in natura</i>	63
Tabela 6. Intensidade dos principais picos dos difractogramas de raios-X e índice de cristalinidade relativa (IC) dos amidos de mandioca e batata-doce.	68
Tabela 7. Propriedades de pasta dos amidos de mandioca e batata-doce.....	69
Tabela 8. Propriedades de gelatinização dos amidos de mandioca e batata-doce.	71
Tabela 9. Valores experimentais das variáveis dependentes (respostas) para as maltodextrinas produzidas por amido de mandioca.	73
Tabela 10. Valores experimentais das variáveis dependentes (respostas) para as maltodextrinas produzidas por amido de batata-doce.	74
Tabela 11. Caracterização físico-química das maltodextrinas comerciais de mandioca e milho.	77
Tabela 12. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado para a DE da maltodextrina de mandioca.....	78
Tabela 13. Análise de variância (ANOVA) para o modelo completo codificado para a DE da maltodextrina de mandioca.....	79
Tabela 14. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado para a DE da maltodextrina de batata-doce.....	81
Tabela 15. Análise de variância para o modelo completo codificado para a DE da maltodextrina de batata-doce.....	81
Tabela 16. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado, para a porcentagem de glicose da maltodextrina de mandioca.	82
Tabela 17. Análise de variância para o modelo completo codificado, para a porcentagem de glicose da maltodextrina de mandioca.....	83

Tabela 18. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado, para a porcentagem de glicose da maltodextrina de batata-doce.	85
Tabela 19. Análise de variância para o modelo completo codificado, para a porcentagem de glicose da maltodextrina de batata-doce.....	85
Tabela 20. Coeficientes de regressão estimados para o modelo ajustado codificado para a porcentagem de glicose da maltodextrina de batata-doce.	86
Tabela 21. Análise de variância para o modelo ajustado codificado para a porcentagem de glicose da maltodextrina de batata-doce.....	86
Tabela 22. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado para a solubilidade da maltodextrina de mandioca.	88
Tabela 23. Análise de variância para o modelo completo codificado para a solubilidade da maltodextrina de mandioca.....	88
Tabela 24. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado para a solubilidade de maltodextrina de batata-doce.	90
Tabela 25. Análise de variância para o modelo completo codificado para a solubilidade da maltodextrina de batata-doce.....	90
Tabela 26. Perfis cromatográficos de açúcares em amostras de maltodextrinas de mandioca.	93
Tabela 27. Perfis cromatográficos de açúcares em amostras de maltodextrinas de batata-doce.	94
Tabela 28. Perfis cromatográficos de açúcares em amostras de maltodextrinas comerciais de mandioca e milho.	95
Tabela 29. Valores da viscosidade (μ) e do índice de escoamento (n) para as amostras de maltodextrinas de mandioca a 20 e 30% a 25°C.	96
Tabela 30. Valores da viscosidade (μ) e do índice de escoamento (n) para as amostras de maltodextrinas de batata-doce a 20 e 30% a 25°C.....	97
Tabela 31. Valores da viscosidade (μ) e do índice de escoamento (n) para as amostras de maltodextrinas comerciais de mandioca e milho a 20 e 30% a 25°C.	99
Tabela 32. Viscosidade das maltodextrinas de mandioca e batata-doce.	105
Tabela 33. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado, para a viscosidade da maltodextrina de mandioca.	106

Tabela 34. Análise de variância para o modelo completo codificado, para a viscosidade da maltodextrina de mandioca.....	106
Tabela 35. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado, para a viscosidade de maltodextrina de batata-doce.	108
Tabela 36. Análise de variância para o modelo completo codificado, para a viscosidade de maltodextrina de batata-doce.....	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Raízes da mandioca (a) e da batata-doce (b).....	10
Figura 2. Molécula de glicose.. ..	14
Figura 3. Ligações $\alpha(1,4)$ da molécula de amilose.....	15
Figura 4. Ligações $\alpha(1-4)$ e $\alpha(1-6)$ da molécula de amilopectina.. ..	16
Figura 5. Modelo de <i>cluster</i> proposto para amilopectina.....	17
Figura 6. Estrutura do grânulo de amido.....	20
Figura 7. Influência do tratamento hidrotérmico com excesso de água sobre o estado do amido.	23
Figura 8. Principais componentes estruturais da maltodextrina.....	29
Figura 9. Esquema de funcionamento do “spray dryer”.....	32
Figura 10. Fluxograma do processo de obtenção do amido de batata-doce.....	46
Figura 11. Parâmetros avaliados na curva amilográfica de amido.....	51
Figura 12. Fluxograma da produção de maltodextrinas de mandioca e batata-doce.....	55
Figura 13. Secador tipo “spray dryer” utilizado na secagem das maltodextrinas.	56
Figura 14. Esquema de funcionamento do “spray dryer” utilizado na secagem das maltodextrinas.	57
Figura 15. Grânulos de amidos de mandioca (a, b) e batata-doce (c, d) observados ao microscópio eletrônico de varredura com aumento de 500 e 1500 X.	65
Figura 16. Distribuição dos grânulos de amidos de mandioca (a) e batata-doce (b).....	66
Figura 17. Difractogramas de raios-X de grânulos de amidos de mandioca (a) e batata-doce (b).	67
Figura 18. Curva viscoamilográfica de amidos de mandioca e batata-doce.	70
Figura 19. Efeito do tempo de hidrólise na dextrose equivalente (DE) das maltodextrinas de mandioca, mantendo a agitação no ponto central (35rpm).....	80
Figura 20. Efeito do tempo de hidrólise na porcentagem de glicose das maltodextrinas de mandioca, mantendo a agitação no ponto central (35rpm).....	84
Figura 21. Efeito da agitação na porcentagem de glicose das maltodextrinas de batata-doce, mantendo o tempo de hidrólise no ponto central (17 min.).....	87
Figura 22. Efeito da agitação na solubilidade em água das maltodextrinas de mandioca, mantendo o tempo de hidrólise no ponto central (17 min.).....	89

Figura 23. Gráfico de superfície de resposta para a solubilidade das maltodextrinas de batata-doce para as variáveis de tempo de hidrólise e agitação.	91
Figura 24. Gráfico da curva de contorno para a solubilidade das maltodextrinas de batata-doce para as variáveis de tempo de hidrólise e agitação.	92
Figura 25. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para solução de maltodextrina de mandioca a 20% a 25°C.	101
Figura 26. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para solução de maltodextrina de mandioca a 30% a 25°C.	101
Figura 27. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para solução de maltodextrina de batata-doce a 20% a 25°C.	102
Figura 28. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para solução de maltodextrina de batata-doce a 30% a 25°C.	102
Figura 29. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para soluções de maltodextrinas comerciais de mandioca e milho a 20% a 25°C.	103
Figura 30. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para soluções de maltodextrinas comerciais de mandioca e milho a 30% a 25°C.	104
Figura 31. Gráfico de superfície de resposta para a viscosidade da maltodextrina de mandioca a concentração de 20% em função do tempo de hidrólise e da agitação.	107
Figura 32. Gráfico da curva de contorno para a viscosidade da maltodextrina de mandioca a concentração de 20% em função do tempo de hidrólise e da agitação.	108
Figura 33. Gráfico de superfície de resposta para a viscosidade da solução de maltodextrina de batata-doce a 20% em função do tempo de hidrólise e da agitação.	110
Figura 34. Gráfico da curva de contorno para a viscosidade da solução de maltodextrina de batata-doce a 20% em função do tempo de hidrólise e da agitação.	110
Figura 35. Micrografias de maltodextrinas de mandioca secas em “spray dryer” por pulverização observadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV).	112
Figura 36. Micrografias de maltodextrinas de batata-doce secas em “spray dryer” por pulverização observadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV).	113
Figura 37. Micrografias de maltodextrinas comerciais secas em “spray dryer” por atomização observadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV).	115

Figura 38. Difractogramas de raios-X das maltodextrinas de mandioca dos tratamentos 6 e 8.	116
Figura 39. Difractogramas de raios-X das maltodextrinas de batata-doce dos tratamentos 6 e 8.	117
Figura 40. Difractogramas de raios-X das maltodextrinas comerciais de mandioca e milho.	118

RESUMO

As maltodextrinas são produtos da hidrólise parcial do amido e têm sido largamente usadas nas indústrias de alimentos em muitos tipos de alimentos processados. Maltodextrinas são classificadas de acordo com o grau de hidrólise do amido, que é expressa em dextrose equivalente (DE). Várias propriedades funcionais, como doçura, solubilidade e viscosidade variam de acordo com a degradação enzimática e a fonte botânica do amido, e somente a caracterização pela dextrose equivalente (DE) se tornou inadequada para orientar a utilização das maltodextrinas em várias aplicações. Levando em consideração a importância das maltodextrinas para o mercado de alimentos, o presente trabalho teve como objetivo realizar estudos sobre o processo de produção e o comportamento das maltodextrinas de mandioca e batata-doce e também de compará-las com produtos comerciais. Os amidos das referidas tuberosas foram analisados quanto às suas características físico-químicas, difração de raios-X e microscopia óptica e eletrônica de varredura. Suspensões de amidos de mandioca e batata-doce, à concentração de 30%, foram submetidas a hidrólise enzimática pela enzima α -amilase em um reator a diferentes tempos de hidrólise e diferentes níveis de agitação. Em seguida, foram secas em “spray dryer” e analisadas quanto às suas propriedades físicas e químicas, funcionais, reológicas e por difração de raios-X, além de serem observadas em microscópio eletrônico de varredura. A análise das variáveis do processo indicou maior influência do

tempo de hidrólise na dextrose equivalente (DE) das maltodextrinas de mandioca e batata-doce, sendo que a interação, tempo de hidrólise e agitação influenciou na sua solubilidade e viscosidade. As maltodextrinas de mandioca e batata-doce apresentaram DE que variaram de 5,5 a 11,3 e 17,0 a 22,9, respectivamente. As maltodextrinas apresentaram alta solubilidade em água em todas as condições estudadas e a viscosidade foi influenciada pelo grau de hidrólise e concentração da solução. Foi observado um comportamento Newtoniano nas maltodextrinas de mandioca e batata-doce em concentrações de 20 e 30%. As maltodextrinas também foram analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e os resultados mostraram que as de batata-doce apresentaram elevados teores de maltose e maltotriose bem como baixos teores de sacarídeos com grau de polimerização (DP) maior que 4, indicando maior degradação enzimática e menor viscosidade, resultado este relacionado com a fonte botânica do amido. As microestruturas das maltodextrinas em pó, secas por “spray dryer” com sistema de pulverização, foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura e mostraram que as partículas de maltodextrinas de batata-doce apresentaram-se mais danificadas do que as de mandioca. As maltodextrinas de mandioca e batata-doce apresentaram características químicas e físicas semelhantes a produtos comerciais originários de amido de milho e mandioca.

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF MALTODEXTRINS FROM CASSAVA AND SWEET POTATO STARCHES. Botucatu, 2007. 137 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANA PAULA CERINO COUTINHO

Adviser: Prof. Dr. CLÁUDIO CABELLO

SUMMARY

Maltodextrins are obtained from partial hydrolysis of the starch, and have been widely used in industries due to their broad usage in processed food. Maltodextrins are classified by degree of hydrolysis of starch, which is expressed by dextrose equivalent (DE). Many of their functional properties, like sweetness, solubility and viscosity vary according to enzymatic degradation and botanic source of the starch. Due to the wide uses, dextrose equivalent becomes inadequate to predict the efficiency of maltodextrins in many applications. Considering the importance of maltodextrins for the food market, the objective of this work was to study the production process and the behavior of cassava and sweet potato maltodextrins, as well as compare them with commercial products. Starches of each tuber were analyzed as to their

physiochemical characteristics, X-ray diffraction and optic and scanning electron microscopy. Cassava and sweet potato starches suspensions at 30% concentration underwent enzymatic hydrolysis by an α -amylase enzyme in a reactor considering different times of hydrolysis and levels of agitation. Next, starches were spray dried and analyzed as to their physiochemical, functional, rheological properties and X-ray diffraction, as well as scanning electron microscopy observation. Process variables analysis indicated higher influence of the hydrolysis time in the dextrose equivalent (DE) of sweet potato and cassava maltodextrins, the interaction of between hydrolysis time and agitation influencing in the solubility and viscosity. Cassava and sweet-potato maltodextrins presented DE varying from 5.5 to 11.3 and 17.0 to 22.9, respectively. Maltodextrins presented water solubility in all studied conditions and viscosity was influenced by the hydrolysis level and concentration of the solution. A Newton behavior has been observed in cassava and sweet potato maltodextrins in 20% and 30% concentrations. Maltodextrins have also been analyzed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) and showed that the maltodextrins from sweet potato starch presented high levels of maltose and maltotriose as well as low levels of saccharide with degree of polymerization higher than four ($DP > 4$), indicating higher enzymatic degradation and lower viscosity which is related with the starch botanic source. Powder maltodextrins microstructure, analyzed by scanning electron microscopy, showed that sweet potato maltodextrin particles were more damaged than cassava maltodextrins particles. Both maltodextrins presented physiochemical characteristics similar to commercial products of corn and cassava starch.

KEYWORDS: cassava, sweet potato, starch, maltodextrin.

1. INTRODUÇÃO

O amido é encontrado em abundância na natureza, só competindo em quantidade com a celulose. Os depósitos permanentes do amido nas plantas ocorrem nos órgãos de reserva, como é o caso dos amiloplastos de grãos de cereais, tubérculos, raízes e leguminosas.

O grânulo de amido é formado essencialmente por dois polissacarídeos: a amilose e a amilopectina. A amilose é definida como uma molécula essencialmente linear formada por unidades de D-glicose unidas por ligações glicosídicas $\alpha(1-4)$ e, a amilopectina é uma molécula ramificada formada por unidades de α -D-glicose ligadas em $\alpha(1-4)$, essas cadeias estão unidas entre si por ligações $\alpha(1-6)$. A funcionalidade do amido depende da massa molar destes dois componentes, bem como da organização molecular no grânulo. Amidos de diferentes fontes botânicas possuem diferentes tamanhos, formas e propriedades físicas.

Cada amido é único na organização e na estrutura dos seus grânulos e geralmente possui estrutura, propriedade e comportamento limitado. Sendo assim, amidos de fontes botânicas diferentes não se comportam da mesma maneira. As propriedades dos amidos

são determinadas pela estrutura química e molecular dos polímeros e pela quantidade de outros componentes, como os lipídios, proteínas e açúcares.

No Brasil, as amiláceas tropicais com grande potencial na extração de amido são a mandioca e a batata-doce. Estas são tuberosas muito populares, sendo que a mandioca, nos últimos anos, tem sido bem explorada pelas fecularias por ser de fácil extração, baixo custo e por apresentar características desejáveis. Já a batata-doce, segundo Camargo Filho *et al.* (2001), é consumida na forma assada ou cozida e industrialmente é utilizada na produção de doces.

A batata-doce possui vantagens pelo seu baixo custo de produção associado à alta produtividade de matéria seca, o que resulta em maior impacto da sua utilização na agroindústria, em relação aos seus principais competidores como o milho e a mandioca. Entretanto, todo este potencial não é aproveitado e seu consumo se restringe a subsistência (RITSCHER *et al.*, 1999).

Com a expansão do mercado, as indústrias brasileiras têm apresentado interesse no processamento da batata-doce para obtenção de amido, visto que os equipamentos para o processamento desta raiz poderiam ser os mesmos já utilizados no processamento da mandioca. Um ensaio piloto mostrou um rendimento de processo de 18,3% com base no peso úmido da raiz e do amido gerado (LEONEL; CEREDA; JAQUEY, 1998).

Nas indústrias, os amidos têm sido utilizados como ingredientes para melhorar as propriedades funcionais e aumentar o valor calórico do alimento. Entretanto, o amido, na sua forma nativa, nem sempre possui propriedades físico-químicas adequadas a determinados tipos de processamento. Deste modo, amidos modificados são largamente utilizados na fabricação de alimentos preparados (BEMILLER, 1997). A produção de amidos modificados é uma alternativa que vem sendo desenvolvida há algum tempo com o objetivo de superar uma ou mais limitações dos amidos nativos e, assim, aumentar a utilidade deste polímero nas aplicações industriais (WURZBURG, 1986).

As modificações físicas, químicas e enzimáticas têm contribuído para melhorar as características funcionais dos amidos aumentando a sua faixa de aplicação (BEMILLER, 1997). A hidrólise enzimática é uma das maneiras de produzir carboidratos com propriedades funcionais específicas.

As maltodextrinas são biopolímeros originados da hidrólise parcial do amido e têm extensa utilização como ingrediente por proporcionar características desejáveis a alimentos processados. Maltodextrinas são classificadas pelo seu grau de hidrólise, expresso em dextrose equivalente (DE), que é a porcentagem de açúcares redutores calculados como glicose em relação ao peso seco do amido. Nos Estados Unidos, a FDA ("Food and Drug Administration") define maltodextrina como "um sacarídeo não adocicado e nutritivo que consiste de unidades de D-glicose unidas por ligações $\alpha(1-4)$ e que apresenta DE menor que 20".

A importância comercial dos hidrolisados de amido tem aumentado devido às suas propriedades especiais. Em geral, as maltodextrinas são carboidratos de baixa densidade, totalmente solúveis em água e não possuem aroma de amido, sendo que em algumas aplicações são indicados para diabéticos (KEARSLEY; DZIEDZIC, 1995).

Nas indústrias de alimentos, as maltodextrinas podem ser utilizadas como agente espessante, para auxiliar a secagem por atomização, como substituto de gorduras, como formador de filmes, no controle do congelamento, para prevenir cristalizações e como complemento nutricional. Nestas aplicações, várias propriedades físicas, químicas e biológicas são requeridas. Sendo assim, a caracterização das maltodextrinas apenas pelo valor da DE não tem sido suficiente para orientar o desempenho do produto em variadas aplicações. Maltodextrinas produzidas de amidos de diferentes fontes botânicas e com o mesmo DE podem apresentar propriedades diferentes, refletindo a composição molecular formada durante o processo de hidrólise (WANG; WANG, 2000).

A demanda por determinadas propriedades em maltodextrinas tem conduzido ao desenvolvimento de produtos com diferentes composições de carboidratos, sendo que isto somente é possível devido aos avanços tecnológicos nas áreas de equipamentos, metodologias analíticas, pesquisas em áreas complementares e desenvolvimento de novas enzimas amilolíticas (VORAGEN, 1998).

Os vários processos utilizados na elaboração de maltodextrinas requerem maiores ou menores quantidades de energia para realizar a hidratação, a gelatinização e seqüente hidrólise dos grânulos de amido. A qualidade dos catalisadores e a origem botânica da matéria-prima também influenciam no processo. Os processos mais usuais

utilizam ácidos inorgânicos e/ou enzimas amilolíticas, sendo que várias pesquisas são realizadas buscando correlacionar as quantidades e qualidades destes catalisadores com outros parâmetros operacionais como: o pH, o tempo, a temperatura e a agitação, visando obter um desejado tipo de maltodextrina (KEARSLEY; DZIEDZIC, 1995).

Os objetivos deste trabalho foram: estudar o processo de produção de maltodextrinas por hidrólise enzimática em amidos originários de mandioca e batata-doce, avaliando a influência de alguns parâmetros operacionais, como o tempo de hidrólise e a agitação, sobre a dextrose equivalente, teor de glicose, solubilidade e viscosidade. Nas maltodextrinas de mandioca e batata-doce, secas em “spray dryer”, avaliar o comportamento reológico na concentração de 20% a 25°C e as suas microestruturas. Disponibilizar esta tecnologia às agroindústrias de processamento de mandioca e batata-doce para que possam oferecer ao mercado produtos de maior valor agregado e de intensa utilização nas indústrias de alimentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Matéria-prima

2.1.1. Descrição Botânica

A mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) é uma raiz com alto teor de amido, apresentando mais de trezentas variedades e é originária do continente americano, provavelmente do Brasil, América Central ou México (MENDES, 1992).

A cultura da mandioca é de fácil propagação, tolerante a pragas e doenças e pouco exigente quanto a condições edafoclimáticas. No entanto, tem baixa resistência ao frio, apresenta um longo período de crescimento e alto potencial de deterioração fora do solo. Tais mudanças ocorrem após 2 a 3 dias da colheita devido a processos fisiológicos seguidos pela deterioração microbiológica após 5 a 7 dias devido ao elevado teor de umidade (PLUMBLEY; RICKARD, 1991).

A batata-doce (*Ipomoea batatas*, Lam.) é originária da América Central e do Sul, e agrupa aproximadamente 50 gêneros e mais de 1000 espécies sendo que, dentre elas, somente a batata-doce tem cultivo de expressão econômica.

A espécie *Ipomoea batatas* é uma planta herbácea com caule rasteiro, que atinge 3m de comprimento, e folhas com pecíolo longo. Trata-se de uma planta perene, porém cultivada como anual (FIGUEIRA, 2000). É considerada uma cultura rústica, pois apresenta grande resistência a pragas, pouca resposta a aplicação de fertilizantes, e cresce em solos pobres e degradados (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2002).

A batata-doce possui dois tipos de raízes: a de reserva ou tuberosa, que constitui a parte de interesse comercial, e a absorvente, responsável pela absorção de água e extração de nutrientes do solo. As raízes tuberosas se formam desde o início do desenvolvimento da planta, sendo facilmente identificadas pela maior espessura, pela pouca presença de raízes secundárias e por se originarem dos nós (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2002).

A Figura 1a e 1b mostra as raízes da mandioca e batata-doce.



(a)



(b)

Figura 1. Raízes da mandioca (a) e da batata-doce (b).

2.1.2. Composição química da raiz de mandioca e batata-doce

A composição da mandioca e da batata-doce varia muito com a espécie, idade e condições de cultivo. A Tabela 1 mostra a composição da mandioca e batata-doce em comparação com a do milho.

Tabela 1. Composição centesimal, em base seca, da mandioca, batata-doce e milho.

	Mandioca ¹	Batata-doce ²	Milho ³
Amido (%)	90,1	83	70,9
Proteína (%)	1,5	2,9	9,8
Fibra (%)	5,6	3,8	2,6
Gordura (%)	0,3	0,8	4,8
Açúcares (%)	0,7	7,8	2,6
Cinzas (%)	1,8	1,7	1,4
Outros (%)	-	-	7,9

Fontes: ¹ Mendes (1992), ² Kohyama; Nishinari (1992), ³ Dziedzic; Kearsley (1984).

A mandioca, por apresentar elevado teor de amido e baixos teores de gorduras, proteínas e cinzas (KEARSLEY; TABIRI, 1979), é uma matéria-prima adequada para obtenção de diversos produtos por hidrólise.

A batata-doce apresenta um pigmento, o beta-caroteno, e outros, carotenos e xantofilas (violxantina) em quantidades menores. Quando as batatas-doces são processadas ou seus produtos estocados em ambientes com grande concentração de oxigênio, ocorre a perda de caroteno (BOUWKAMP, 1985).

As raízes recentemente colhidas possuem normalmente baixo teor de sólidos solúveis que tendem a aumentar durante o armazenamento devido à ação das enzimas amilolíticas (RUIZ, 1984). A batata-doce na colheita contém entre 16 e 40% de massa seca. Dessa massa, 75 a 90% são carboidratos compostos por açúcar, amido, celulose, pectina e hemicelulose. A sacarose é o açúcar mais abundante na batata-doce crua, com pequena quantidade de glicose e frutose (BOUWKAMP, 1985).

2.2. Produção e mercado consumidor

O cultivo da mandioca está associado ao Brasil desde o seu descobrimento. Planta-se mandioca em todas as unidades da federação, e o produto tem

destacada importância na alimentação humana e animal, além de ser utilizado como matéria-prima em inúmeros processos industriais.

A mandioca é produzida principalmente por agricultores de pequeno porte com pouco uso de tecnologia, especialmente agroquímicos. Duas características agrônômicas do cultivo são importantes para tentar explicar a dispersão geográfica de sua produção: a capacidade de usar eficientemente a água e ter grande adaptação a solos de baixa fertilidade, além de possibilitar que as raízes sejam armazenadas no próprio solo, por um período razoável, sem perdas significativas de qualidade e rendimento, permitindo que estas sejam colhidas com diferentes idades (CARDOSO, 2003).

Segundo o IBGE (2005), a produção nacional dessa cultura, na safra 2005, foi estimada em 26,4 milhões de toneladas, com rendimento médio de 13,86 toneladas de raízes por hectare. Dentre os principais estados produtores, destacam-se: Pará (17,01%), Bahia (16,84%), Paraná (15,53%), Maranhão (5,81%), São Paulo (4,15%) e Rio Grande do Sul (4,14%). Na distribuição da produção pelas regiões brasileiras, a região Nordeste destaca-se com produção de 36,56%, porém com rendimento médio de apenas 11,05 t/ha. As regiões Norte e Nordeste destacam-se como principais consumidoras, sendo a produção essencialmente utilizada na dieta humana, na forma de farinha. Nas regiões Sul e Sudeste, em que os rendimentos médios são de 17,71 t/ha e 18,71 t/ha, respectivamente, a maior parte da produção é orientada para a indústria, principalmente nos estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.

O cultivo da batata-doce também é exercido com pouco uso de tecnologia, obtendo-se baixos índices de produtividade e baixa qualidade dos produtos (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2005).

Entretanto, a cultura da batata-doce é uma lavoura de grande importância social, contribuindo para o suprimento alimentar das populações mais pobres. Comparada com culturas como arroz, banana, milho e sorgo, a batata-doce é mais eficiente em quantidade de energia produzida por unidade de área e por unidade de tempo. Isso ocorre porque produz grande volume de raízes em um ciclo relativamente curto, a um custo baixo, durante o ano inteiro (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2005).

A batata-doce é cultivada em 111 países, sendo que aproximadamente 90% da produção é obtida na Ásia, 5% na África e 5% no restante do mundo. Apenas 2% da

produção estão em países industrializados. A China destaca-se como o maior produtor atingindo 100 milhões de toneladas/ano (FAO, 2001). No continente latino-americano, o Brasil surge como o principal produtor, correspondendo a uma produção anual de 500.000 toneladas, obtidas em uma área estimada de 48.000 hectares. As regiões de maior produção são o Sul e o Nordeste, notadamente os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Pernambuco e Paraíba (SOARES; MELO; MATIAS, 2002; SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2005).

2.3. Grânulo de amido

O amido é a principal substância de reserva nas plantas superiores, fornecendo de 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem. Os depósitos permanentes de amido nas plantas ocorrem principalmente nos órgãos de reserva como é o caso de grãos de cereais, como o arroz, o milho e o trigo; de tubérculos e de raízes, como a batata, a mandioca, o taro, a batata-doce e outras e de leguminosas, como o feijão, a ervilha (CIACCO; CRUZ, 1987; LEONEL; CEREDA, 2002).

O amido apresenta características físicas e químicas e qualidade nutricional superiores quando comparado com outros carboidratos (WHISTLER; BEMILLER, 1997). Suas características físico-químicas e funcionais estão relacionadas às características estruturais do grânulo as quais dependem da fonte botânica, do local e das condições de crescimento, entre outras (HERMANSSON; SVEGMARK, 1996; SLATTERY; KAVAKLI; OKITA, 2000).

2.4. Composição do amido

BeMiller (1997) afirma que cada amido é único e que quando se reconhece isso abrem-se caminhos para o desenvolvimento de novos produtos. A composição do amido influencia diretamente suas propriedades funcionais. Devido às diferenças estruturais dos diversos tipos de amido não se pode generalizar nada sobre propriedades e comportamentos dos amidos de diferentes fontes botânicas.

O amido é um polissacarídeo que consiste de resíduos de α -D-glicose, com suas ligações glicosídicas identificadas através de átomos de carbono numeradas de um a seis, como mostra a Figura 2. Essas numerações facilitam a compreensão das propriedades e

reatividade dos grupos funcionais da molécula de glicose no amido (GALLANT; BOUCHET; BALDWIN, 1997; BULÉON *et al.*, 1998).

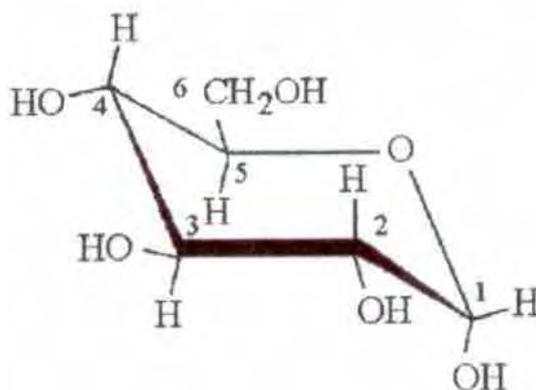


Figura 2. Molécula de glicose. Fonte: Swinkels (1985).

A composição do amido depende de vários fatores, como a variedade e condições climáticas. As condições de estocagem da matéria-prima também podem influenciar alguns componentes, como a quantidade de açúcar (KEARSLEY; DZIEDZIC, 1995).

Os grânulos de amido são formados, basicamente, por dois polímeros: a amilose e a amilopectina. A funcionalidade dos amidos está diretamente relacionada a essas duas macromoléculas e também à organização física das mesmas, dentro da estrutura granular (BILIADERIS, 1991). A amilose e a amilopectina se apresentam em proporções relativamente constantes de 20:80, porém podem apresentar quantidades relativas de 2% de amilose em amidos cerosos e até cerca de 80% de amilose no “amilomilho” (BULÉON *et al.*, 1998).

A amilose é descrita como uma molécula essencialmente linear, sendo formada por unidades de D-glicose unidas entre si por ligações glicosídicas $\alpha(1-4)$, como mostra a Figura 3. No entanto, um certo grau de ramificação (9-20 ramificações) em $\alpha(1-6)$ tem sido encontrado em sua estrutura (FRENCH, 1984; HOOVER, 2001).

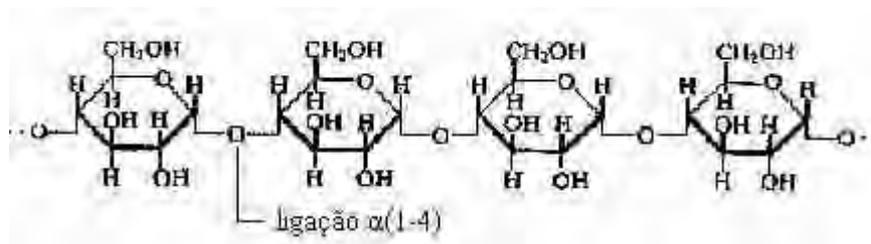


Figura 3. Ligações $\alpha(1,4)$ da molécula de amilose. Fonte: Thomas; Atwell (1999).

Essas ramificações aumentam com o peso molecular da amilose, que varia de 10^5 a 10^6 (HOOVER, 2001). Entretanto, estudos demonstraram comportamento similar entre amiloses de diferentes pesos moleculares, em que a presença de ramificações não alterou o comportamento em solução das cadeias de amilose, permanecendo idêntico ao comportamento das cadeias totalmente lineares (BULÉON *et al.*, 1998).

A molécula de amilose se apresenta na forma helicoidal e em função desta formação de hélice, os filmes e fibras formados por ela são mais elásticos que aqueles formados por moléculas de celulose (WHISTLER, 1964; BEMILLER, 1997). O interior da hélice é lipofílico, contendo predominantemente ligações de hidrogênio, enquanto os grupos hidroxila permanecem na parte externa da mesma.

A estrutura helicoidal da amilose permite a acomodação de átomos de iodo formando um composto de inclusão de cor azul intensa com absorção máxima a comprimentos de onda entre 620 a 680 nm. Essa reação é usada na avaliação quantitativa do teor de amilose e como indicador da presença de amido (HOOVER, 2001).

As amiloses de tubérculos e raízes apresentam teores variando entre 18,3 a 20,4% e número de ramificações entre 2,2 – 12 (HOOVER, 2001).

A amilopectina é uma molécula grande e altamente ramificada, com peso molecular médio de 10^7 - 10^9 . É formada por várias cadeias constituídas de 20-25 unidades de α -D-glicose ligadas em $\alpha(1-4)$. Essas cadeias, por sua vez, estão unidas por ligações $\alpha(1-6)$ constituindo de 4-5% do total das ligações glicosídicas, como mostra a Figura 4 (WHISTLER; BEMILLER, 1997; BULÉON *et al.*, 1998; HOOVER, 2001; FRANCO *et al.*, 2001).

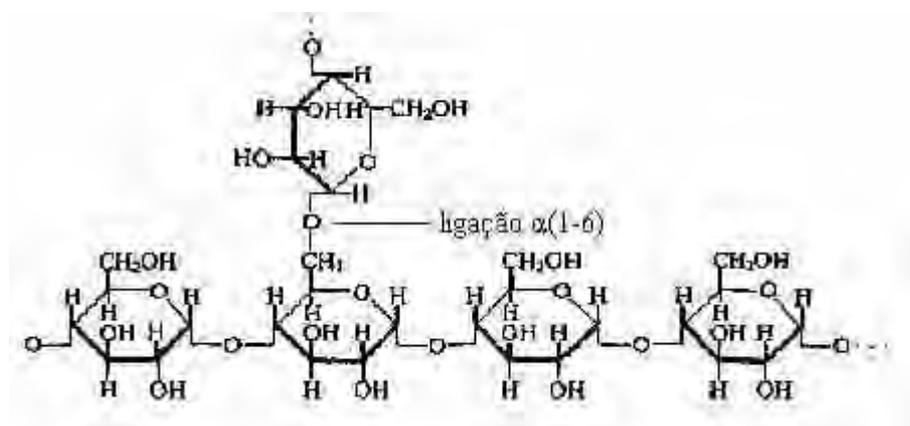


Figura 4. Ligações $\alpha(1-4)$ e $\alpha(1-6)$ da molécula de amilopectina. Fonte: Thomas; Atwell (1999).

A estrutura da amilopectina tem sido estudada pelo modelo de *clusters*, o qual tem sido o mais aceito, conforme mostra a Figura 5. A molécula de amilopectina consiste de uma cadeia principal C que carrega o grupo redutor da molécula e numerosas cadeias ramificadas denominadas A e B. As cadeias A são conectadas às cadeias B ou C por ligações do tipo $\alpha(1-6)$, mas não possuem ramificações. Cadeias B são aquelas conectadas às outras cadeias também por ligações $\alpha(1-6)$ e possuem uma ou mais cadeias A ou B ligadas a ela através de ligações $\alpha(1-6)$. A relação entre as quantidades de cadeias tipo A e B é um importante parâmetro definido como grau de ramificação (FRANCO *et al.*, 2001; HOOVER, 2001).

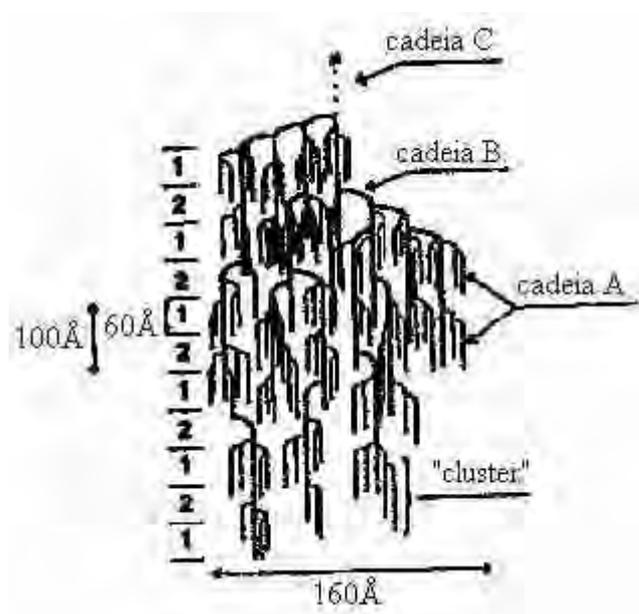


Figura 5. Modelo de *cluster* proposto para amilopectina. Fonte: French (1984).

Amilopectinas de tubérculos e raízes apresentam afinidade por iodo variando de 0,06 a 1,1% com comprimento médio das cadeias entre 19-44 unidades de glicose (HOOVER, 2001).

A disposição da amilose e amilopectina dentro do grânulo de amido ainda não é completamente compreendida. O empacotamento desses dois polímeros no grânulo de amido nativo não ocorre ao acaso. No entanto, quando aquecido na presença de água a estrutura de grânulo torna-se menos ordenada. Tal perda na organização interna ocorre em diferentes temperaturas para diferentes tipos de amidos. Dependendo do amido, se for aquecido em água indefinidamente, o grânulo aumenta até que sua estrutura finalmente se desintegre e a amilose juntamente com a amilopectina sejam liberadas na suspensão aquosa. O conteúdo desses polissacarídeos afeta a arquitetura do grânulo de amido, as propriedades de pasta e gelatinização e os atributos texturais, podendo afetar sua aplicação em alimentos industrializados (YUAN; THOMPSON; BOYER, 1993; THOMAS; ATWELL, 1999).

Além da amilose e amilopectina, os grânulos de amido também contêm umidade, lipídios, proteínas e minerais (KEARSLEY; DZIEDZIC, 1995).

O teor de umidade do amido varia dependendo das condições do ambiente no armazenamento. Nas condições ambientais típicas, umidade relativa de 65% a 20°C, o teor de umidade dos amidos de milho, de trigo e de mandioca varia de 13 a 14% e da batata varia de 18 a 20% (KEARSLEY; DZIEDZIC, 1995). A fração de lipídios, quando elevada, pode alterar características como a fixação da cor, o desenvolvimento de aromas e complexações. Entretanto, para os amidos de tuberosas esse fator não é tão importante devido ao baixo percentual deste componente nos mesmos (BULÉON *et al.*, 1998). A presença de lipídios nos grânulos de amido inibe a cristalização das moléculas e afeta as propriedades reológicas da pasta (WANG; WHITE, 1994).

As proteínas e cinzas aparecem em pequena quantidade em amidos de tubérculos e não chegam a alterar as propriedades funcionais (HOOVER, 2001).

2.4.1. Estrutura do amido

2.4.1.1. Tamanho e forma

Nas células vegetais, os grânulos de amido são formados dentro de estruturas especiais denominadas amiloplastos, envolvidos por uma matriz protéica denominada estroma. Ao microscópio óptico, o grânulo de amido parece ser constituído de uma massa homogênea, mas por análise comparativa a outros grânulos, nota-se variações no formato, tamanho e simetria. Quanto ao tamanho e a forma, estes são característicos das plantas e no geral os grânulos de amido possuem diâmetro que variam de 1 a 100 μm , sendo que os originários de cereais possuem menores diâmetros e maior concentração de proteínas e lipídios (GALLIARD; BOWLER, 1987). A maioria dos grânulos é oval, embora apresente formas redondas, esféricas, poligonais e também formas irregulares. Quando observados em microscópio eletrônico de varredura, todos os grânulos apresentam superfície lisa, sem nenhuma fissura (HOOVER, 2001).

Hoover (2001) verificou o tamanho e a forma dos grânulos de amido de alguns tubérculos. O tamanho dos grânulos de mandioca variou de 5 a 40 μm e a forma pode ser classificada como redonda. O grânulo de batata-doce variou de 2 a 42 μm e apresentou formas redonda, oval e poligonal.

A análise de imagem realizada por Leonel *et al.* (2004), mostrou grânulos de amido de batata-doce com formas circulares e poligonais e quanto ao tamanho, o diâmetro maior máximo variou de 45 a 52 μm e o diâmetro maior mínimo observado foi de 6 a 8 μm . Garcia; Walter (1998) citam as formas redonda, oval e poligonal para os grânulos de amido de batata-doce, e tamanho variável de 2 a 42 μm .

2.4.1.2. Estrutura granular

O grânulo de amido é birrefringente, e sob luz polarizada, apresenta uma típica cruz de malta, que pode ser cêntrica ou excêntrica. Entretanto, a birrefringência não implica necessariamente em uma forma cristalina e sim em um alto grau de organização molecular nos grânulos (ZOBEL; YOUNG; ROCCA, 1988c). Os grânulos de amido estão organizados em regiões cristalinas e amorfas. Estudos mostram que a amilopectina é a responsável pela cristalinidade do amido, não existindo evidências de que a amilose participe dessas regiões. Em amidos provenientes de raízes e tubérculos, a região cristalina é constituída das frações lineares da amilopectina, enquanto que os pontos de ramificação e a amilose são os principais componentes das regiões amorfas (CUI; OATES, 1999; PARKER; RING, 2001).

As cadeias de amilopectina também são organizadas em duplas hélices, formando, ao mesmo tempo, uma estrutura arborescente. Dos numerosos modelos de representação da estrutura da amilopectina propostos, os mais recentes são chamados de “modelos *clusters*”, em cacho (IMBERTY *et al.*, 1991).

A Figura 6 mostra a estrutura do grânulo de amido.

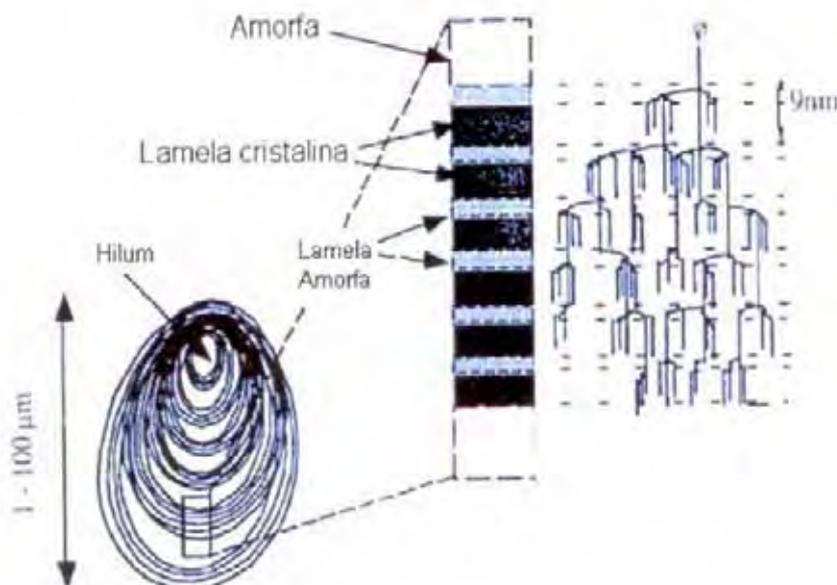


Figura 6. Estrutura do grânulo de amido. Fonte: Gallant; Bouchet; Baldwin (1997).

A amilose e a amilopectina são depositadas em camadas sucessivas e se superpõem ao redor de um núcleo chamado de hilo (BILIADERIS, 1991). Isso confere ao amido um caráter semicristalino, com regiões mais ordenadas (cristalinas) onde se concentra a amilopectina, e regiões amorfas, nas quais as cadeias poliméricas estão menos ordenadas, as quais são constituídas pela amilose (GALLIARD; BOWLER, 1987; IMBERTY *et al.*, 1991). As áreas cristalinas do amido mantêm a estrutura do grânulo, controlam o seu comportamento na presença de água e os tornam mais ou menos resistentes aos ataques químicos e enzimáticos. A zona amorfa dos grânulos é a região menos densa, mais suscetível aos ataques enzimáticos e a que absorve mais água em temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização (BILIADERIS, 1991).

Por apresentarem estruturas cristalinas, os grânulos de amido proporcionam padrões específicos de cristalinidade. De acordo com Hoover (2001), a maioria dos amidos de tuberosas e raízes exibe o padrão tipo B com picos que são amplos e fracos com duas reflexões principais centradas em $5,5^\circ$ e $17,2^\circ$ a 2Θ . Os padrões tipo A, apresentado principalmente em amidos de cereais, possuem 2 picos entre 16 e 18° e uma nas proximidades de 23° a 2Θ (GALLANT *et al.*, 1982). Os tipos A e B representam as verdadeiras formas cristalinas do amido. O padrão tipo C é tido como superposição dos padrões A e B (BULEÓN

et al., 1998). As classificações Ca, Cb e Cc são baseadas na extensão de suas semelhanças aos tipos A e B (HIZUKURI, 1960, citado por HOOVER, 2001). Imberty *et al.* (1988), propuseram que as duplas hélices em ambos os tipos A e B são idênticas, mas o modo de empacotamento e o teor de água são diferentes.

Os padrões A e B diferem entre si quanto à forma dos cristais e quanto ao conteúdo de água. Os amidos tipo B são formados em órgãos de plantas oriundas de ambientes com alta umidade e baixa temperatura. Em baixas condições de umidade e altas temperaturas, os amidos tipo B podem ser convertidos irreversivelmente para amidos tipo A, devido à falta de água e à reorganização das duplas hélices. A passagem do padrão A para o B só é possível se os grânulos de amido forem inteiramente destruídos e então recristalizados em um novo sistema que possuirá nível diferente de organização (COLONNA; LELOUP; BULÉON, 1992).

Uma vez que a estrutura do padrão A, mais estável, parece ser mais densa do que o padrão B, seria esperado que o padrão A demonstrasse maior resistência ao ataque enzimático. Entretanto, observa-se que os grânulos de amido que apresentam padrão de difração tipo B e C tendem a ser mais resistentes a amilases pancreáticas (ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992).

Após a gelatinização dos grânulos de amido, um padrão tipo V pode aparecer. Este padrão se deve às frações de amilose que se complexam com ácidos graxos, fosfolípídeos ou outras moléculas polares (ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992).

A compreensão da estrutura dos grânulos de amido é importante no entendimento de suas propriedades físico-químicas, as quais determinam o seu comportamento nos mais diversos processos industriais.

2.5. Funcionalidade do grânulo de amido

As mudanças na estrutura do amido, dissolução e gelatinização são afetadas pela relação água/amido, taxa de aquecimento, morfologia, razão de amilose/amilopectina, cisalhamento, distribuição e tamanho dos grânulos.

As propriedades do amido estão, em grande parte, condicionadas por seu estado físico no alimento. Esse estado muda durante a preparação do alimento, como o

cozimento, passando de uma estrutura granular a uma dispersão e durante o resfriamento e armazenamento alterando para a forma de gel (MESTRES; MOUQUET, 1996).

O fenômeno de gelatinização do amido é extremamente importante para vários sistemas alimentícios.

Grânulos de amidos nativos são insolúveis em água abaixo da temperatura de gelatinização. Eles expandem um pouco em água fria (10 a 20%) devido à difusão e absorção de água dentro das regiões amorfas, entretanto, esta expansão é reversível pela secagem (BILIADERIS, 1991). Nas zonas amorfas, os componentes que expandem são a amilose e um pouco da amilopectina. Essa expansão é limitada por ser severamente restringida pelas camadas essencialmente contínuas de amilopectina cristalina (MORRISON, 1995).

Quando o grânulo de amido é aquecido em excesso de água (>60%), as ligações de hidrogênio presentes nas áreas amorfas são rompidas permitindo o intumescimento do grânulo. As ligações fortes, presentes na área micelar, possibilitam que o grânulo permaneça intacto até que estas se rompam em alguns pontos. Nessa condição, a expansão dos grânulos torna-se irreversível e a ordem estrutural desaparece pela perda da birrefringência observada usando-se microscopia de luz polarizada (perda da cruz de malta), e pelo desaparecimento da cristalinidade evidenciada pela difração de raios-X (GARCIA *et al.*, 1997). Caso os grânulos continuem a se expandir, a amilose é lixiviada para a fase aquosa entre os grânulos iniciando, assim, o processo de gelatinização, como mostra a Figura 7 (BILIADERIS, 1991).

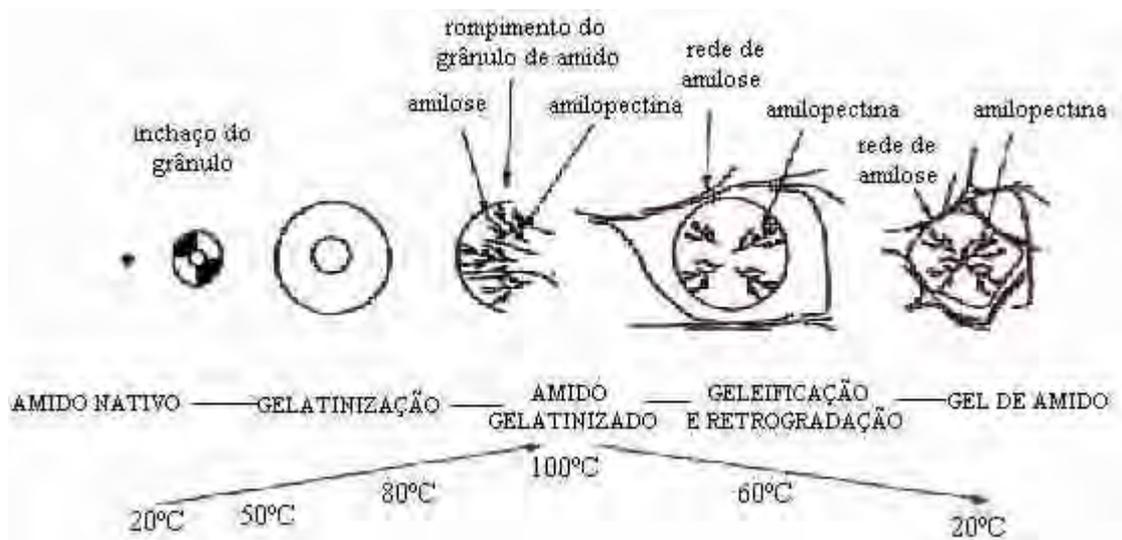


Figura 7. Influência do tratamento hidrotérmico com excesso de água sobre o estado do amido. Fonte: Bornet (1991).

Após a gelatinização, as moléculas de amilose, devido à sua linearidade, tendem a se orientar paralelamente, aproximando-se o suficiente para que se formem pontes de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes, sendo este fenômeno conhecido como retrogradação. Com isso há diminuição de volume e a afinidade do polímero pela água é reduzida, podendo o amido gelatinizado formar filmes estáveis e flexíveis (WURZBURG, 1986; BOBBIO; BOBBIO, 1995).

As mudanças que ocorrem nos grânulos de amido durante a gelatinização e retrogradação são as principais determinantes do comportamento de pasta desses amidos, as quais têm sido medidas principalmente pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e resfriamento de dispersões de amido (THOMAS; ATWELL, 1999).

Os amidos de raízes e tubérculos possuem baixa temperatura de pasta, baixa resistência ao atrito mecânico e baixa tendência a retrogradação quando comparados com amido de cereal normal, sendo estas propriedades atribuídas à ausência de lipídeos e fosfolipídeos (LIM; KASEMSUWAN; JANE, 1994).

O amido de mandioca possui um alto grau de inchamento, resultando em alto pico de viscosidade seguido de rápida quebra no gel. Durante o período de

resfriamento, sua consistência aumenta um pouco, indicando baixo potencial para formação de gel. A tendência à retrogradação do amido de mandioca pode ser determinada pela afinidade dos grupos hidroxilas de uma molécula para outra ocorrendo principalmente entre as moléculas de amilose, e sua baixa tendência a retrogradação pode ser devida ao peso molecular da fração de amilose (RICKARD; ASAOKA; BLANSHARD, 1991).

Além das propriedades de pasta, as propriedades térmicas dos amidos determinadas por Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC) também podem ajudar a determinar sua funcionalidade (KRIEGER *et al.*, 1997). Cada amido tem suas temperaturas características de gelatinização (temperatura inicial (T_0), de pico (T_p), de conclusão (T_c) e entalpia de gelatinização (ΔH) (TESTER, 1997).

A temperatura de gelatinização do grânulo de amido de mandioca e batata-doce encontra-se entre 55 a 70°C e 57 a 90°C, respectivamente, tendo uma solubilidade de 26% a 95°C e de 68% a 90°C, respectivamente (HOOVER, 2001).

O comportamento térmico de amidos é mais complexo do que a termoplasticidade convencional causada pelas mudanças físico-químicas que ocorrem durante o aquecimento de amidos e produtos amiláceos que envolvem a gelatinização, fusão, transição vítrea, cristalização, mudança de estrutura cristalina, expansão do volume, degradação molecular e movimentação da água. Todos esses comportamentos térmicos dependem do teor de umidade e da quantidade de água contida no amido durante o aquecimento instável (YU, CHRISTIE, 2001).

Nos últimos vinte anos, o comportamento térmico de amidos foi estudado utilizando-se a técnica do Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC) (YU, CHRISTIE, 2001). Nesse equipamento, em temperaturas suficientemente altas (em torno de 60-70°C, para a maioria dos amidos), os cristais se desestabilizam pela movimentação térmica e pelas forças de inchamento, se rompem ou fundem, com simultânea perda de birrefringência, se observando o calor absorvido (transição endotérmica).

2.6. Uso dos amidos nas indústrias de alimentos

Nas indústrias agroalimentares, os amidos e derivados são utilizados como ingredientes, componentes básicos ou aditivos adicionados em baixas quantidades para melhorar a fabricação, apresentação ou conservação. Os produtos de hidrólise (xarope de

glicose, de maltose e maltodextrinas) e isomerização (iso-glicose ou frutose) são utilizados nas indústrias de balas, doces, chocolate, bolos, biscoitos, assim como nas indústrias de geléias e de sobremesas, por seus poderes anti-cristalizantes, adoçantes ou higroscopicidade (CEREDA, 2001).

Freqüentemente, os amidos naturais ou nativos não são os mais adequados para processamentos específicos, pois hidratam facilmente, intumescem rapidamente, rompem-se, perdem viscosidade e produzem uma pasta pouco espessa, bastante elástica e coesiva. Então, torna-se necessário modificar o amido nativo para proporcionar características desejáveis aos alimentos. As modificações do amido nativo são feitas para proporcionar produtos amiláceos com propriedades funcionais específicas (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2001).

Os amidos modificados são aqueles nos quais uma ou mais de suas características originais tenham sido modificadas mediante processo tecnológico adequado, através de tratamentos físico, enzimático e/ou químico. O processo de hidrólise enzimática permite a fabricação de uma ampla gama de hidrolisados, como os xaropes de glicose, maltose e maltodextrinas.

A glicose é o principal hidrolisado utilizado no Brasil, sendo usado em vários produtos alimentícios, como: balas, bombons e confeitos, chocolate, achocolatado e derivados, doce de leite, conserva de frutas, sobremesas congeladas, pães, biscoito e bolachas (SCHENK; HEBEDA, 1992).

O xarope de maltose é utilizado, principalmente, na fabricação de cerveja. Além do uso na cervejaria, pode ser usado na elaboração de leite em pó, alimento líquido, caramelo, chocolates, creme, marmelada, doces, refrigerantes, vinho, molhos, temperos, sorvetes, sobremesa congelada, sopas (SCHENK; HEBEDA, 1992).

As maltodextrinas possuem uma ampla aplicação nas indústrias de alimentos por serem solúveis em água e não adocicados. O grau de hidrólise do amido influencia as características físicas, químicas e funcionais das maltodextrinas. Elas são aplicadas em encapsulamento de essências e aromas, para fornecer consistência, como substitutos de gorduras, para prevenir a cristalização, controlar o congelamento. Além das várias aplicações em alimentos, também são utilizadas nas áreas farmacêutica e nutricional.

2.7. Hidrólise do amido

Os amidos podem ser hidrolisados por vias físico-químicas (ácidos, calor e pressão) ou por via enzimática. Os hidrolisados por enzimas são os mais importantes amidos modificados comerciais. Incluem desde dextrinas até açúcares derivados de amido.

A hidrólise se dá pelo desdobramento total das moléculas de amilose e amilopectina, que ao se romperem se transformam em dextrinas cada vez mais simples e finalmente em glicose. O amido não tem sabor, mas os produtos de uma hidrólise intensa apresentam sabor adocicado (FRANCO *et al.*, 2001).

Os produtos resultantes da hidrólise são a glicose, maltose, e uma série de oligossacarídeos e polissacarídeos. Essa ampla faixa de hidrolisados, produzidos a partir de diferentes graus de hidrólise, é classificada em valores de “dextrose equivalente” (DE), o qual mede a quantidade de açúcar redutor presente no produto e é expresso em peso seco (CHRONAKIS, 1998).

O número de extremidades redutoras indica a polimerização da molécula de amido. Por convenção, considera-se que o valor redutor da glicose é de 100%. Ao medir as extremidades redutoras do amido e seus produtos de hidrólise, os resultados são expressos em glicose equivalente ou Dextrose Equivalente (DE). Quanto maior o valor de DE, maior o efeito de hidrólise ou despolimerização do amido. Entretanto, dois hidrolisados preparados em condições diferentes, podem apresentar o mesmo DE e um perfil de açúcar completamente diferente, sendo as propriedades dos hidrolisados também diferentes.

Na hidrólise do amido são utilizados, basicamente, quatro grupos de enzimas. As endo e exoamilases que agem primeiramente nas ligações $\alpha(1-4)$; as desramificantes que agem exclusivamente nas ligações $\alpha(1-6)$ e as transferases que quebram ligações glicosídicas $\alpha(1-4)$ e as transferem para um receptor glicosídico, formando uma nova cadeia glicosídica.

2.7.1. Ação da α -amilase

A enzima α -amilase é encontrada em bactérias, fungos, plantas e animais. Das numerosas bactérias e fungos de onde podem ser isoladas as amilases, os mais estudados e utilizados industrialmente são *Bacillus* e *Aspergillus sp.*

As α -amilases quebram ligações glicosídicas $\alpha(1-4)$ na amilose, na amilopectina e em polissacarídeos relacionados, mas não quebram as ligações $\alpha(1-6)$ em amilopectinas. Os produtos da hidrólise apresentam moléculas de tamanhos variados e possuem a configuração α no carbono C_1 na unidade de glicose redutora produzida. Elas atuam nas ligações das regiões internas do substrato e por isso causam um rápido decréscimo da viscosidade de amidos gelatinizados (GUZMÁN; PAREDES, 1995).

French (1975) verificou que a α -amilase se caracteriza por atacar tanto a amilose quanto a amilopectina. Em primeiro lugar, a enzima forma com o substrato um complexo independentemente da posição inicial do substrato. O complexo enzima-substrato formado possui uma conformação ideal para a catálise. A ligação da direita está mais fracamente associada à enzima que a da esquerda, por isso a ligação da direita se dissocia deixando este lugar desocupado. O fragmento da esquerda se rearranja para ocupar todo o lugar da ligação. Esse processo produz um complexo enzima-substrato com geometria ideal para as catálises posteriores. Como a α -amilase não consegue quebrar as ramificações, a hidrólise da amilopectina é limitada, fazendo com que sejam produzidas dextrinas limites ou oligossacarídeos, que possuem todos os pontos de ramificação.

O padrão de atuação da enzima α -amilase produz inicialmente G_5 (o tamanho da cadeia é expresso em número de glicoses) em grande quantidade, seguidos de G_3 , G_2 , G_1 e G_4 em ordem decrescente. A taxa de hidrólise aumenta muito com o aumento do tamanho da cadeia; G_2 e G_3 não são praticamente atacados. Não há evidências da inibição do substrato pela alta concentração de amido (GUZMÁN; PAREDES, 1995).

As amilases de uma maneira geral, agem na superfície do grânulo de amido, provavelmente em uma imperfeição estrutural ou fissura e, depois, se estendem lateralmente formando cavidades cônicas. A ação contínua da α -amilase causa erosão nos grânulos que podem ser, eventualmente, dissolvidos completamente (FRENCH, 1975).

Em geral, grânulos de amido são resistentes à hidrólise por amilases, pois diferentes tipos de amilases produzem diferentes graus de hidrólise nos grânulos de amido (TESTER; QI; KARKALAS, 2006).

Diferenças na suscetibilidade enzimática de amidos nativos são atribuídas à interação de muitos fatores, tais como, fonte do amido, tamanho do grânulo, extensão da associação molecular entre os componentes do amido, fração de amilose e

amilopectina, tipo de cristalinidade (A, B ou C), complexo amilose-lipídeo, tipo de enzima, condições de hidrólise (concentração de amido, pH, temperatura), distribuição física do amido em relação aos componentes fibrosos, inibidores de α -amilase, porosidade e influência da secagem e condições de armazenamento (COLONNA; BULÉON; LEMANE, 1988; LI *et al.*, 2004).

A enzima α -amilase de maior utilização comercial para a hidrólise do amido é a Termamyl 120 L. Esta é um preparado enzimático líquido e concentrado, a base de α -amilase termoestável, produzida a partir de cepa de *Bacillus licheniformes*. A enzima hidrolisa as ligações $\alpha(1-4)$ da amilose e amilopectina, convertendo rapidamente o amido em dextrinas e oligossacarídeos solúveis. A Termamyl foi especialmente desenvolvida para promover a liquefação (dextrinização) do amido e a produção de maltodextrinas (NOVOZYMES, 2007).

2.8. Maltodextrinas

As maltodextrinas são produtos da hidrólise parcial do amido com valores de dextrose equivalente (DE) menor que 20, e podem ser obtidas de amidos de diferentes fontes botânicas.

A dextrose equivalente (DE) é uma medida que caracteriza a extensão da hidrólise do amido e também indica uma média do peso molecular. Conforme aumenta o grau de hidrólise, a média do peso molecular diminui e a DE aumenta. Esta é uma medida essencialmente empírica da quantidade de açúcar redutor presente no produto e é expressa na base seca (ALEXANDER, 1992). A dextrose usada como padrão é o amido (DE=0) e a glicose (DE=100) (MARCHAL; BEEFTINK; TRAMPER, 1999; DOKIC; JAKOVLJEVIC; BAUCAL, 1998; STORTZ; STEFFENS, 2004). Então, a definição de maltodextrina é todo material que tenha um DE entre 3 e 20. A DE reflete, simplesmente o poder de redução, e indica sua estabilidade e funcionalidade.

Maltodextrinas consistem de uma mistura de sacarídeos com uma ampla distribuição do peso molecular entre polissacarídeos e oligossacarídeos e estão disponíveis no mercado na forma de pó, podendo também ser encontrado como soluções concentradas. Diferentemente do amido nativo, a maltodextrina é solúvel em água (CHRONAKIS, 1998).

As maltodextrinas, nos últimos 30 anos, vêm sendo utilizadas como aditivos alimentares, sendo carboidratos que fornecem 4 kcal ou 16,8 kJ/g de energia. Quando possuem baixa DE (aproximadamente 5) apresentam características organolépticas parecidas com as da gordura, podendo ser utilizadas como substitutos de gorduras. Além desta propriedade funcional, as maltodextrinas também são utilizadas como agentes gelificantes e espessantes, para prevenir a cristalização, auxiliar na dispersibilidade, controlar o congelamento (CHRONAKIS, 1998).

A Figura 8 mostra a composição estrutural das maltodextrinas.

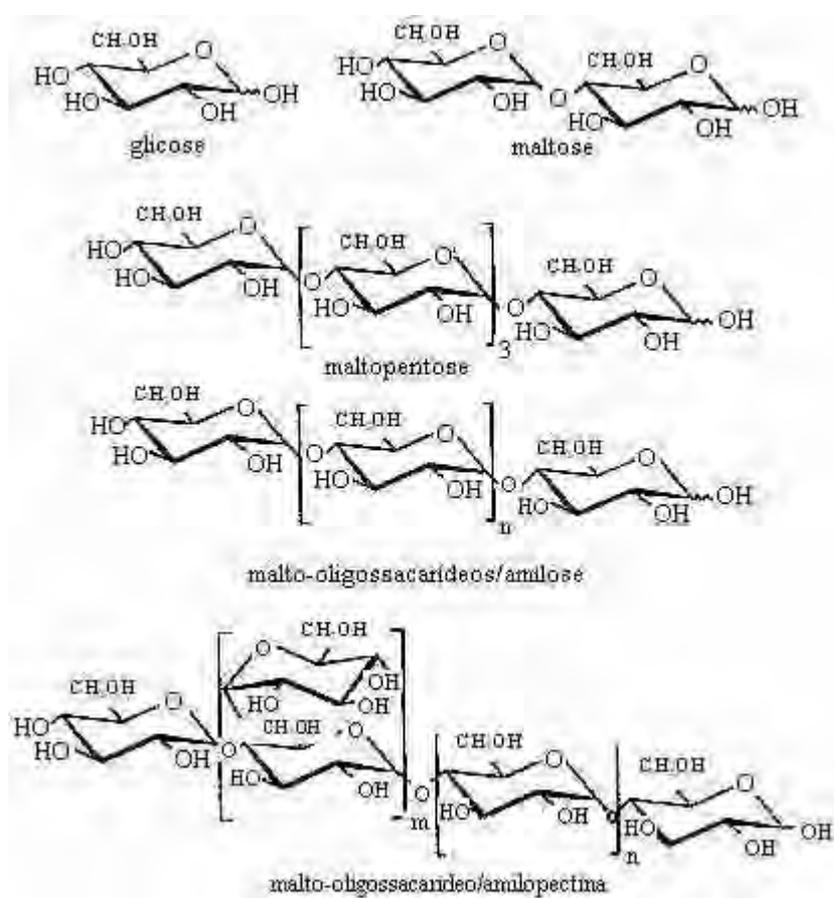


Figura 8. Principais componentes estruturais da maltodextrina. Fonte: Kennedy; Knill e Taylor (1995).

Em geral, as maltodextrinas são solúveis em água, possuem baixa densidade, não apresentam sabor adocicado e não possuem sabor de amido. Devido a estas propriedades são muito utilizadas nas indústrias de alimentos.

2.8.1. Produção de maltodextrinas

A maltodextrina é produzida pela hidrólise do amido e possui uma média de 5 a 10 unidades de glicose/molécula. A natureza do amido a ser hidrolisado e o processo utilizado possui importante influência na composição e propriedade do produto final (ROBIN *et al.*, 1974). As maltodextrinas podem ser produzidas por hidrólise enzimática (α -amilase), ácida ou uma combinação dos dois métodos.

No processo de hidrólise ácida, o amido é hidrolisado ao acaso produzindo uma mistura de moléculas de diferentes tamanhos (MOREHOUSE; MALZAKS; DAY, 1972). Este processo consiste na suspensão do amido com uma quantidade de ácido até atingir pH 1,0, eleva-se a temperatura à 135-150°C por 5 a 8 minutos (BLANCHARD; KATZ, 1995). Em seguida, é feita a neutralização do ácido e a mistura é filtrada, descolorida e concentrada.

A hidrólise ácida produz muitas glicoses livres e maltodextrinas com forte tendência a retrogradação, resultando em soluções turvas (KEARSLEY; DZIEDZIC, 1995). Maltodextrinas de baixo DE (2 a 5) produzidas pela hidrólise ácida possuem fragmentos lineares de amido, longos o suficiente para se reassociarem e formarem agregados insolúveis causando turbidez na solução, o que é indesejável para muitas aplicações. Devido a esses fatores, maltodextrinas comerciais são preparadas pela hidrólise enzimática do amido (MOREHOUSE; MALZAKS; DAY, 1972).

Os processos enzimáticos utilizados na produção de maltodextrinas são patenteados e geralmente consistem na mistura da suspensão de amido com a enzima, aquecidas até a temperatura de gelatinização (~75°C) por um tempo determinado. Logo após a hidrólise, a enzima é inativada a altas temperaturas (~105°C) ou por acidificação do produto (pH~3,5) (ALEXANDER, 1992; BERGHMANS; WALON, 1977), sendo que, as condições ótimas de pH e temperatura dependerão da enzima a ser utilizada. Finalmente, o produto é filtrado, descolorido e neutralizado por secagem em “spray dryer”.

Na hidrólise enzimática, geralmente, é utilizada a enzima α -amilase que hidrolisa somente ligações $\alpha(1-4)$ na amilose e na amilopectina, produzindo maltodextrinas com extensiva hidrólise da amilose e uma hidrólise parcial da amilopectina.

Assim, uma pequena quantidade de amilose de alto peso molecular ainda permanece no hidrolisado (BULPIN; CUTLER; DEA, 1984).

O processo combinado, ácido-enzima, possui vantagens em relação ao processo ácido. O hidrolisado obtido é mais específico e há maior flexibilidade na composição (YANKOV *et al.*, 1986).

2.8.1.1. Secagem

O processo de secagem consiste na remoção de umidade de um material por evaporação devido a transferência simultânea de calor e massa.

Secagem por atomização é, por definição, a transformação de um produto no estado fluido para o estado sólido em forma de pó, através da dispersão de gotículas do material dentro de uma câmara em contato com ar aquecido (MASTERS, 1979). O material a ser desidratado pode estar na forma de solução, suspensão ou pasta, resultando em partículas isoladas, grânulos ou aglomerados, sendo que estas formas dependem das propriedades físicas e químicas do material, do projeto e operação do secador.

“Spray drying” é um processo de secagem através do qual muitas indústrias alimentícias conseguem estabilizar e proteger seus produtos, permitindo que estes sejam embalados e comercializados ou utilizados como matérias-primas em processos posteriores. A Figura 9 apresenta as etapas envolvidas na secagem em “spray dryer”.

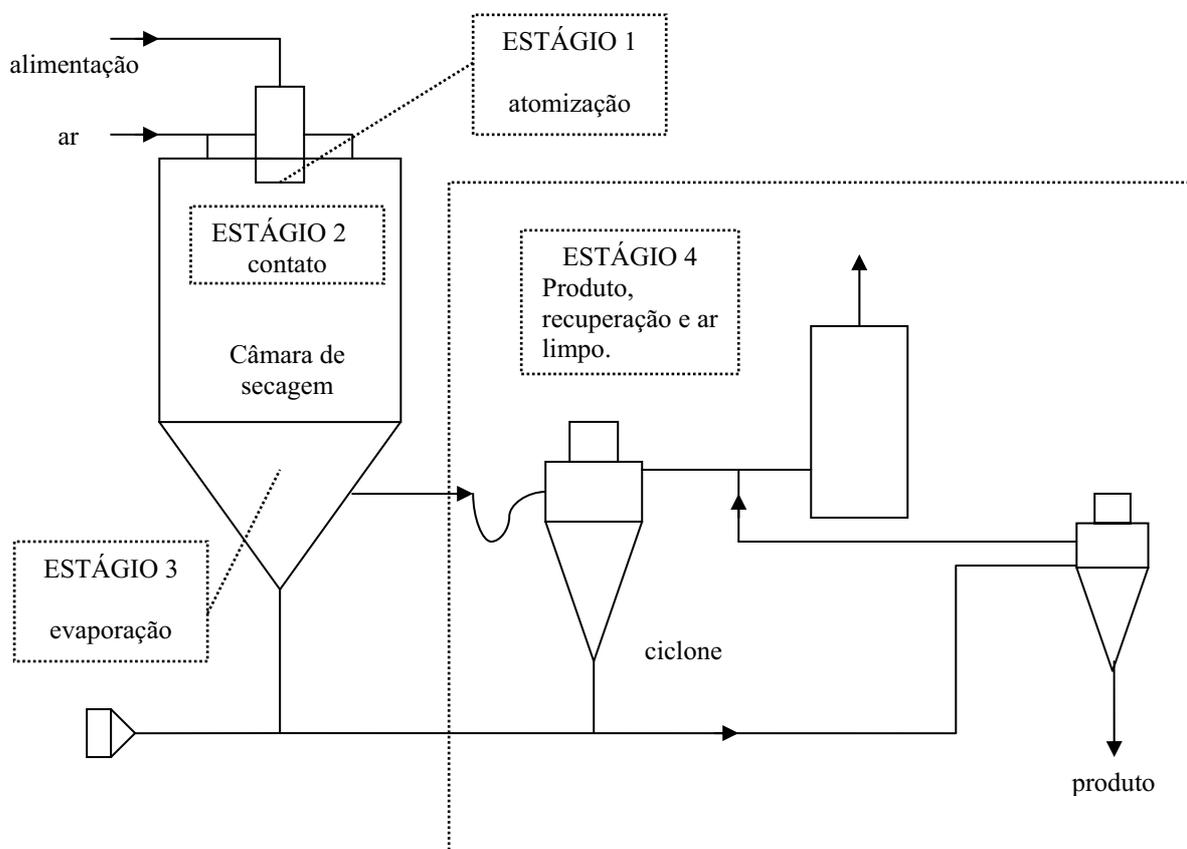


Figura 9. Esquema de funcionamento do “spray dryer”. Fonte: Masters (1979).

A qualidade dos produtos obtidos por atomização depende das características do atomizador e da transferência de calor e massa entre o ar aquecido e as gotículas na câmara de secagem. O líquido é disperso através de alta pressão ou força centrífuga para aumentar a área superficial e expor as gotículas de pequeno diâmetro ao ar de secagem a altas temperaturas. O tamanho das partículas do líquido atomizado fica ao redor de 10 a 200 μm e o tempo de secagem é de 5 a 30 segundos (FURUTA; HAYASHY; OHASHI, 1994).

O termo atomização relacionado ao processo é devido à divisão do líquido em milhões de partículas individuais formando uma nuvem ou “spray”. Um metro cúbico de líquido forma aproximadamente 2×10^{12} partículas uniformes de diâmetro de 100 μm , equivalente a área superficial de 60.000 m^2 . Durante o contato gotícula-ar, as partículas encontram o ar quente ocorrendo um rápido processo de evaporação a partir das superfícies

das partículas. O controle de umidade ocorre pela regulação de fluxo e temperatura do processo (MASTERS, 1979).

O processo de secagem por “spray dryer” é resultante da aplicação de uma energia a agir sobre o líquido até o ponto que ocorre o seu rompimento e desintegração criando uma nuvem de gotículas. Esta nuvem entra em contato com o ar quente a elevadas temperaturas, onde ocorre a secagem, resultando na coleta do produto em pó.

As variáveis do processo de secagem que afetam as propriedades dos produtos são as variações na concentração e temperatura de alimentação, variações na temperatura do ar, variações nos métodos e condições de atomização e diferenças nas propriedades físicas e químicas do material de alimentação (DUFFIE; MARSHALL Jr, 1953).

2.8.2. Aplicações

As maltodextrinas possuem grande aplicação nas indústrias de alimentos devido a suas propriedades funcionais específicas e têm baixo custo quando comparadas com outros hidrocolóides comestíveis.

Apesar de suas aplicações variadas, normalmente a adição destes hidrolisados de amido não é suficiente para suprir as características e qualidades desejadas, sendo necessária a adição de outros carboidratos e proteínas para conferir maior viscosidade e estabilidade e fornecer maior proteção aos alimentos (CHRONAKIS, 1998).

A maltodextrina de batata foi o primeiro produto comercial ao qual os pesquisadores se referiram como “um produto da hidrólise do amido”. Esta tinha a capacidade de formar um gel suave e reversível, substituindo parte da gordura em sorvetes e molhos para saladas. Desde então, várias maltodextrinas têm sido produzidas para diversas aplicações (KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995).

Os principais produtos disponíveis no mercado mundial são: o Paselli SA2, que é feito a partir do amido de batata com uma DE de aproximadamente 2 e forma um gel termoestável, sendo utilizada em sobremesas geladas; a Maltrin M040 que é uma maltodextrina de milho de baixa DE (2-5) e é utilizada em molhos para saladas e margarinas; o Instant N-oil II que é um produto feito a partir do amido de mandioca com DE menor que 5 e que forma um gel aquoso indicado para substituir gorduras de sorvetes e maioneses (KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995).

As principais aplicações das maltodextrinas são em formulações de: molhos para saladas, bebidas, produtos lácteos, embutidos, panificação, confeitaria, encapsulamento de aromas.

Maltodextrinas de baixa DE (ente 2 e 5) podem ser utilizadas como substitutos de gorduras em molhos para salada. Em certos molhos, maltodextrinas têm sido combinadas com gomas naturais ou sintéticas, como a xantana e celulose. Soluções de maltodextrinas a 25% podem substituir de 30 a 50% de gordura, sendo que estas são facilmente miscíveis em óleos e formam emulsões estáveis. Em sobremesas congeladas, a maltodextrina associada com goma de celulose previne a formação de grandes cristais de gelo durante o processo de congelamento e controla a cristalização, e em sorvetes formulados fornece maior viscosidade e menor incorporação de ar à massa (SCHIMIDT *et al.*, 1993). As altas viscosidade e consistência indicam menos ar incorporado em sorvetes (SETSER; RACETTE, 1992).

Em sobremesas, maltodextrinas com DE menores que 15 são utilizadas para substituir o amido, melhorando a solubilidade e a claridade dos produtos (ALEXANDER, 1992).

Em produtos lácteos, como os iogurtes de baixa caloria, as maltodextrinas propiciam características organolépticas semelhantes a dos produtos originais, obtendo a aceitabilidade do consumidor (BARRANTES; TAMINE; SWORD, 1994). Em manteigas, as maltodextrinas fornecem uma textura macia e sensação de cremosidade.

As maltodextrinas também são utilizadas em embutidos devido as suas propriedades espessante, de substitutos de gorduras e para aumentar os sólidos solúveis.

Nos confeitos, as maltodextrinas substituem cerca de 70% dos adoçantes (sacarose ou xarope de milho) auxiliando na redução do tempo de secagem e melhorando a elasticidade, firmeza e o corte em gomas. Também auxiliam na aeração da fabricação de “marshmallow” substituindo 70% das proteínas (ALEXANDER, 1992).

As maltodextrinas também são muito utilizadas como auxiliares no processo de secagem por “spray dryer”. O papel das maltodextrinas como veículo de secagem de produtos alimentícios situa-se em três níveis (ALEXANDER, 1992):

- ✓ antes da secagem, como auxiliar de dispersão para evitar a aglomeração do produto nas tubulações;

- ✓ durante a secagem, para a obtenção de uma granulação homogênea;
- ✓ depois da secagem, para a dispersão do produto em água ou solvente.

O material microencapsulado é coberto por um filme que protege o núcleo. Maltodextrinas de alta DE (15 a 20) protegem o aroma contra a oxidação, sugerindo a importância da DE na funcionalidade dos sistemas de encapsulamento (AANDARAMAN; REINECCIUS, 1986). Também foi observado que o material de parede, contendo maltodextrina, gema de ovo, gelatina e caseína, mostra ótima proteção contra a oxidação (CHRONAKIS, 1998).

As maltodextrinas com DE entre 10 e 20 são as mais indicadas na utilização para o encapsulamento de aromas, enquanto que no encapsulamento de óleos essenciais são utilizadas misturas de maltodextrinas com DE entre 5-15 e proteína (RAJA, *et al.*, 1989; SHEU; ROSENBERG, 1995).

Outra importante propriedade das maltodextrinas é de fornecer consistência e dar corpo aos produtos. Em produtos secos, podem ser encontradas em condimentos, molhos instantâneos, sopas, sobremesas, pudins, bebidas “light” e misturas para café da manhã (ALEXANDER, 1992). Além de fornecer carboidratos em formulações de produtos em pó, as maltodextrinas também são utilizadas devido ao seu baixo sabor adocicado e alta solubilidade (KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995). Em bebidas, têm a função de fornecer carboidratos.

Na área nutricional, a maltodextrina é utilizada em formulas infantis como um suplemento alimentar e em produtos enterais, consumidas oralmente ou através de tubos. Para a alimentação infantil foi desenvolvido um líquido especial, em que maltodextrina com dextrose equivalente de aproximadamente 18 é utilizada na alimentação de crianças prematuras. Ainda podem ser utilizadas na área farmacêutica como enchimento em comprimidos (SCHENK; HEBEDA, 1992). Também possuem uma ampla utilização em bebidas energéticas, auxiliando no desempenho durante os exercícios físicos, e na recuperação corporal prevenindo fadiga. Isso pelo fato da maltodextrina possuir uma digestão mais lenta e

mais saudável, pois são carboidratos complexos e a liberação de açúcar na corrente sanguínea é mais lenta (BRAGANÇA, 2005).

2.8.3. Propriedades funcionais

As maltodextrinas possuem ampla aplicação na indústria alimentícia, pois as variações da fonte botânica, tipo de hidrólise e condições do processo (pré-tratamento, temperatura, tempo de hidrólise, tipo de enzima e concentração) resultam em maltodextrinas com propriedades físico-químicas variáveis (CHRONAKIS, 1998).

As propriedades físico-químicas, como doçura, compressibilidade e viscosidade variam de acordo com a extensão de hidrólise do amido, a qual é caracterizada por determinação da DE. Devido a ampla faixa de aplicação das maltodextrinas a caracterização pela DE se tornou inadequada para prever o desempenho do produto em várias aplicações. Maltodextrinas com o mesmo DE podem ter propriedades diferentes em várias aplicações, refletindo diferenças na composição molecular (MOORE *et al.*, 2005).

2.8.3.1. Dextrose equivalente (DE)

Variações nos valores de dextrose equivalente (DE) resultam em maltodextrinas com diferentes propriedades físico-químicas. Higroscopicidade, solubilidade, osmolaridade e a capacidade de reduzir o ponto de congelamento aumenta com o aumento da DE, enquanto que a viscosidade, coesividade e a prevenção de formação de cristais aumenta com a diminuição da DE (MORRIS, 1984).

Entretanto, maltodextrinas com os mesmos valores de dextrose equivalente (DE) podem apresentar propriedades funcionais diferentes, o que reflete a composição do produto devido as condições do processo de hidrólise. A origem botânica do amido também é um importante fator para a composição molecular (CHRONAKIS, 1998).

Com os valores de dextrose equivalente (DE) é possível classificar e caracterizar os hidrolisados. Aumentando a DE das maltodextrinas ocorre o aumento na sua higroscopicidade, solubilidade em água, fluidez, osmolaridade, doçura e digestibilidade em produtos infantis. Mas, a diminuição da DE e o aumento do tamanho molecular, resultam em maltodextrinas com características de amido devido ao seu aumento de viscosidade e capacidade de formar filme (CHRONAKIS, 1998).

2.8.3.2. Perfis de açúcares

Métodos instrumentais como a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e a cromatografia de permeação em gel são recomendados como os melhores métodos para a caracterização das maltodextrinas (KISER; HAGY, 1979; JAKOVLJEVIC; NIKOLOV; BOSKOV, 1986).

A mudança da média do peso molecular é demonstrada mais claramente pela composição dos oligossacarídeos presentes em diferentes amostras comerciais de maltodextrinas, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Teor de oligossacarídeos de maltodextrinas comerciais.

Produtos	DE	Dados do CLAE ^a						
		DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6	DP6 ⁺
Maltrim M100	8,2	0,68	2,36	4,16	2,62	3,34	5,36	81,48
Paselli MD10	5,9	0,64	1,47	2,84	1,57	2,45	3,26	87,77
Rice Trin 10	14,2	0,90	5,46	12,38	5,58	7,76	6,93	60,99

^a Dados obtidos por cromatografia líquida. Fonte: Wang; Wang (2000).

Com o aumento da dextrose equivalente (DE) de 5,9 para 14,2, a glicose (DP1) aumentou de 0,64 para 0,90%, a maltose (DP2) aumentou de 1,47 para 5,46%, enquanto que para frações de alto peso molecular (DP6⁺) diminuiu de 87,77 para 60,99%. O peso molecular diminuiu com o aumento da DE, indicando a mudança na composição das maltodextrinas com a DE (WANG; WANG, 2000). Na Tabela 2, também se observa que maltodextrinas de diferentes DE, Maltrin e Paselli, possuem DP1 muito próximos.

Os valores de dextrose equivalente (DE) estão de acordo com os resultados obtidos com o CLAE, onde baixos valores de DE (5,9) correspondem a maior teor de sacarídeos de alto peso molecular (87,77%). Os valores de DE não fornecem informações detalhadas sobre o grau de polimerização (DP) das maltodextrinas (WANG; WANG, 2000).

2.8.3.3. Solubilidade em água

A solubilidade em água é uma importante propriedade das maltodextrinas no que se refere às suas aplicações. Maltodextrinas com alta solubilidade, 100% solúveis à 10% e à 25°C, são utilizadas em bebidas para esportistas para fornecer viscosidade. Mas, quando utilizado como substituto de gordura em cremes de queijo precisam ser menos solúveis (GIDLEY; BULPIN, 1987).

A solubilidade é afetada pelo peso molecular dos sacarídeos, sendo que sacarídeos com alto peso molecular diminuem a solubilidade da solução (GRIFFIN; BROOKS, 1989).

Maltodextrinas com DE entre 5 e 15 possuem uma solubilidade muito similar, entretanto há uma tendência de produtos com maior DE apresentarem-se mais solúveis. Maltodextrinas de milho com DE 5 não são completamente solúveis e apresentam soluções turvas a altos níveis de sólidos; já em maltodextrinas de trigo com o mesmo DE as soluções são mais solúveis e menos turvas (ALEXANDER, 1992)

2.8.3.4. Reologia

Reologia pode ser definida como o estudo da deformação da matéria, ou ainda o estudo da mobilidade dos fluidos. A reologia dos fluidos é estudada principalmente através da medida de viscosidade.

A operação fundamental em um teste reológico é aplicar uma força no material a ser investigado e medir sua deformação, ou, igualmente, aplicar uma deformação e medir a resistência.

A medida de viscosidade é a medida da resistência ao movimento (deformação, $\dot{\gamma}$) das várias camadas paralelas de um fluido, movendo-se laminarmente com um gradiente de velocidade uniforme sob a ação de uma tensão (τ) deformante durante o movimento.

Existem dois extremos de comportamento idealizados: sólidos perfeitos (Hookeanos) e líquidos perfeitos (Newtonianos). No primeiro caso a tensão gerada pela resistência à deformação é diretamente proporcional à magnitude da deformação, mas é independente da taxa em que a deformação é aplicada. No outro extremo, a resistência de um

líquido Newtoniano para o movimento imposto é diretamente proporcional à taxa de movimento, mas é independente da magnitude da deformação, isto é, o fluxo continua indefinidamente enquanto a tensão é mantida. O que caracteriza a resistência ao fluxo é a viscosidade do líquido, que é denotada por μ (MORRIS, 1995).

Não existem, naturalmente, fluidos ideais, mas sim fluídos cujo comportamento se aproxima do ideal, como é o caso de líquidos puros, soluções verdadeiras diluídas e poucos sistemas coloidais. O coeficiente de viscosidade, μ , para os fluídos que são não-newtonianos é chamado de viscosidade aparente, μ_{ap} .

No fluido Newtoniano um valor de μ caracteriza o fluido, enquanto para o não-Newtoniano o valor de μ varia com a força aplicada produzindo diferentes tipos de comportamento em função da taxa de deformação, $\dot{\gamma}$.

Os fluidos não-newtonianos podem ser classificados em pseudoplásticos e dilatantes. Quando a força aplicada aumenta a fluidez do sistema, diminuindo a viscosidade temos o fluido pseudoplástico. No caso oposto, em que a fluidez diminui, a viscosidade aparente aumenta, o fluido é chamado de dilatante (LEWIS, 1987).

A “lei da potência” foi proposta por Ostwald e de Waele para descrever tanto o comportamento dilatante ($n > 1$) como pseudoplástico ($n < 1$), como mostra a equação 1. Para $n=1$, $K = \mu$, tem-se então um fluido Newtoniano.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

onde: τ - tensão de cisalhamento, N/m²;

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação, s⁻¹;

K - índice de consistência, Pa.sⁿ;

n - índice de escoamento.

Por ser uma equação muito simples e útil, é a mais popular expressão em trabalhos de engenharia, é largamente usada para resolver problemas industriais e em

ajuste de dados experimentais (RAO; ANANTHESWARAN, 1982; LAPASIN; PRICL, 1995).

Como por definição $\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$, a equação da lei da potência pode ser

expressa pela equação 2 (MORRIS, 1995).

$$\mu_{ap} = K \dot{\gamma}^{(n-1)} \quad (2)$$

As propriedades de transporte e, especificamente o comportamento reológico de materiais complexos e reais como sistemas de polissacarídeos podem ser significativamente afetadas por diversos fatores, como meio de dissolução, concentração e temperatura. Para sistemas homogêneos, a viscosidade é uma função decrescente da temperatura. Verifica-se, experimentalmente, que muitos líquidos de origem biológica de concentração moderada ou alta, tais como soluções ou suspensões de proteínas ou polissacarídeos não obedecem a Lei de Newton da viscosidade. Purês de frutas e vegetais, onde existem quantidades substanciais de material particulado insolúvel, são altamente não-newtonianos devido à alta concentração de macromoléculas (como a pectina) que afetam diretamente o seu comportamento reológico (LAPASIN; PRICL, 1995).

A viscosidade das maltodextrinas é influenciada pela presença de misturas de oligossacarídeos de alto peso molecular (BROOKS; GRIFFIN, 1987). Também são dependentes da interação solvente-polímero, bem como da sua estrutura interna (HIEMENZ; RAJAGOPALAN, 1997).

As propriedades reológicas de soluções de maltodextrinas são afetadas somente pelo tamanho molecular e não pela fonte botânica do amido ou condições de hidrólise durante o processo de produção. As maltodextrinas são misturas de diferentes oligossacarídeos e a alta porcentagem de frações de elevada massa molecular influenciam o comportamento viscoso (DOKIC; JAKOVLJEVIC; DOKIC, 2004)

Maltodextrinas de milho, batata e arroz exibiram baixa viscosidade a concentração de 10, 20 e 30% à 25°C e comportaram-se como um fluido Newtoniano (WANG; WANG, 2000).

A maltodextrina comercial de fécula de batata, Paselli SA2, em uma faixa de concentração de 1 a 35% e à 60°C apresentou comportamento Newtoniano. A viscosidade é uma função da concentração, sendo que com o aumento da concentração ocorre o aumento da viscosidade (LORET *et al.*, 2004).

Avaltroni, Bouquerand e Normand (2004) estudaram a viscosidade de maltodextrinas de milho de diferentes DE à 20°C e observaram que estas tinham comportamento Newtoniano.

2.8.4. Microestrutura das maltodextrinas

Microestrutura de alimentos é definida como a organização dos componentes de um alimento e suas interações. Ao sofrer processamento, a microestrutura do alimento é destruída e reconstruída, o que poderia ser entendido como uma série de operações de reestruturação e reorganização (AGUILERA; STANLEY, 1990).

Atualmente, o conhecimento da microestrutura de alimentos está sendo reconhecido como um pré-requisito necessário para entender suas propriedades. Todos aqueles que têm interesse em descrever, prever e controlar o comportamento de materiais alimentícios, reconhecem a importância do verdadeiro conhecimento da maneira como os componentes estão organizados, já que existe uma relação entre estrutura e funcionalidade. Os métodos para processamento de alimentos podem ser baseados na constatação de que mudanças na microestrutura afetam as propriedades dos produtos. Desse modo, técnicas de análise de microestrutura são necessárias para entender as relações estrutura-propriedades.

2.8.4.1. Microscopia

Várias técnicas são utilizadas para a análise da estrutura dos alimentos. A microscopia eletrônica tem sido usada para detectar diferenças estruturais, visualizando a heterogeneidade de amidos de fontes distintas. Através de técnicas de microscopia pode-se estudar também a acessibilidade dos grânulos de amidos a reagentes químicos e ao ataque enzimático (GRAY; BEMILLER, 2001). Entretanto, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) apresenta características importantes na análise de estruturas de produtos alimentícios. As características da superfície e internamente podem ser estudadas dependendo das características das técnicas de preparação utilizadas. A faixa de aumentos pode variar de 20 a

100.000 vezes e alcançar uma profundidade de campo aproximadamente 500 vezes maior que a microscopia óptica. Assim, através do MEV é possível analisar as características estruturais de amidos submetidos a amilólise, mostrando que a parte cristalina do grânulo é menos digerida que a parte amorfa, sugerindo que a organização interna do cristal apresenta blocos que resistem diferenciadamente ao ataque enzimático (GALLANT *et al.*, 1982; GALLANT; BOUCHET; BADWIN, 1997).

2.8.4.2. Difração de Raios-X

A técnica de difração de raios-X detecta as repetições ordenadas regulares das hélices, refletindo a ordem tridimensional dos cristais do amido. Através desta classificação pode-se agrupar a maioria dos amidos de acordo com suas propriedades físicas (BARRON *et al.*, 2001; GALLANT *et al.*, 1982). Esta técnica é o melhor método para estimar a cristalinidade; entretanto para efeito de comparação, todas as amostras analisadas precisam conter a mesma quantidade de água. Além disto, a difração de raios-X somente detecta cristais agregados em dupla hélice (COLONA; LELOUP; BULÉON, 1992).

Os grânulos de amido contêm regiões amorfas e cristalinas. As regiões amorfas são constituídas tanto de amilose, que é quase completamente amorfa, quanto pela amilopectina, que possui regiões amorfas e regiões altamente ordenadas em estruturas cristalinas. Grânulos nativos de amido possuem cristalinidade variando de 15 a 45% (ZOBEL, 1988).

2.9. Planejamento e otimização de experimentos

O planejamento experimental é uma ferramenta utilizada para minimizar o número de experimentos e otimizar os processos, tendo como base a análise estatística (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2003).

A essência de um bom planejamento consiste em planejar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que se procura. Para tanto, se deve conhecer muito bem o processo em que se deseja trabalhar e analisar quais são os efeitos e as respostas de interesse para o mesmo, podendo estas ser quantitativas ou qualitativas. Os fatores, em geral, são as variáveis que podem ser controladas no processo. As respostas são as variáveis de saída do sistema, nas quais se tem interesse e que

podem ou não ser afetadas por modificações provocadas nos fatores e dependendo do sistema a ser analisado, pode-se ter várias respostas de interesse, que talvez precisem ser consideradas simultaneamente. Quando ainda se tem o interesse de otimizar um processamento, isto é, maximizar ou minimizar algum tipo de resposta, utiliza-se a metodologia de superfície de resposta (RSM) (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2003).

2.9.1. Metodologia de superfície de resposta (RSM)

A metodologia de superfície de resposta, usada desde a década de 50, é uma técnica baseada no emprego de planejamento fatorial e que até hoje é largamente utilizada com bastante sucesso na modelagem de diversos processos industriais (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978).

A RSM é composta de duas etapas: a modelagem e o deslocamento. Ambas podem ser repetidas quantas vezes forem necessárias, até que se atinja uma região ótima (máximo ou mínimo) da superfície estudada. A primeira é conseguida ajustando-se modelos lineares ou quadráticos a resultados experimentais obtidos a partir de planejamentos experimentais. A segunda ocorre na busca do caminho de máxima inclinação de um determinado modelo, que é o caminho onde a resposta varia de forma mais pronunciada.

O método do planejamento experimental é baseado na seleção de níveis (nível superior + e nível inferior -) para cada variável de entrada (variável independente) e na execução de experimentos para todas as possíveis combinações. Se “n” fatores (variáveis controladas pelo pesquisador) estão envolvidos no estudo de um sistema, o planejamento necessita de 2^n ensaios diferentes, que é o número mínimo para obtenção de um planejamento fatorial completo.

Outros ensaios podem ser adicionados ao experimento na forma de repetições, a fim de calcular o erro experimental. Com os resultados obtidos, pode-se calcular os efeitos principais e de interação das variáveis independentes sobre as respostas (dependentes), determinando quais os efeitos mais significativos para o processo em estudo e comparando-os com o valor do efeito e o erro experimental estimado. Obtém-se, assim, um modelo de primeira ordem para correlacionar variáveis e respostas. Quando o modelo de primeira ordem não for eficiente, pode-se completar o planejamento realizando ensaios nos

pontos axiais para um modelo de segunda ordem (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2003).

Para a obtenção dos modelos empíricos através de regressões lineares e não-lineares é necessário realizar uma análise de variância (ANOVA), utilizando dois parâmetros muito importantes: o coeficiente de determinação R^2 e o valor estimado para o teste F (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978).

O coeficiente de determinação (R^2) é um parâmetro estatístico que relaciona a variância dos pontos experimentais em relação ao modelo proposto com a variância da própria população de pontos experimentais. Se a correlação entre os valores previstos pelo modelo e os valores experimentais for igual à unidade, diz-se que esta é perfeita; caso contrário, quando o valor for nulo, não existe correlação alguma entre eles. Pode-se afirmar que, quanto mais próximo este valor estiver da unidade, melhor será o ajuste do modelo com os pontos experimentais.

A base do teste F consiste em verificar se existe relação entre as variáveis independentes e as respostas do planejamento. Quando não existe correlação, pode-se demonstrar que a razão entre as médias quadráticas da regressão e do resíduo (MQ_R/MQ_r) segue uma distribuição F (hipótese nula). Neste caso, a variação nos valores dos resultados foi devido, exclusivamente, a fatores aleatórios. A hipótese nula pode ser testada usando o valor efetivamente calculado para MQ_R/MQ_r e, para isto, basta compará-lo com o valor tabelado de F. Se as variações das respostas experimentais apresentarem alta probabilidade de pertencerem à distribuição F, não há motivos para se questionar a hipótese nula. Desta forma, pode-se dizer que a equação de regressão não é significativa.

Por outro lado, caso a razão MQ_R/MQ_r seja maior que o F tabelado, pode-se dizer que a equação de regressão é estatisticamente significativa e que os dados experimentais podem ser bem representados pelo modelo obtido. Para que um modelo seja considerado estatisticamente significativo e preditivo é necessário que o valor da razão MQ_R/MQ_r seja de quatro a cinco vezes superior ao valor de F tabelado (BOX; WETZ, 1993).

A análise dos resíduos é outro parâmetro de importância fundamental ao se avaliar a qualidade do ajuste de um modelo. Valores residuais altos indicam má qualidade no ajuste (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Matéria-prima

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se amido de mandioca fornecido pela Amidos Pasquini – J.A. Pasquini & Cia Ltda/Nova Esperança-PR e amido de batata-doce, extraído no Laboratório de Processos de Matéria-prima do CERAT/UNESP.

A batata-doce utilizada para a extração do amido foi da cultivar Brazlândia Roxa, adquirida de um único produtor em Duartina/SP.

3.1.1. Extração do amido de batata-doce

A extração do amido de batata-doce foi feita seguindo a metodologia de Sarmento (1997), com algumas modificações, conforme a Figura 10.

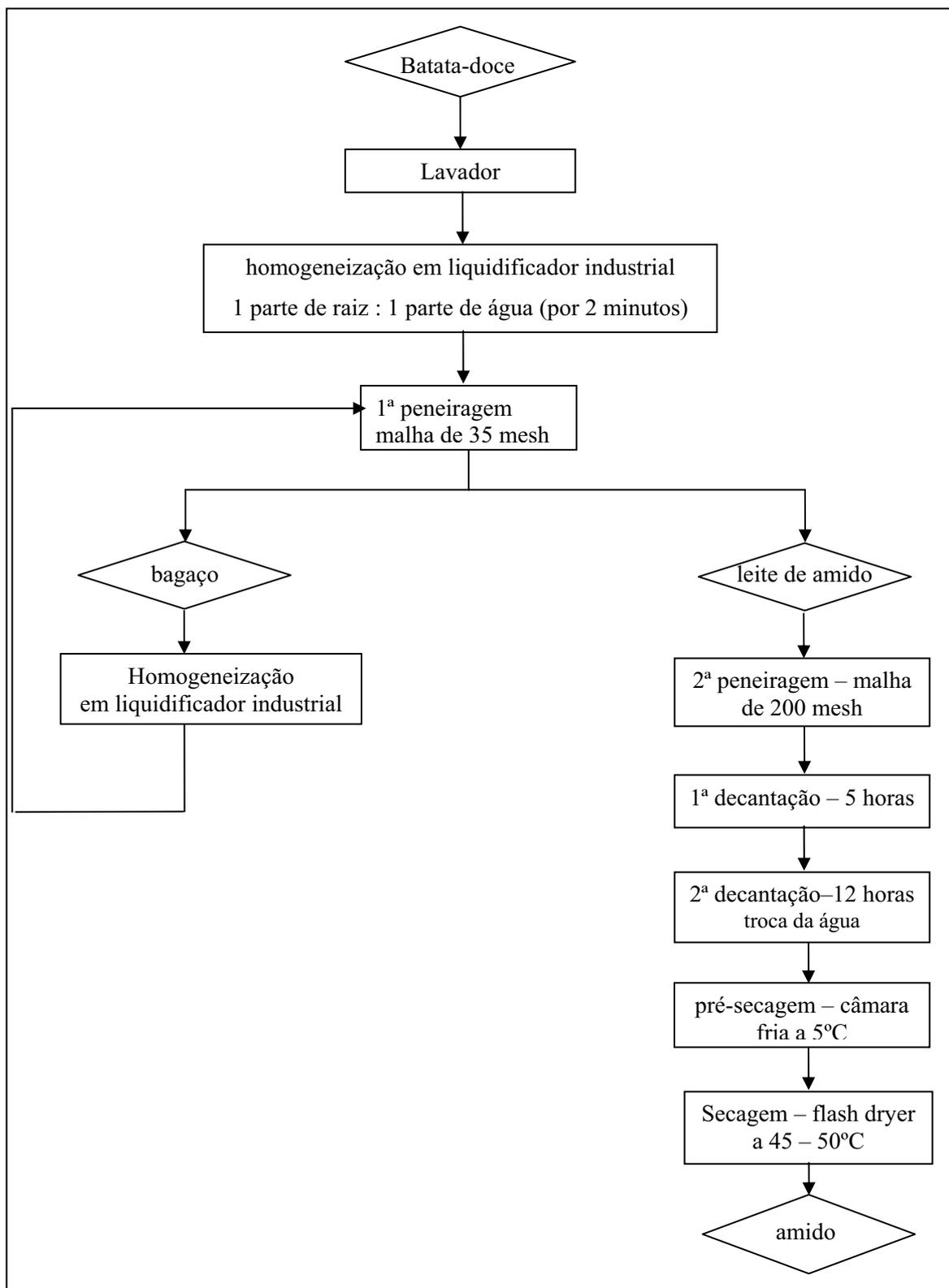


Figura 10. Fluxograma do processo de obtenção do amido de batata-doce.

3.2. Enzima amilolítica

Para a hidrólise dos amidos utilizou-se a enzima α -amilase TERMAMYL 120 L, que é uma enzima termo-estável produzida por cepas de *Bacillus liqueniformis*. Esta enzima é uma endoamilase que hidrolisará ligações $\alpha(1-4)$ em amilose e amilopectina. A atividade enzimática é de 120 KNU (Quilo de Unidade Novo de α -amilase) por grama de amido.

Para esse experimento utilizou-se 0,5 UE (unidade enzimática) para hidrolisar 4 g. de amido.

3.3. Caracterização da matéria-prima

As análises físico-químicas dos amidos de mandioca e batata-doce foram realizadas no Laboratório de Análises do Centro de Raízes e Amidos Tropicais CERAT/UNESP. Todas as análises foram feitas em triplicatas.

3.3.1. Umidade

Para a determinação do teor de umidade, as amostras foram colocadas em estufa a 104°C por 8 horas. Após esse período foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador e novamente pesadas (AOAC, “Association of Official Analytical Chemistry”,1980).

3.3.2. Cinzas

Foi determinada pela combustão da matéria seca em mufla a 550°C durante 2 horas. Após esse período as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas (AOAC, “Association of Official Analytical Chemistry”,1980).

3.3.3. Proteínas

O teor de nitrogênio foi medido pelo método de Kjeldahl, conforme AOAC, “Association of Official Analytical Chemistry” (1980). O fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína bruta foi de 6,25.

3.3.4. Matéria graxa

A determinação da matéria graxa foi realizada em extrator Soxhlet, utilizando éter de petróleo para a extração (AOAC, “Association of Official Analytical Chemistry”, 1980).

3.3.5. Fibras

O teor de fibras foi determinado por hidrólise ácida seguida de hidrólise alcalina, segundo a metodologia da “American Association of Cereal Chemistry” (AACC, 1975).

3.3.6. pH

O pH foi determinado em pHmetro à 24°C usando a metodologia descrita pela AOAC, “Association of Official Analytical Chemistry” (1980).

3.3.7. Açúcares solúveis totais

Para a determinação do teor de açúcares solúveis totais pesou-se 1 g de amostra em um erlenmeyer, acrescentou-se 30 mL de etanol absoluto P.A. e 30 mL de água destilada, em seguida foi colocado em banho com aquecimento a 60 a 65°C por 60 minutos. Depois foi acrescentado 1 mL de HCl P.A. concentrado e as amostras retornaram ao banho por mais 60 minutos e em seguida foram resfriadas, neutralizadas e diluídas. O teor de açúcares totais foi determinado pelo método de Somogy, adaptado por Nelson (1944).

3.3.8. Amido

Foi determinado pelo método de hidrólise enzimática segundo metodologia ISO-6647 (“International Organization for Standardization”, 1987). Após a hidrólise do amido o teor de açúcar redutor foi determinado pelo método de Somogy, adaptado por Nelson (1944), sendo feita a conversão para amido pela multiplicação da porcentagem de açúcar obtida pelo fator 0,9.

3.3.9. Teor de amilose

O teor de amilose foi quantificado utilizando-se a metodologia ISO-6647 (ISO, “International Organization for Standardization”, 1987).

3.3.10. Forma e distribuição de tamanho dos grânulos de amido

A forma e distribuição de tamanho dos grânulos de amido de mandioca e batata-doce foram determinadas através de um Microscópio óptico (Axioskop 2 da Zeiss) e a imagem foi analisada através do sistema de análise de imagem (KS 300 – Zeiss).

Foram preparadas 10 lâminas para cada amostra, sendo que em cada lâmina foram acrescentadas duas gotas de água e glicerina na proporção de 1:1 e com o auxílio de um fio de platina foi misturada uma pequena quantidade de amido, e a solução foi coberta por uma lamínula. Após o preparo, as lâminas foram observadas ao microscópio e os campos selecionados foram analisados pelo sistema KS300 para o parâmetro de diâmetro maior (μm).

3.3.11. Microscopia eletrônica de varredura

O aspecto geral dos amidos de mandioca e batata-doce foi observado por um microscópio eletrônico de varredura, da marca Jeol JSM-330 A “Scanning microscope”. As amostras foram colocadas em um suporte (“stubs”) com fita adesiva dupla face, onde os amidos foram fixados e cobertos com uma camada de ouro de 20 nm em metalizador “Balzers”. Essa análise foi realizada no Laboratório Multidisciplinar do Departamento de Química da UNESP/Araraquara.

3.3.12. Difração por Raios-X

As amostras de amidos de mandioca e batata-doce foram compactadas em suporte de alumínio e analisadas, a temperatura ambiente, utilizando-se um difractômetro de raios-X da marca Rigaku Rotaflex (modelo RU 200 B), operando com filtro monocromático, radiação $K\alpha$ de cobre, potência de 0,8 kW, corrente de 100 mA e voltagem de 50 kV. O comprimento de onda utilizado foi de 1,5406 Å. As análises foram feitas entre 5° e 50° em 2θ , sendo a velocidade de varredura de 1° minuto⁻¹. A intensidade foi expressa em contagem de picos por segundo (cps). Essa análise foi realizada no Laboratório de Cristalografia do Departamento de Física da USP/São Carlos.

O índice de cristalinidade relativa (IC) foi quantitativamente estimado de acordo com o método proposto por Hermans e Weidinger (1984 apud SEBIO, 2003) e modificado por Rabek (1980 apud SEBIO, 2003). O índice de cristalinidade é definido como a razão entre a área cristalina (A_c) e área total coberta pela curva ($A_c + A_a$), composta pela área da região cristalina (A_c) e a área da região amorfa (A_a), conforme a equação (3). As áreas amorfas e cristalinas foram calculadas usando o programa computacional Origin 7.0.

$$IC = \frac{A_c}{(A_a + A_c)} 100 \quad (3)$$

3.3.13. Propriedades de pasta dos amidos

As propriedades de pasta foram determinadas através do “Rapid Visco Analyser” (RVA), série 4, da “Newport Scientific” com auxílio do programa “Thermocline for Windows”, segundo método descrito no manual do fabricante (Newport Scientific, 1998). As amostras contendo 2,5 g (peso seco) de amido foram dispersas em 25 mL de água destilada. A mistura foi agitada a 960 rpm por 10 segundos e a 160 rpm durante o restante do teste. A viscosidade aparente foi expressa em unidades empíricas do aparelho, ou seja, “Rapid Visco Units” (RVU).

A programação de temperatura utilizada foi a STD 2: manutenção a 50°C por 1 minuto, seguida de aquecimento de 50°C a 95°C, a uma taxa de 6°C min⁻¹; manutenção a 95°C por 5 minutos, e resfriamento a 50°C, a 6°C min⁻¹. O perfil de cozimento do amido foi avaliado com a observação do pico de viscosidade, quebra de viscosidade, tendência a retrogradação, viscosidade final, temperatura de pasta e tempo para atingir o pico, como mostra a Figura 11. As análises foram realizadas em duplicatas.

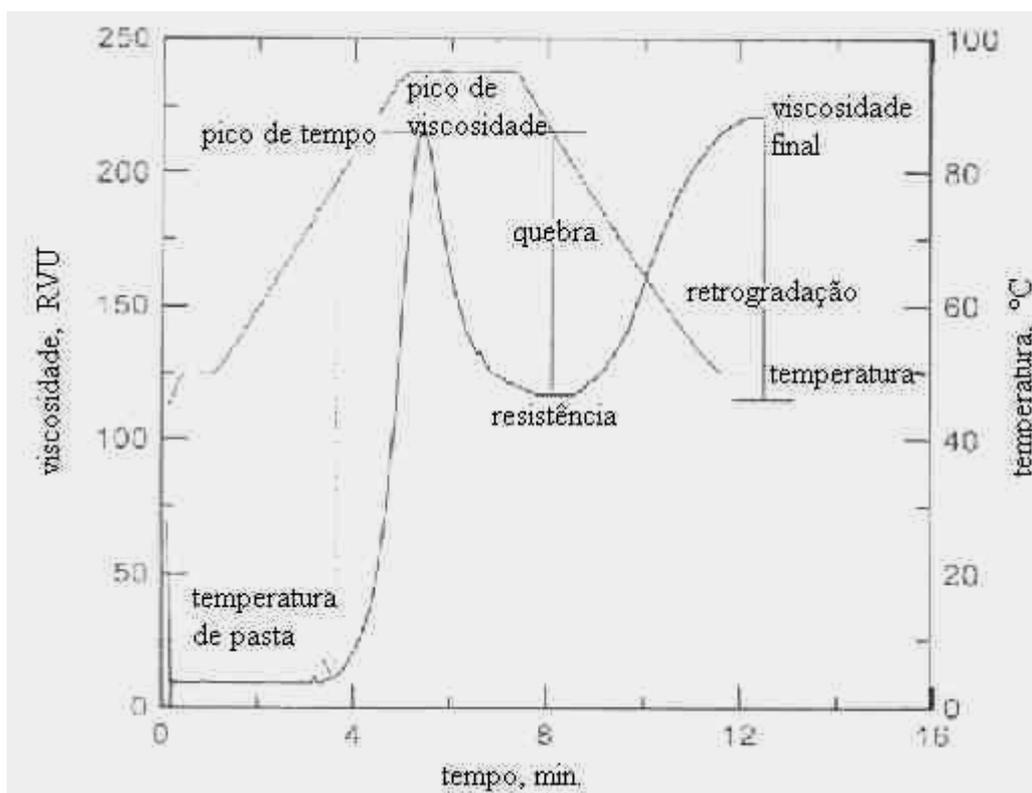


Figura 11. Parâmetros avaliados na curva amilográfica de amido.

3.3.14. Análise térmica

As propriedades térmicas dos amidos foram determinadas utilizando um Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC – “Differential Scanning Calorimeter”) de acordo com o método descrito por Franco *et al.* (2002). Amostras de 2 mg em base seca dos amidos foram pesadas em pequenos recipientes de alumínio próprios para o equipamento, e misturadas com 6 μL de água deionizada e seladas. Os recipientes selados permaneceram em repouso por 2 horas em temperatura ambiente. As amostras foram aquecidas de 25 a 100°C a uma taxa de 5°C min^{-1} . Um recipiente de alumínio vazio foi utilizado como referência.

As temperaturas inicial (T_0), de pico (T_p), de conclusão (T_c) e variação de entalpia (ΔH) dos amidos foram determinadas utilizando o programa computacional Pyris 1 da Perkin Elmer, EUA. Todas as análises foram realizadas em triplicatas. Essa análise foi realizada no Laboratório do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da UNESP/São José do Rio Preto.

3.4. Planejamento experimental para a produção de maltodextrinas

O processo de produção de maltodextrinas de mandioca e batata-doce foi estudado mediante planejamento experimental fatorial completo 2^2 com duas variáveis independentes (tempo de hidrólise e rotação no processo de agitação). Cada fator foi estudado em 5 diferentes níveis, como mostra a Tabela 3. Os pontos centrais (0) servem para estimar o erro experimental e determinar a precisão da equação polinomial. Os pontos axiais ($\pm\alpha$) são utilizados para a ampliação do modelo linear, tornando-o um modelo quadrático. O valor de α é função do número de variáveis independentes (k), sendo definido pela equação 4. (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2003).

$$\alpha = (2^k)^{1/4} \quad (4)$$

Neste experimento são duas variáveis independentes, então o valor de α é 1,4142.

Tabela 3. Níveis das variáveis no planejamento experimental da produção de maltodextrinas.

Variáveis independentes	Nível				
	- α	-1	0	+1	+ α
Tempo de hidrólise, t (min)	10	15	17	20	25
Agitação A, (rotação, rpm)	20	30	35	40	50

Os valores das variáveis independentes foram baseados nos estudos de Lumdubwong e Seib (2001), que produziram maltodextrinas de trigo de baixo e médio DE.

A Tabela 4 apresenta a planilha do planejamento experimental.

Tabela 4. Planejamento experimental completo 2^2 com pontos centrais e axiais para a produção de maltodextrina.

Tratamentos	Variáveis codificadas		Variáveis reais	
	X1	X2	Tempo de hidrólise (min)	Agitação (rotação, rpm)
1	-1	-1	15	30
2	-1	+1	15	40
3	+1	-1	20	30
4	+1	+1	20	40
5	-1,41	0	10	35
6	+1,41	0	25	35
7	0	-1,41	17	20
8	0	+1,41	17	50
9	0	0	17	35
10	0	0	17	35
11	0	0	17	35

Onde: X1 = tempo de hidrólise; X2 = agitação.

Através do presente estudo foi possível obter modelos estatísticos capazes de prever o comportamento das variáveis dependentes (respostas) em função das variáveis independentes.

Considerou-se a existência de uma função matemática para cada resposta (φ) em função das duas variáveis independentes (tempo de hidrólise e agitação no processo de agitação), como mostra a equação 5.

$$\varphi = \beta_0 + \beta_1 t_1 + \beta_2 A_2 + \beta_{11} t_1^2 + \beta_{22} A_2^2 + \beta_{12} t_1 A_2 \quad (5)$$

onde: φ = função resposta;

t e A = valores das variáveis independentes;

β_1 e β_2 = coeficientes lineares estimados pelo método dos quadrados mínimos;

β_{11} e β_{22} = coeficientes das variáveis quadráticas;

β_{12} = coeficiente de interação entre as variáveis independentes.

O processamento de dados e a análise estatística foram realizados com o auxílio do RSREG e do STEP-WISE do sistema SAS versão 8.2. A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA). Foi adotado o nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$).

3.5. Produção das maltodextrinas

As maltodextrinas foram elaboradas no Laboratório de Processos do CERAT/UNESP, de acordo com a metodologia de McPherson e Seib (1997), com pequenas modificações.

Levando-se em consideração que o presente trabalho tem como enfoque a elaboração de um quadro comparativo entre as diferentes características apresentadas pelas maltodextrinas de mandioca e batata-doce a partir do mesmo processo de fabricação, o experimento para a produção das amostras de maltodextrinas foi dividido em dois grupos.

No primeiro se utilizou o amido de mandioca e, no segundo, o amido de batata-doce a fim de possibilitar o estudo pretendido confrontando, por idêntico processo, a influência das respectivas matérias-primas, da rotação no processo de agitação e do tempo de hidrólise sobre as propriedades funcionais das maltodextrinas.

Os ensaios foram realizados em um reator de aço inoxidável fabricado pela R.A.B Ranazzi e Cia Ltda/Bauru-SP com volume útil de 6,9 litros, 260 mm de altura e 175 mm de diâmetro. O equipamento possui trocador de calor na parede externa que é isolado com lã de vidro, o aquecimento é produzido por resistências elétricas fixadas externamente ao casco do reator encapsulado por uma segunda cobertura de isolante térmico para minimizar perdas de calor. Internamente possui acabamento do tipo espelhado com fundo semi-esférico com válvula esférica para escoamento central, e o sistema de agitação possui um impelidor tipo âncora com diâmetro interno das pás de 170 mm e altura de 230 mm.

Para a produção das maltodextrinas, 2 litros de água foram aquecidos à 90°C no reator. Em seguida, foi adicionada uma suspensão de amido com 0,5 UE da enzima α -amilase para cada 4 g. de amido e 200 ppm de cálcio, sendo que o volume total utilizado no reator foi de 4 litros e a concentração de amido foi de 30% (p/p). O pH da solução foi ajustado para 6,5 com hidróxido de sódio a 0,5 M. A hidrólise foi realizada a 90-95°C sob agitação mecânica por tempo pré-determinado. Após a hidrólise, o pH da dispersão foi ajustado para $3,0 \pm 0,5$ com ácido clorídrico 3 M e resfriada a 60°C para a inativação da enzima. O pH foi ajustado para $6,5 \pm 0,5$ com hidróxido de sódio 3 M. As maltodextrinas foram filtradas a vácuo em funil de Buchner para a remoção de impurezas, e foram ajustadas a 20–27°Brix. Em seguida, foram secas em “spray-dryer”. Cada ensaio foi realizado em seqüência, sendo que os hidrolisados não foram armazenados em câmara fria. A Figura 12 mostra o fluxograma da produção de maltodextrinas de mandioca e batata-doce usando-se um reator.

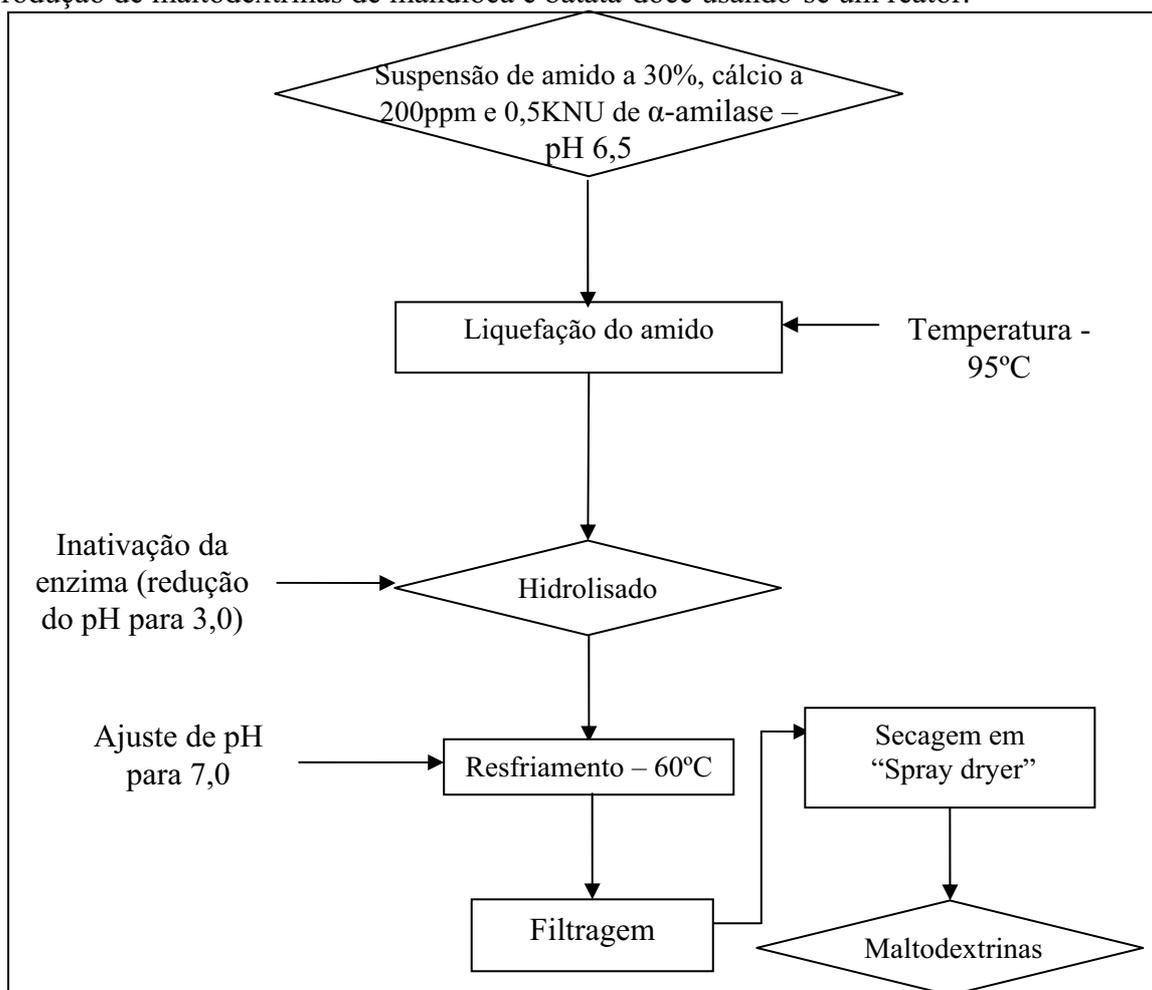


Figura 12. Fluxograma da produção de maltodextrinas de mandioca e batata-doce.

Na produção de maltodextrinas foram avaliados os efeitos da rotação no processo de agitação e do tempo de hidrólise, sendo utilizadas rotações que variaram de 20 a 50 rpm e tempo de 10 a 25 minutos, conforme a Tabela 4.

3.6. Secagem

As amostras foram secas em secador tipo “spray dryer” de aço inoxidável fabricado pela R.A.B Ranazzi e Cia Ltda/Bauru-SP, como mostra a Figura 13. O sistema de secagem é composto por:

- ✓ secador de ar;
- ✓ sistema de aquecimento, por resistências elétricas fixadas na parte superior do equipamento e encapsulada por uma cobertura de isolante térmico para minimizar perdas de calor;
- ✓ sistema de pulverização de líquido, localizado abaixo do sistema de aquecimento e é dotado de um bico micro-aspersor;
- ✓ câmara de secagem e
- ✓ ciclone para a recuperação de pós-finos.



Figura 13. Secador tipo “spray dryer” utilizado na secagem das maltodextrinas.

A Figura 14 apresenta um esquema de funcionamento do “spray dryer”.

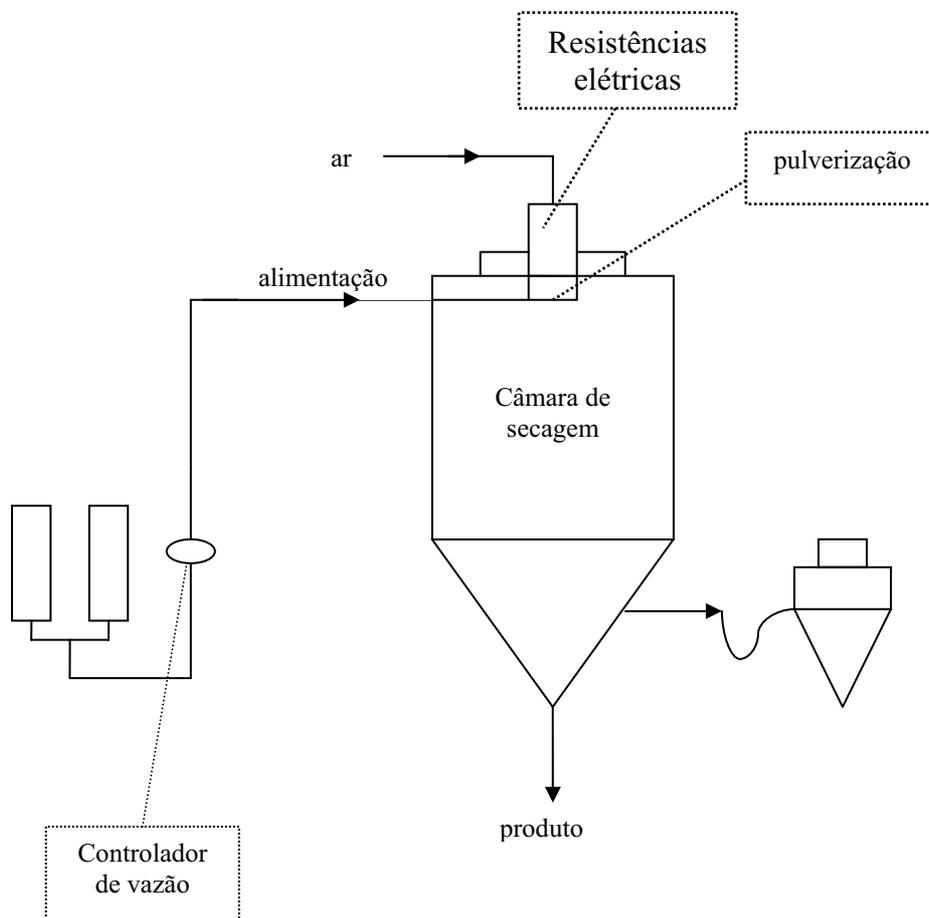


Figura 14. Esquema de funcionamento do “spray dryer” utilizado na secagem das maltodextrinas.

Todas as amostras de maltodextrinas em uma faixa de 20 a 27°Brix foram secas logo após a hidrólise, inativação da enzima e filtragem para a remoção de impurezas, sendo que as soluções de maltodextrinas não foram armazenadas. Em todas as amostras, o equipamento operou com uma vazão de líquido de 16,67 a 21,50 mL min⁻¹ e com um bico micro aspersor de 0,2 mm de diâmetro. As temperaturas de entrada do ar de secagem variaram de 248°C a 253°C e as temperaturas de saída de secagem variaram de 113°C a 124°C. O produto em pó foi coletado e colocado em sacos plásticos rotulados e acondicionados em caixa plástica com tampa para evitar a aglomeração e possível aumento da umidade.

3.7. Caracterização das maltodextrinas

As maltodextrinas comerciais utilizadas nesta pesquisa foram fornecidas pela “Corn Products”, sendo que a maltodextrina de mandioca e milho são GLOBE 1805 com DE entre 4,0-7,0 e GLOBE 1910 com DE entre 9,0-12,0, respectivamente.

Com a finalidade de comparar as maltodextrinas de mandioca e batata-doce fabricadas no laboratório do CERAT/UNESP com as maltodextrinas comerciais de mandioca e milho foram realizadas as seguintes análises:

3.7.1. Umidade

O teor de umidade das maltodextrinas foi determinado de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.1.

3.7.2. Açúcar redutor

A porcentagem de açúcares redutores foi determinada pelo método de Somogy adaptado por Nelson (1944).

3.7.3. Teor de Glicose

A concentração de glicose foi determinada por glicose oxidase e as amostras foram diluídas a concentração de 10%. Pipetou-se 20 μ L da amostra em tubo de ensaio e acrescentou 20 μ L do reativo de trabalho e 2 mL de água destilada. Os tubos de ensaio foram colocados em banho à 37°C por 10 minutos. Em seguida, foram feitas leituras em espectrofotômetro a 505 nm e o teor de glicose foi determinado pela equação 6.

$$glicose = abs.F.diluição \quad (mg/dL) \quad (6)$$

onde: *abs.* - absorbância em 505nm;

F - fator de correção, expresso pela equação 7.

$$F = 100 / \text{padrão} \quad (mg/dL) \quad (7)$$

3.7.4. Caracterização reológica

3.7.4.1. Preparação das suspensões

As maltodextrinas em pó foram pesadas em balança semi-analítica e diluídas em água destilada nas concentrações de 20% e 30% e homogeneizadas. As amostras foram colocadas em banho de ultra-som a temperatura ambiente para a retirada de bolhas.

3.7.4.2. Medidas reológicas

Todas as medidas foram obtidas em um viscosímetro rotacional, BROOKFIELD modelo LV, com sistemas de sensores ULA-00. As análises foram realizadas a temperatura de 25°C e a faixa da taxa de deformação variou de 9,78 a 122,30 s⁻¹ para maltodextrina de mandioca a 20%, 2,45 a 36,69 s⁻¹ para maltodextrina de mandioca a 30%, 24,46 a 183,45 s⁻¹ para maltodextrina de batata-doce a 20% e 7,34 a 85,61 s⁻¹ para maltodextrina de batata-doce a 30%.

Os valores das curvas de viscosidade aparente e tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação aplicada são considerados seguros, e podem ser utilizados se estiverem na faixa de leitura do equipamento entre 10 e 100% do torque máximo.

O viscosímetro foi conectado a um sistema computadorizado de aquisição de dados (“Wingather V.1.1 Brookfield Engineering Laboratories”) para registrar a taxa de deformação, a viscosidade aparente e a tensão de cisalhamento à temperatura de 25°C. A temperatura da amostra foi mantida constante pela circulação de água ao redor do reservatório que contém a amostra, usando um banho circulador com aquecimento e resfriamento da marca Brookfield modelo TC501.

3.7.5. Perfil de açúcares

3.7.5.1. Preparação das suspensões

As maltodextrinas foram diluídas na proporção de 1/100, com água deionizada, para ficar em torno de 1°Brix. Após a diluição as amostras foram aquecidas em banho-maria a 35°C para facilitar a solubilização dos açúcares e centrifugadas a 12.000 rpm durante 8 minutos. Em seguida, as amostras foram filtradas em membrana PVDF 0,22 µm com 13 mm de diâmetro da marca MILLI PORE com o auxílio de um “holder” e seringa de 1 mL, para a retenção de sólidos, e colocadas em frascos do injetor automático.

3.7.5.2. Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

Os perfis de açúcares foram determinados por cromatografia líquida a alta pressão com sistema da marca VARIAN modelo PRO STAR, com duas bombas binárias, injetor automático (AUTO SAMPLER PRO STAR 410) e coluna BIO-RAD HPX-42A com detector de IR (índice de refração). A fase móvel foi água deionizada e filtrada em membrana PVDF 0,22 µm com 40 mm de diâmetro da marca MILLI PORE a um fluxo de 0,6 mL minuto⁻¹ e a temperatura da coluna foi de 85°C.

A determinação da concentração dos açúcares foi calculada em relação às análises de soluções padrões.

3.7.6. Solubilidade

A solubilidade em água das maltodextrinas foi determinada pelo método de Eastman; Moore (1984), com pequenas modificações.

Para esta análise pesaram-se amostras de maltodextrina em um béquer e foram adicionados 100 mL de água destilada. A suspensão foi agitada em um misturador da marca Metabo modelo GE 700 a aproximadamente 13.000 rpm e transferida para tubos da centrífuga. A suspensão foi centrifugada a 3.000 rpm por 15 minutos. Uma alíquota de 25 mL foi retirada do sobrenadante e colocada em béquer previamente tarado e pesado e levados à estufa a 105°C por 24 horas ou até peso constante. A solubilidade foi expressa pela equação 8.

$$\% \text{ solubilidade} = \frac{\text{peso do resíduo de evaporação (g)}}{\text{peso da amostra (g)}} \cdot 400 \quad (8)$$

3.7.7. Microscopia eletrônica de varredura

A morfologia das partículas de maltodextrinas e o perfil de ataque enzimático foram observados ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). As amostras foram analisadas de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.11.

3.7.8. Difração de raios-X

As amostras foram analisadas de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.12.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos amidos de mandioca e batata-doce

4.1.1. Propriedades físico-químicas

Conforme a origem botânica ou método de extração, o amido pode apresentar diferentes proporções de lipídeos, proteínas, fibras e minerais, e a quantificação destes componentes indica a qualidade do processo de extração. A caracterização físico-química dos amidos de mandioca e batata-doce utilizadas nos ensaios está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização físico-química dos amidos de mandioca e batata-doce *in natura*.

Análises	Teores (% em m.s.*)	
	Mandioca	Batata-doce
Umidade	9,61 ± 0,39	11,06 ± 0,12
Amido	96,44 ± 0,33	95,56 ± 0,25
Amilose	18,61 ± 0,22	18,85 ± 0,06
Matéria graxa	0,13 ± 0,03	0,11 ± 0,01
Proteína	0,16 ± 0,01	0,35 ± 0,03
Fibras	0,14 ± 0,02	0,32 ± 0,01
Açúcares solúveis totais	0,11 ± 0,02	0,27 ± 0,01
Cinzas	0,09 ± 0,01	0,35 ± 0,05
pH	5,91 ± 0,05	5,55 ± 0,01

* m.s = massa seca.

De acordo com a Tabela 5, se observa que os teores de umidade dos amidos de mandioca e batata-doce estão abaixo do valor mínimo de 14% (p/p) estipulado pela Instrução Normativa nº 23 de 14 de dezembro de 2005.

Os amidos devem apresentar baixos teores dos constituintes menores, tais como: lipídeos, proteínas, cinzas, fibras, açúcares, e um alto teor de amido. A somatória dos constituintes menores nos amidos de mandioca e batata-doce foi de 0,6% e 1,4%, respectivamente, indicando que o produto apresentou grau de pureza adequado. Sendo que, os teores de amido encontrados na mandioca e batata-doce são superiores ao valor mínimo estabelecido pela legislação de comercialização e aos obtidos por Bermudez (1997).

O teor de amilose é outra característica importante nos amidos. Os valores citados na literatura apresentam grandes variações devido a diferentes metodologias de determinação, variedade ou idades das plantas. O teor de amilose encontrado no amido de mandioca está de acordo com os resultados descritos por Pacheco e Medina (1992) e Asaoka,

Blanshard e Rickard (1991). Para o amido de batata-doce o resultado encontrado está de acordo com os descritos por Noda, Takahata e Nagata (1992) e Hoover (2001).

Para o amido de mandioca, os teores de cinzas, proteínas, matéria graxa foram semelhantes aos obtidos por Asaoka, Blanshard e Rickard (1991) e os teores de fibras estão de acordo com os valores encontrados por Moorthy, Rickard e Blanshard (1994, 1996).

Para o amido de batata-doce, os teores de cinzas e proteínas foram superiores aos encontrados por Peroni (2003), já os teores de matéria graxa e fibras foram semelhantes aos valores encontrados por Tian, Rickard e Blanshard (1991) e Jangchud, Phimolsiripol e Haruthaithanasan (2003), respectivamente.

Em relação aos teores de açúcares solúveis totais, o amido de batata-doce possui elevado teor quando comparado com o amido de mandioca. Por esta característica, a batata-doce é uma matéria-prima interessante para a produção de hidrolisados e fermentados. Devido a este fator, a batata-doce utilizada para a extração de amido foi processada num período de até 24 horas após a colheita.

Os amidos de mandioca e batata-doce apresentaram valores de pH de 5,91 e 5,55, respectivamente. Esses valores decorrem da composição e pH natural de cada matéria-prima, considerando também que no processo de extração e purificação do amido de batata-doce não foi utilizado produtos químicos.

4.1.2. Tamanho e formato dos grânulos

Os grânulos dos amidos de mandioca e batata-doce foram observados ao microscópio eletrônico de varredura, buscando informações sobre a forma dos mesmos. As fotos produzidas podem ser visualizadas pela Figura 15.

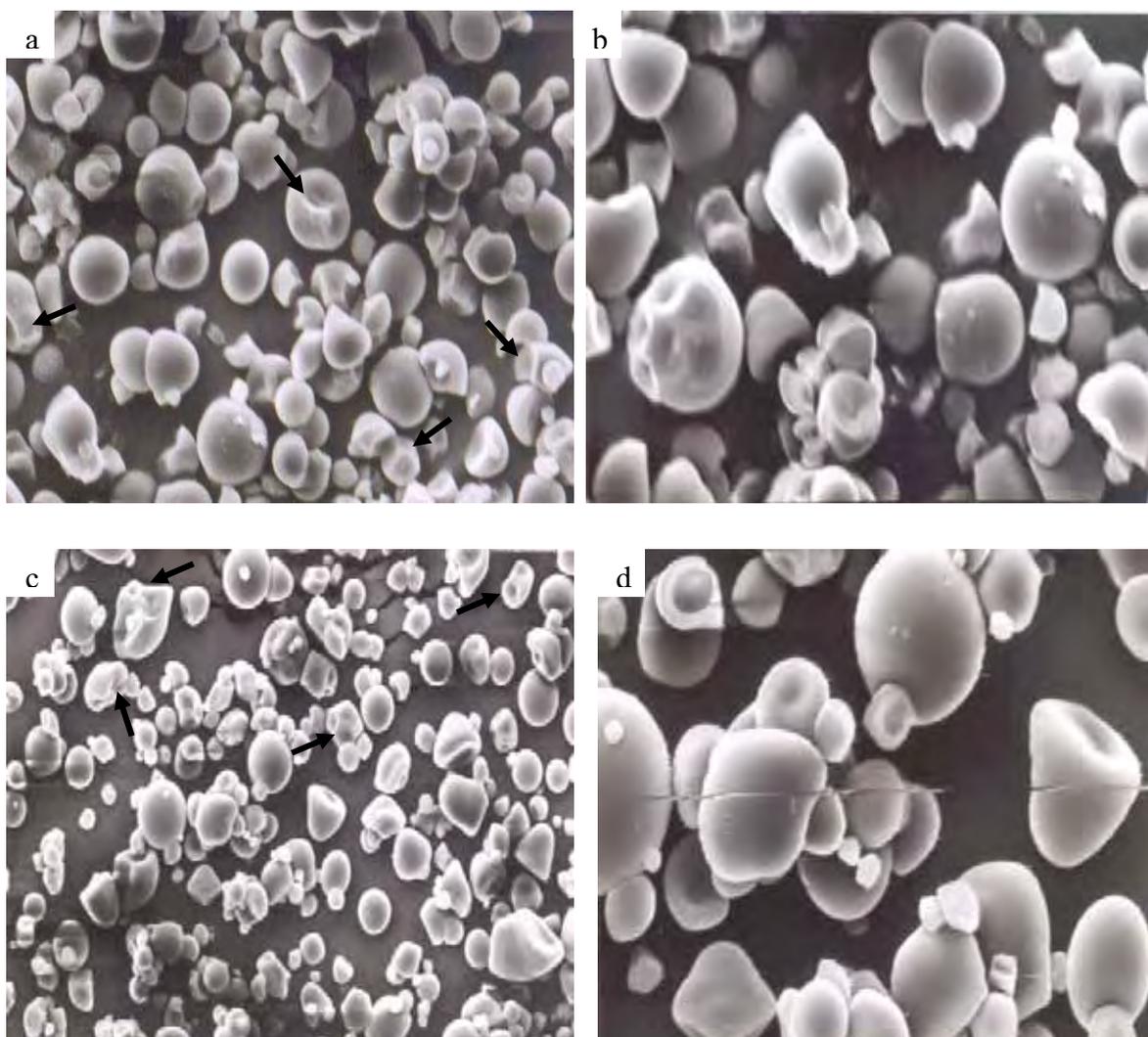


Figura 15. Grânulos de amidos de mandioca (a, b) e batata-doce (c, d) observados ao microscópio eletrônico de varredura com aumento de 500 e 1500 X.

Os amidos de mandioca e batata-doce apresentaram superfícies lisas com grande variação de tamanho. Alguns grânulos apresentaram depressões na superfície, conferindo aspecto e formato irregular, truncado, como mostram as setas das Figuras 15a e 15c. Nas Figuras 15a e 15b observa-se que no amido de mandioca predominou o formato redondo, truncado. Nas Figuras 15c e 15d o amido de batata-doce também apresentou

formatos e tamanhos característicos da espécie, sendo que os formatos predominantes foram os redondos e ovais.

O tamanho dos grânulos dos amidos de mandioca e batata-doce foram determinados por microscopia óptica. O amido de mandioca apresentou diâmetro maior variando de 7,08 a 25,46 μm , valores que estão de acordo com os relatados por Moorthy (2001), Tian, Rickard e Blanshard (1991), Moorthy, Rickard e Blanshard (1996), Swinkels (1985) e Defloor, Dehing e Delcour (1998), que encontraram grânulos que variam de 4 a 43 μm .

O amido de batata-doce apresentou diâmetro maior variando de 5,24 a 29,65 μm . Esses valores estão dentro da faixa de tamanho de grânulos relatados por Takeda *et al.* (1986), Madamaba, Bustrillos e San Pedro (1975), que encontraram valores que variaram de 2 a 72 μm .

Analisando a distribuição de tamanho dos grânulos, apresentado na Figura 16, pode-se notar que o amido de mandioca apresentou maior homogeneidade. Já o amido de batata-doce apresentou maior porcentagem de grânulos com 10 μm .

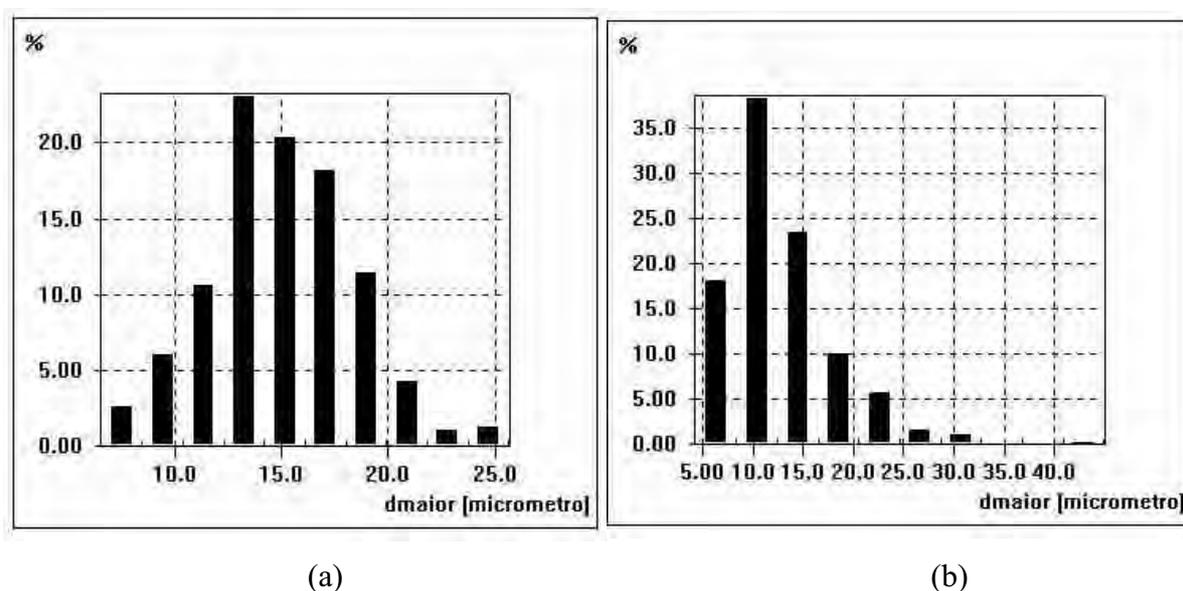


Figura 16. Distribuição dos grânulos de amidos de mandioca (a) e batata-doce (b).

4.1.3. Difração de raios-X

Os grânulos de amido, por serem parcialmente cristalinos, proporcionam padrões específicos de difração de raios-X. Os padrões de cristalinidade são definidos com base nos espaços interplanares e na intensidade relativa das linhas de difração dos raios-X (ZOBEL, 1964). Os difractogramas de raios-X dos grânulos de amidos de mandioca e batata-doce podem ser observados nas Figuras 17a e 17b.

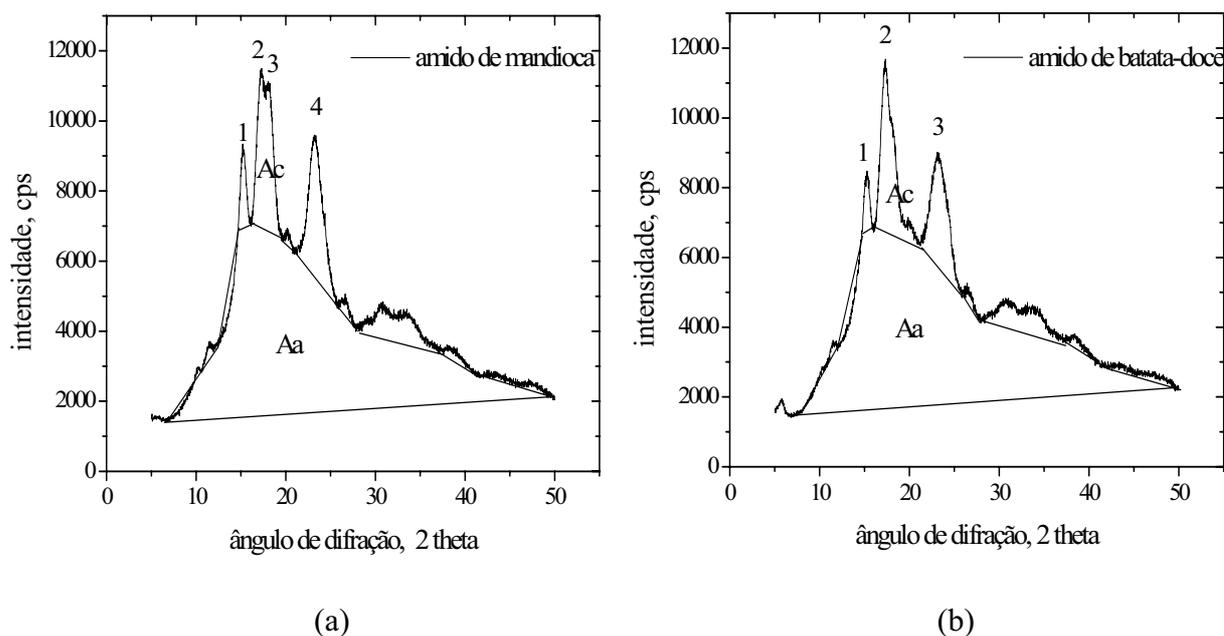


Figura 17. Difractogramas de raios-X de grânulos de amidos de mandioca (a) e batata-doce (b).

Os amidos de mandioca e batata-doce apresentaram difractogramas de raios-X caracterizados como padrão tipo A. O amido de mandioca apresentou quatro picos principais em torno dos ângulos de difração de 15, 17, 18 e 23° a 2θ , confirmando resultados encontrados por Franco, Ciacco e Tavares (1988). O amido de batata-doce apresentou três picos principais em torno dos ângulos de difração de 15, 17 e 23° a 2θ , valores estes encontrados por Hoover (2001).

Na Figura 17 observa-se que os amidos de mandioca e batata-doce mostraram intensidade de picos semelhantes.

A Tabela 6 mostra os valores de intensidade, medidos em contagens de pico por segundo (CPS), encontrados para cada pico apresentado nos difractogramas, e o índice de cristalinidade relativa (IC) dos amidos de mandioca e batata-doce.

Tabela 6. Intensidade dos principais picos dos difractogramas de raios-X e índice de cristalinidade relativa (IC) dos amidos de mandioca e batata-doce.

Amidos	Intensidade (CPS)				IC (%)
	1	2	3	4	
Mandioca	9095	11455	11067	9579	23,37
Batata-doce	8272	11682	—	8785	22,96

Pela Figura 17 e Tabela 6 observa-se que o amido de mandioca possui maior intensidade nos picos 1 e 4 e um pico a mais no ângulo de 17°. Entretanto, o índice de cristalinidade relativa (IC) dos amidos de mandioca e batata-doce foi de 23,37 e 22,96%, respectivamente.

De acordo com Cheetham e Tao (1998) o teor de amilose correlaciona-se negativamente com o grau de cristalinidade dos amidos, ou seja, quanto maior o teor de amilose, menor a sua cristalinidade.

4.1.4. Propriedades de pasta

As mudanças que ocorrem nos grânulos de amido durante a gelatinização e a retrogradação são os principais determinantes do comportamento de pasta, as quais são medidas principalmente pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e resfriamento das suspensões de amido.

As propriedades viscoamilográficas são consideravelmente afetadas pela composição do amido, concentração de amilose e amilopectina e principalmente pelo tamanho destes biopolímeros. A amilopectina favorece o inchamento do grânulo de amido e o empastamento, enquanto que a amilose e lipídeos o inibem (TESTER; MORRISON, 1990 apud JANE *et al.*, 1999).

As propriedades de pasta e os perfis viscoamilográficos dos amidos de mandioca e batata-doce determinados pelo Rápido Visco Analisador (RVA) podem ser observados na Tabela 7 e pela Figura 18.

Tabela 7. Propriedades de pasta dos amidos de mandioca e batata-doce.

Amidos	Viscosidade (RVU [*])				Temp. de pasta (°C)	Tempo de pico (min)
	Pico	Quebra	Final	Tend. retrog.		
Mandioca	341,9	245,4	187,9	91,4	67,4	5,9
Batata-doce	246,7	116,0	207,2	76,5	72,5	6,3

(*) cada valor representa a média de duas repetições.

De acordo com a Tabela 7 e a Figura 18 observa-se que o amido de mandioca apresentou maior pico e quebra de viscosidade e maior tendência a retrogradação, indicando que esta apresentou maior sensibilidade à temperatura e ao atrito mecânico.

O amido de mandioca também apresentou menor temperatura de pasta e menor tempo para atingir a fusão dos cristais indicando que esta é de fácil cozimento e possui fraca organização no grânulo, originando géis fracos. Apesar deste amido possuir menor temperatura de pasta, ele apresentou maior tamanho médio de grânulos (14,97 μm). Segundo Lindeboom; Chang; Tyler (2004), grânulos de amido pequenos têm, no geral, temperatura de pasta mais baixa do que grânulos grandes. Entretanto, este fato não foi observado nos amidos estudados.

O amido de batata-doce é descrito na literatura como resistente à desintegração mecânica durante a gelatinização quando comparada com outros amidos (TAKEDA *et al.*, 1986). Entretanto, este fato não foi observado neste trabalho, apesar do valor de quebra deste amido ter sido inferior àquele observado para o amido de mandioca.

O teor de amilose é um dos fatores que alteram as propriedades de pasta, entretanto os valores encontrados nos amidos de mandioca e batata-doce foram muito semelhantes.

A composição é outro fator que pode influenciar nas propriedades de pasta dos amidos. Os amidos de mandioca e batata-doce possuem baixas concentrações de matéria graxa e proteína, entretanto, o amido de batata-doce apresentou maiores teores proteínicas.

A Figura 18 mostra o comportamento dos amidos de mandioca e batata-doce quando submetidos ao ciclo de aquecimento e resfriamento.

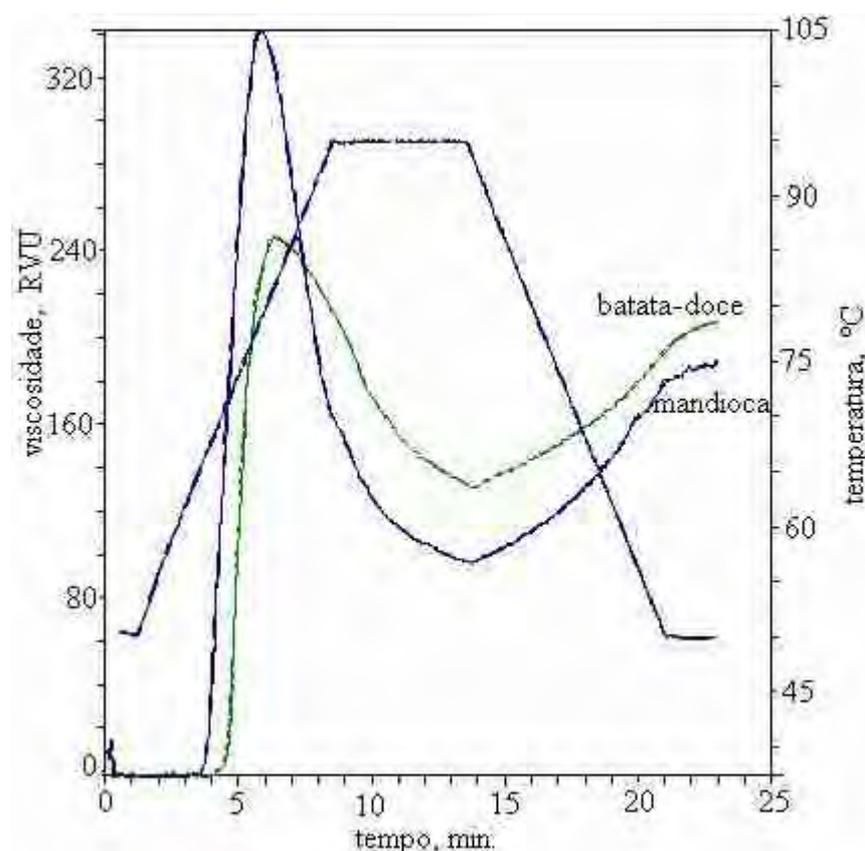


Figura 18. Curva viscoamilográfica de amidos de mandioca e batata-doce.

Pela Figura 18, se observa que os amidos de mandioca e batata-doce apresentaram curvas viscoamilográficas características, com elevado pico de viscosidade e acentuada queda. Os amidos de alta expansão sofrem grande inchamento quando aquecidos em água, e as forças associativas internas do grânulo tornam-se frágeis com a agitação mecânica e ação do calor, resultando em acentuada quebra durante o cozimento (RICKARD; ASAOKA; BLANSHARD, 1991).

O perfil de viscosidade obtido pelos amidos de mandioca e batata-doce apresentou uma curva típica, indicando fragilidade das pastas frente ao aquecimento e resfriamento e baixa tendência a retrogradação, características estas indicadas para diversos usos em processamentos de alimentos. Por estes fatores e também por apresentar ausência de “odor de cereal” concorrem diretamente com os amidos de milho.

4.1.5. Análise térmica

O amido quando aquecido em excesso de água (>60% b.u) sofre uma transição de segunda ordem, irreversível, denominada gelatinização, que corresponde ao rompimento, expansão e hidratação da estrutura granular e ainda solubilização das macro moléculas constituintes do amido. Esta transição pode ser obtida através de calorimetria diferencial de varredura (DSC).

As propriedades térmicas de gelatinização dos amidos de mandioca e batata-doce podem ser vistas na Tabela 8.

Tabela 8. Propriedades de gelatinização dos amidos de mandioca e batata-doce.

Amidos	Gelatinização				
	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	$(T_p - T_c)$	ΔH (J/g)
Mandioca	$58,67 \pm 0,07$	$65,52 \pm 0,23$	$73,98 \pm 0,16$	15,31	$14,17 \pm 0,03$
Batata-doce	$59,33 \pm 0,03$	$66,70 \pm 0,08$	$75,54 \pm 0,22$	16,21	$12,15 \pm 0,42$

De acordo com os resultados obtidos, apenas uma endoterma foi observada para os amidos estudados. Isto indica que nestes amidos não há amilose complexada com lipídeos, o que era esperado, pois em amidos de raízes e tubérculos a quantidade de lipídeos é baixa. Os amidos de mandioca e batata-doce apresentaram teores de lipídeos de 0,13 e 0,11%, respectivamente.

Comparando as temperaturas iniciais de gelatinização (T_o) obtidas do DSC com as temperaturas de pasta do RVA para os dois amidos, observa-se que as temperaturas iniciais apresentaram menores valores em relação aos das temperaturas de pasta. Segundo Jane *et al.* (1999) isto ocorreu devido à temperatura de pasta, obtida do RVA, estar

relacionada à sensibilidade do aparelho em detectar os primeiros acréscimos na viscosidade de pasta dos amidos, diferente da temperatura inicial de gelatinização, que é detectada pelo DSC quando os primeiros grânulos começam a se desorganizar.

Quando o amido gelatiniza e incha, as ligações de hidrogênio são quebradas e os grânulos se rompem e se dissociam. Deste modo, as propriedades de gelatinização e inchamento são controladas em parte pela estrutura molecular da amilopectina, da composição do amido e da arquitetura granular (TESTER, 1997). Os amidos de mandioca e batata-doce apresentaram valores de temperatura inicial de gelatinização semelhantes. As temperaturas de pico e final foram menores para o amido de mandioca. As entalpias de gelatinização foram menores para o amido de batata-doce.

Segundo Singh *et al.* (2003), a presença de amilose diminui o ponto de fusão da região cristalina e a energia para o início da gelatinização. Maior energia é necessária para iniciar a fusão dos cristais na ausência de amilose, indicando que amidos com alto teor de amilose possuem maiores regiões amorfas e menores regiões cristalinas e, portanto, menores temperaturas de gelatinização.

Os amidos de mandioca e batata-doce apresentaram teores de amilose e índices de cristalinidades semelhantes, sendo que as temperaturas iniciais de gelatinização também apresentaram valores muito próximos.

4.2. Caracterização das maltodextrinas

Os dados experimentais para umidade, dextrose equivalente (DE), teor de glicose e solubilidade em água após o processo de hidrólise enzimática dos amidos de mandioca e batata-doce e secagem dos hidrolisados, de acordo com o planejamento experimental proposto, encontram-se nas Tabelas 9 e 10.

Os teores de umidade das maltodextrinas de mandioca e batata-doce variaram de 0,87 a 4,06%, como mostram as Tabelas 9 e 10. Lumdubwong e Seib (2001) produziram maltodextrinas de milho e trigo e os teores de umidade variaram de 3,4 a 5,4%; Wang e Wang (2000) analisaram maltodextrinas comerciais e encontraram uma variação de 4,10 a 5,58 % de umidade.

Tabela 9. Valores experimentais das variáveis dependentes (respostas) para as maltodextrinas produzidas por amido de mandioca.

T	Variáveis independentes		Variáveis dependentes			
	Tempo de hidrólise (min.)	Agitação (rotação, rpm)	Umid. (%)	DE	Glicose (%)	Sol. (%)
1	15 (-1)	30 (-1)	3,08	9,00	0,28	95,21
2	15 (-1)	40 (+1)	2,91	5,96	0,16	95,39
3	20 (+1)	30 (-1)	3,63	9,67	0,29	95,17
4	20 (+1)	40 (+1)	3,40	8,44	0,34	95,41
5	10 (-1,41)	35 (0)	2,68	5,54	0,21	95,04
6	25 (+1,41)	35 (0)	2,89	11,28	0,36	94,42
7	17 (0)	20 (-1,41)	3,29	7,35	0,23	95,86
8	17 (0)	50 (+1,41)	2,66	8,86	0,27	94,44
9	17 (0)	35 (0)	3,26	8,44	0,28	95,39
10	17 (0)	35 (0)	3,19	9,32	0,29	95,41
11	17 (0)	35 (0)	3,22	8,79	0,21	95,24

Onde: T = tratamentos; umid. = umidade; sol. = solubilidade em água

Tabela 10. Valores experimentais das variáveis dependentes (respostas) para as maltodextrinas produzidas por amido de batata-doce.

T	Variáveis independentes		Variáveis dependentes			
	Tempo de hidrólise (min.)	Agitação (rotação, rpm)	Umid. (%)	DE	Glicose (%)	Sol. (%)
1	15 (-1)	30 (-1)	4,06	19,28	0,50	94,37
2	15 (-1)	40 (+1)	1,73	20,70	0,64	93,92
3	20 (+1)	30 (-1)	1,79	22,95	0,45	93,86
4	20 (+1)	40 (+1)	0,87	20,74	0,57	96,15
5	10 (-1,41)	35 (0)	2,35	17,00	0,41	95,48
6	25 (+1,41)	35 (0)	2,93	19,92	0,60	98,31
7	17 (0)	20 (-1,41)	2,08	18,44	0,33	96,02
8	17 (0)	50 (+1,41)	1,85	20,02	0,44	95,42
9	17 (0)	35 (0)	2,47	19,28	0,48	94,37
10	17 (0)	35 (0)	2,54	19,50	0,50	93,92
11	17 (0)	35 (0)	1,95	20,70	0,57	93,86

Onde: T = tratamento; umid. = umidade; sol. = solubilidade em água

Apesar da utilização dos mesmos parâmetros de processo, se observa nas Tabelas 9 e 10 uma grande variação no grau de hidrólise das maltodextrinas de mandioca e batata-doce.

As maltodextrinas de batata-doce apresentaram elevados valores de dextrose equivalente (DE) e maiores percentuais de glicose do que as maltodextrinas de mandioca.

Os valores de DE estão associados com o grau de conversão na hidrólise do amido. A variação da DE resulta em maltodextrinas com poder de redução e características diferentes. Entretanto, maltodextrinas com o mesmo DE podem apresentar propriedades diferentes, refletindo a composição dos componentes formada pela hidrólise.

Outro fator importante que determina o segmento molecular é o tipo de amido usado na hidrólise (CHONAKIS, 1998; WANG; WANG, 2000).

Pelas Tabelas 9 e 10 observa-se que amidos de mandioca e batata-doce comportaram-se de maneira diferente quando foram submetidos ao mesmo tratamento, indicando a influência da origem botânica na hidrólise. Segundo Jacobs *et al.* (1998) a susceptibilidade enzimática dos amidos depende de uma série de fatores, dentre eles, o grau de cristalinidade, a relação amilose/amilopectina e o tamanho dos grânulos. Ainda poderia ser considerada a presença de outros componentes como proteínas, lipídios e fibras.

O teor de amilose no amido é conhecido por afetar suas propriedades funcionais como a gelatinização, retrogradação, empastamento, inchamento e susceptibilidade enzimática (GERARD *et al.*, 2001; YOU; IZYDORCZYK, 2002). Mas, Sandstead *et al.* (1962) afirmaram que a hidrólise enzimática está diretamente relacionada com a estrutura dos grânulos.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que os teores de amilose encontrados nos amidos de mandioca e batata-doce foram muito semelhantes, como mostra a Tabela 5, não influenciando a susceptibilidade enzimática e as propriedades de pasta. Entretanto, o amido de batata-doce apresentou maiores teores de proteínas, fibras, açúcares solúveis totais e cinzas.

Os teores de açúcares solúveis totais encontrados no amido de batata-doce (0,27%) foi aproximadamente 120% superior ao da mandioca (0,11%), o que pode ter influenciado o processo de hidrólise e conseqüentemente a grande diferença na DE e na porcentagem de glicose.

Segundo Lumdubwong e Seib (2001), o processo de hidrólise enzimática também pode ser influenciado pelo grau de intumescimento dos grânulos de amido e pela sua disponibilidade em se associar com a α -amilase. Amidos com menores graus de intumescimento, ou seja, com menores viscosidades de pico, possuem uma menor conversão e assim a necessidade de prolongar o processo de hidrólise.

Moore *et al.* (2005) estudaram a produção de maltodextrinas de mandioca e milho e concluíram que a fonte botânica influenciou o processo de hidrólise. O amido de mandioca apresentou menor temperatura de pasta e maior pico de viscosidade favorecendo o ataque enzimático e resultando em maltodextrinas de maior dextrose

equivalente (DE). Entretanto, estes resultados não foram observados nas maltodextrinas de mandioca e batata-doce.

Pelas curvas viscoamilográficas, na Figura 18, os amidos de mandioca e batata-doce apresentaram um rápido aumento da viscosidade seguido de uma queda acentuada indicando pouca resistência a altas temperaturas e agitação mecânica.

O amido de mandioca apresentou maior viscosidade de pico (341,9 RVU), menor temperatura de pasta (67,45°C) e menor tempo necessário para atingir o pico (5,9 min.), indicando que esta é de fácil cozimento e mais susceptível ao atrito mecânico, o que pode ser evidenciado por sua alta viscosidade de quebra (245,4 RVU), sugerindo que esta é mais susceptível ao processo de hidrólise enzimática do que o amido de batata-doce.

O amido de batata-doce apresentou maior temperatura de pasta (72,5°C), indicando que os grânulos estão mais fortemente ligados, e menor tendência a retrogradação.

Apesar do amido de mandioca apresentar características mais favoráveis ao ataque enzimático, as maltodextrinas de batata-doce apresentaram alto grau de hidrólise, indicando que as propriedades de pasta não influenciaram a hidrólise enzimática dos amidos de maneira esperada e sugerindo que outros fatores podem ter influenciado no maior grau de hidrólise do amido de batata-doce.

As maltodextrinas de mandioca e batata-doce apresentaram alta solubilidade em água, mostrando que os valores de dextrose equivalente (DE) variando de 5,54 a 22,95 não influenciaram este parâmetro.

Em geral, as solubilidades das maltodextrinas aumentam com a diminuição do grau das ramificações $\alpha(1-6)$ (GIDLEY; BULPIN, 1987). A solubilidade e a estabilidade em solução é influenciada pelos componentes de alto peso molecular, sendo que maltodextrinas com DE 20 apresentam solubilidade elevada (GRIFFIN; BROOKS, 1989).

A origem botânica do amido também influencia a solubilidade. Kuntz (1997) relata que maltodextrinas de milho de diferentes variedades apresentam diferenças na solubilidade e na claridade.

A solubilidade das maltodextrinas também é influenciada pelo processo (tempo de hidrólise e agitação). Lumdubwong e Seib (2001) produziram maltodextrinas de trigo de baixo DE (1 a 2) e médio DE (9 a 10) e encontraram solubilidade

variando de 69 a 93% e de 95 a 98%, respectivamente. Entretanto, maltodextrinas comerciais com DE igual a 1, Star Dri 1, e com DE igual a 10, Star Dri 10, apresentaram solubilidade em água de 95% e 98%, respectivamente.

Para efeito comparativo foram analisadas maltodextrinas comerciais de mandioca e milho, e sua caracterização físico-química está apresentada na Tabela 11.

Tabela 11. Caracterização físico-química das maltodextrinas comerciais de mandioca e milho.

Maltodextrinas	Umidade (%)	DE	Glicose (%)	Sol. (%)
Mandioca	4,76	6,12	0,03	97,17
Milho	3,87	12,35	0,13	97,29

Onde: Sol = solubilidade

Como mostram as Tabelas 9, 10 e 11, as maltodextrinas produzidas em laboratório apresentaram teores de umidade semelhantes as comerciais, indicando que o processo de secagem por “spray dryer” utilizado foi eficiente, sendo que a umidade é uma importante característica para o armazenamento e vida útil dos produtos.

De acordo com a Tabela 11, a alta solubilidade das maltodextrinas comerciais de mandioca e de milho não foi influenciada pela degradação do amido, já que a dextrose equivalente (DE) e a porcentagem de glicose da maltodextrina de milho foram maiores do que a de mandioca. O comportamento e os valores também foram semelhantes aos encontrados nas maltodextrinas produzidas em laboratório.

4.2.1. Ajuste dos modelos estatísticos e influência das variáveis de processo sobre as respostas em estudo

O planejamento experimental foi realizado a fim de se avaliar a influência das variáveis independentes (tempo de hidrólise e rotação no sistema de agitação) sobre cada uma das respostas em estudo (DE, % de glicose e % de solubilidade).

Neste estudo realizou-se uma análise individual para cada resposta. No processo de hidrólise enzimática para a elaboração de maltodextrinas é interessante obter

condições em que se tenha o menor valor de DE e % de glicose com a maior solubilidade em água.

4.2.1.1. Dextrose Equivalente (DE)

Os valores de dextrose equivalente (DE) se referem a porcentagem de açúcares redutores e são usualmente utilizados para caracterizar e classificar os hidrolisados.

As Tabelas 9 e 10 mostraram os valores de DE de maltodextrinas de mandioca e batata-doce em diferentes condições de processamento. A partir destes valores foi possível determinar os coeficientes de regressão e a realizar a análise de variância (ANOVA) para a DE das maltodextrinas.

As Tabelas 12 e 13 mostram os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) do modelo completo codificado para a DE das maltodextrinas de mandioca.

Tabela 12. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado para a DE da maltodextrina de mandioca.

	Efeito	Erro padrão	GL	P valor
Coeficiente	8,5981	0,4995		
X ₁	0,9259	0,2453	1	0,0130
X ₂	0,0118	0,2453	1	0,9634
X ₁ *X ₁	-0,0296	0,1103	1	0,8170
X ₂ *X ₂	-0,0608	0,1103	1	0,6052
X ₁ *X ₂	0,4525	0,5753	1	0,4672
R ²	0,7522			

Onde: GL = grau de liberdade.

Tabela 13. Análise de variância (ANOVA) para o modelo completo codificado para a DE da maltodextrina de mandioca.

Fator	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Modelo	5	20,0911	4,0182	3,04	0,1242
Erro	5	6,6195	1,3239		
Total	10	26,7106			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio.

A equação do modelo total ajustado de 2ª ordem para a DE da maltodextrina de mandioca está descrita na equação (9).

$$DE = 8,5981 + 0,9259t + 0,0118A - 0,0269t^2 - 0,0608A^2 + 0,4525tA \quad (9)$$

onde: DE = dextrose equivalente; t = tempo de hidrólise, min.; A = agitação, rpm.

Os resultados obtidos quanto ao efeito das variáveis independentes na DE estão expressos na Tabela 9, em que se observa uma variação de 5,54 a 11,28 para a maltodextrina de mandioca. Entretanto, o modelo de regressão adotado não foi significativo ($p > 0,05$) para este parâmetro, como mostra a Tabela 13. Dentre os fatores que compõem o modelo somente o tempo de hidrólise mostrou efeito significativo sobre a DE. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 75,22%, como mostra a Tabela 12.

A Figura 19 mostra o efeito do tempo de hidrólise na porcentagem de dextrose equivalente (DE).

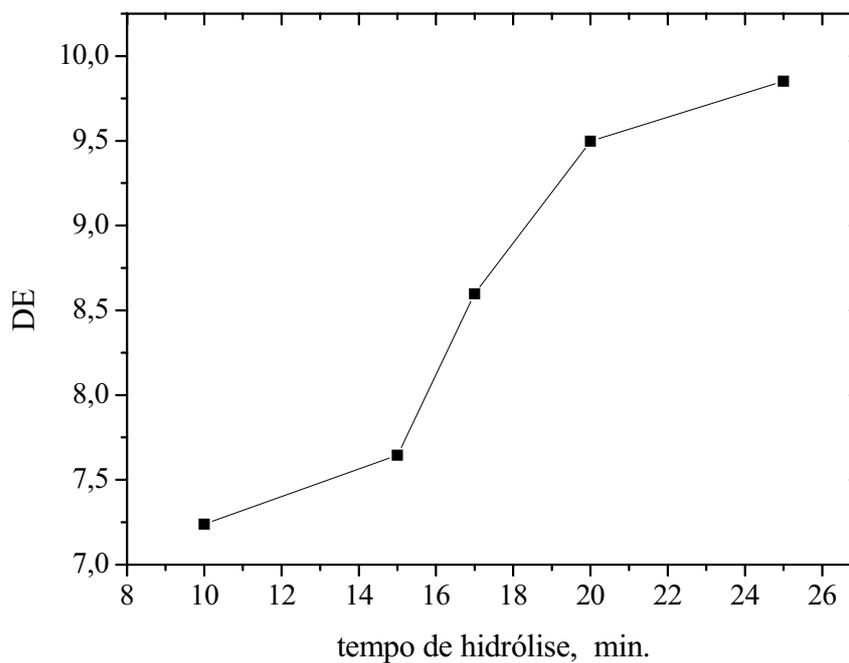


Figura 19. Efeito do tempo de hidrólise na dextrose equivalente (DE) das maltodextrinas de mandioca, mantendo a agitação no ponto central (35rpm).

Observa-se que os valores de dextrose equivalente (DE) aumentam com o aumento do tempo de hidrólise, como mostra a Figura 19, indicando a influência na hidrólise do amido de mandioca.

As Tabelas 14 e 15 mostram os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) do modelo completo codificado para a dextrose equivalente (DE) das maltodextrinas de batata-doce.

Tabela 14. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado para a DE da maltodextrina de batata-doce.

	Efeito	Erro padrão	GL	P valor
Coeficiente	20,5581	0,4831		
X ₁	0,5668	0,2372	1	0,0625
X ₂	0,1795	0,2372	1	0,4833
X ₁ *X ₁	-0,2157	0,1066	1	0,990
X ₂ *X ₂	-0,1301	0,1066	1	0,2767
X ₁ *X ₂	-0,9075	0,5564	1	0,1638
R ²	0,7279			

Onde: GL = grau de liberdade.

Tabela 15. Análise de variância para o modelo completo codificado para a DE da maltodextrina de batata-doce.

Fator	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Modelo	5	16,5687	3,3137	2,68	0,1519
Erro	5	6,1921	1,2384		
Total	10	22,7608			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio.

A equação do modelo total ajustado de 2ª ordem para a DE da maltodextrina de batata-doce está descrita na equação (10).

$$DE = 20,5581 + 0,5668t + 0,1795A - 0,2157t^2 - 0,1301A^2 - 0,9075tA \quad (10)$$

onde: DE = dextrose equivalente; t = tempo de hidrólise, min.; A = agitação, rpm.

Os valores de DE na maltodextrina de batata-doce variaram de 17,00 a 22,95 dentro dos tratamentos utilizados no presente estudo. Entretanto, o modelo de regressão adotado não foi significativo ($p > 0,05$) para este parâmetro, como mostra a Tabela 15. Dentre

os fatores que compõem o modelo nenhum deles mostraram efeito significativo sobre a DE da batata-doce. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 72,79%, indicando ajuste limitado do modelo aos dados, como mostra a Tabela 14.

Uma nova análise foi realizada, mas o modelo ajustado codificado também não foi estatisticamente significativo.

No geral, foi observado que a DE é mais alta conforme aumentou o tempo de hidrólise.

Nas maltodextrinas de mandioca e batata-doce se observou que o tempo de hidrólise foi mais significativo no aumento da DE do que a agitação.

4.2.1.2. Teor de glicose

As Tabelas 9 e 10 mostram os teores de glicose nas maltodextrinas de mandioca e batata-doce a partir dos ensaios referentes à matriz experimental, onde foi possível determinar os coeficientes de regressão e realizar a análise de variância (ANOVA) para a porcentagem de glicose.

As Tabelas 16 e 17 mostram os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) do modelo completo codificado para a porcentagem de glicose das maltodextrinas de mandioca.

Tabela 16. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado, para a porcentagem de glicose da maltodextrina de mandioca.

	Efeito	Erro padrão	GL	P valor
Coefficiente	0,2632	0,0167		
X ₁	0,0291	0,0082	1	0,0166
X ₂	0,0023	0,0082	1	0,7934
X ₁ *X ₁	0,0025	0,0037	1	0,5300
X ₂ *X ₂	-0,0014	0,0037	1	0,7213
X ₁ *X ₂	0,0425	0,0193	1	0,0788
R ²	0,7854			

Onde: GL = grau de liberdade.

Tabela 17. Análise de variância para o modelo completo codificado, para a porcentagem de glicose da maltodextrina de mandioca.

Fator	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Modelo	5	0,0272	0,0054	3,66	0,0904
Erro	5	0,0074	0,0015		
Total	10	0,0346			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio.

A equação do modelo total ajustado de 2ª ordem para a porcentagem de glicose da maltodextrina de mandioca está descrita na equação (11).

$$\%glicose = 0,2632 + 0,0291t + 0,0023A + 0,0025t^2 - 0,0014A^2 + 0,0425tA \quad (11)$$

onde: t = tempo de hidrólise, min.; A = agitação, rpm.

Pela Tabela 17 observa-se que o modelo de regressão adotado não foi significativo ($p > 0,05$). Dentre os fatores que compõem o modelo apenas o tempo de hidrólise mostrou efeito significativo sobre a porcentagem de glicose. O coeficiente de determinação foi 78,54%, indicando limitado ajuste do modelo aos dados, como mostra a Tabela 16.

A Figura 20 mostra o efeito do tempo de hidrólise na porcentagem de glicose.

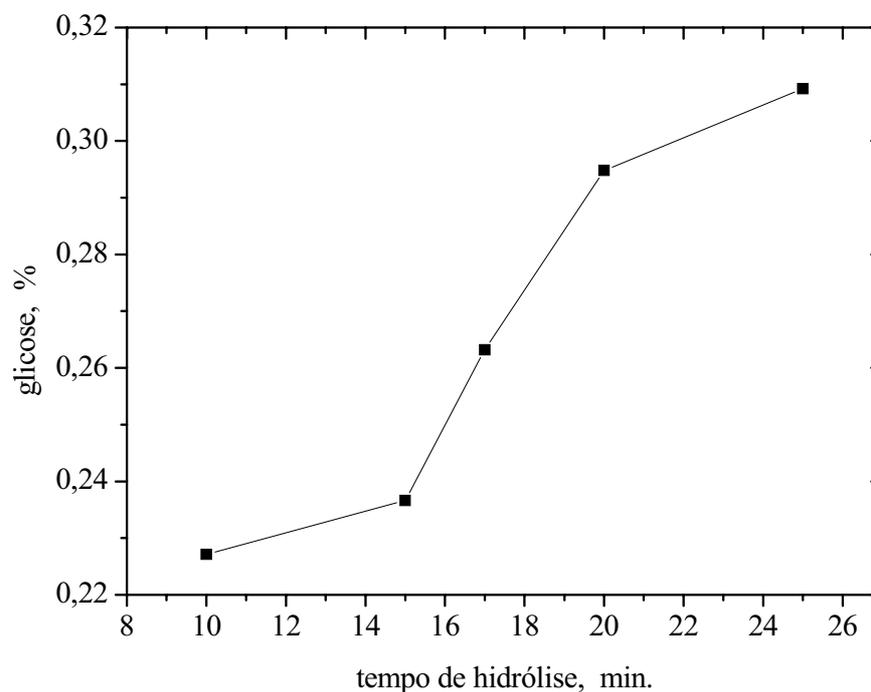


Figura 20. Efeito do tempo de hidrólise na porcentagem de glicose das maltodextrinas de mandioca, mantendo a agitação no ponto central (35rpm).

De acordo com a Figura 20, observa-se que a porcentagem de glicose aumenta com o aumento do tempo de hidrólise.

Para a maltodextrina de batata-doce, a porcentagem de glicose variou de 0,33 a 0,64, indicando que houve um maior ataque enzimático em relação a mandioca. As Tabelas 18 e 19 mostram os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) do modelo completo codificado para a porcentagem de glicose das maltodextrinas de batata-doce.

Tabela 18. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado, para a porcentagem de glicose da maltodextrina de batata-doce.

	Efeito	Erro padrão	GL	P valor
Coeficiente	0,5386	0,0321		
X ₁	0,020	0,0157	1	0,2513
X ₂	0,0268	0,0157	1	0,1498
X ₁ *X ₁	-0,0032	0,0071	1	0,6695
X ₂ *X ₂	-0,0165	0,0071	1	0,0669
X ₁ *X ₂	-0,0050	0,0369	1	0,8977
R ²	0,6699			

Onde: GL = grau de liberdade.

Tabela 19. Análise de variância para o modelo completo codificado, para a porcentagem de glicose da maltodextrina de batata-doce.

Fator	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Modelo	5	0,0555	0,0111	2,03	0,2279
Erro	5	0,0274	0,0055		
Total	10	0,0829			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio.

De acordo com a Tabela 19 observa-se que o modelo de regressão adotado não foi significativo, pois Pr>F foi de 0,2279 estando acima de 0,05. O coeficiente de determinação (R²) foi de 66,99%, indicando baixo ajuste do modelo aos dados, como mostra a Tabela 18.

Como o modelo não foi estatisticamente significativo e também nenhum dos fatores que compõem o modelo apresentou significância sobre a porcentagem de glicose das maltodextrinas de batata-doce, foi efetuada nova análise. As Tabelas 20 e 21 mostram os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) para modelo ajustado codificado.

Tabela 20. Coeficientes de regressão estimados para o modelo ajustado codificado para a porcentagem de glicose da maltodextrina de batata-doce.

	Efeito	Erro padrão	GL	P valor
Coeficiente	0,5301	0,0225		
X ₁	0,0204	0,0136	1	0,1770
X ₂	0,0268	0,0136	1	0,0897
X ₄	-0,0155	0,0058	1	0,0316
R ²	0,6551			

Tabela 21. Análise de variância para o modelo ajustado codificado para a porcentagem de glicose da maltodextrina de batata-doce.

Fator	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Modelo	3	0,0543	0,0181	4,43	0,0479
Erro	7	0,0285	0,0041		
Total	10	0,0829			

De acordo com a Tabela 21 observa-se que o modelo ajustado foi significativo ($p > 0,05$) sendo que o coeficiente de determinação foi de 65,51%, havendo uma diminuição do modelo anterior. Dentre os fatores que compõem o modelo, apenas o termo quadrático da agitação mostrou efeito significativo na porcentagem de glicose das maltodextrinas de batata-doce, como mostra a Tabela 20.

A equação do modelo ajustado para a porcentagem de glicose das maltodextrinas de batata-doce está descrita na equação (12).

$$\%glicose = 0,5301 + 0,020t + 0,0268A - 0,0155A^2 \quad (12)$$

onde: t = tempo de hidrólise, min.; A = agitação, rpm.

A Figura 21 mostra o efeito da agitação na porcentagem de glicose nas maltodextrinas de batata-doce.

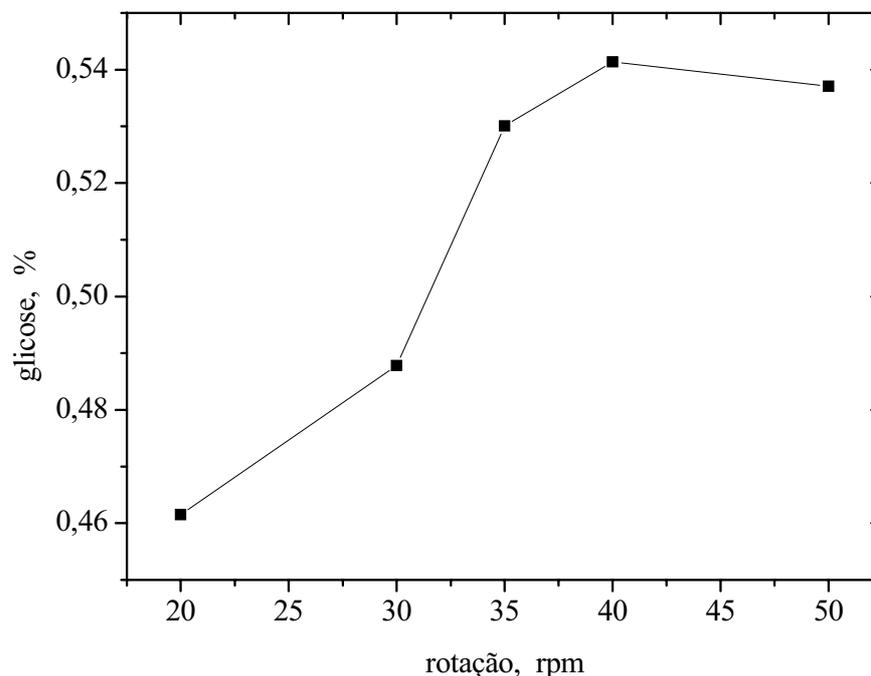


Figura 21. Efeito da agitação na porcentagem de glicose das maltodextrinas de batata-doce, mantendo o tempo de hidrólise no ponto central (17 min.).

Pela Figura 21 observa-se que a porcentagem de glicose aumenta com o aumento da rotação.

O teor de glicose também está relacionado com a hidrólise dos amidos. De acordo com os resultados obtidos observa-se que os amidos de mandioca e batata-doce comportaram-se de maneiras diferentes.

4.2.1.3. Solubilidade

A solubilidade em água é uma propriedade muito importante em alimentos. As Tabelas 9 e 10 mostraram a variação da solubilidade em água das maltodextrinas de mandioca e batata-doce.

A solubilidade em água das maltodextrinas de mandioca variou de 94,42 a 95,39%. Estes valores estão de acordo com os encontrados por Lumdubwong e Seib (2001). A partir dos dados experimentais foi possível determinar os coeficientes de

determinação e a realizar a análise de variância (ANOVA) para a solubilidade das maltodextrinas de mandioca e batata-doce.

As Tabelas 22 e 23 mostram os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) do modelo completo codificado para a solubilidade das maltodextrinas de mandioca.

Tabela 22. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado para a solubilidade da maltodextrina de mandioca.

	Efeito	Erro padrão	GL	P valor
Coeficiente	95,3683	0,1279		
X ₁	-0,0854	0,0628	1	0,2319
X ₂	-0,1745	0,0628	1	0,0390
X ₁ *X ₁	-0,0704	0,0282	1	0,0550
X ₂ *X ₂	-0,02374	0,0282	1	0,4389
X ₁ *X ₂	0,0150	0,1473	1	0,9229
R ²	0,7596			

Onde: GL = grau de liberdade.

Tabela 23. Análise de variância para o modelo completo codificado para a solubilidade da maltodextrina de mandioca.

Fator	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Modelo	5	1,3716	0,2743	3,16	0,1162
Erro	5	0,4342	0,0868		
Total	10	1,8058			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio.

De acordo com a Tabela 23 observa-se que o modelo de regressão adotado não foi significativo, pois Pr>F foi 0,1162 estando acima de 0,05. Dentre os fatores que compõem o modelo a agitação mostrou efeito significativo sobre a solubilidade. O coeficiente de determinação (R²) foi de 75,96%, como mostra a Tabela 22.

A equação do modelo total ajustado de 2ª ordem para a solubilidade em água das maltodextrinas de mandioca está descrito na equação (13).

$$Sol. = 95,3683 - 0,0854t - 0,1745A - 0,0704t^2 - 0,02374A^2 + 0,0150tA \quad (13)$$

onde: *Sol.* = solubilidade, %, *t* = tempo de hidrólise, min.; *A* = agitação, rpm.

A Figura 22 mostra o efeito da agitação na solubilidade das maltodextrinas de mandioca.

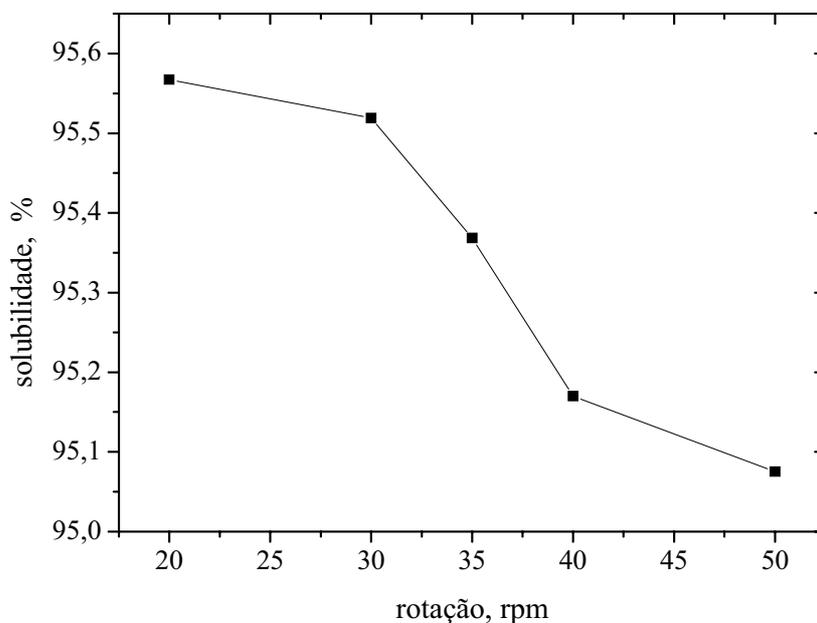


Figura 22. Efeito da agitação na solubilidade em água das maltodextrinas de mandioca, mantendo o tempo de hidrólise no ponto central (17 min.).

De acordo com a Figura 22 observa-se que a solubilidade diminui com o aumento da rotação no processo de agitação.

As Tabelas 24 e 25 mostram os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) do modelo completo codificado para a solubilidade das maltodextrinas de batata-doce.

Tabela 24. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado para a solubilidade de maltodextrina de batata-doce.

	Efeito	Erro padrão	GL	P valor
Coeficiente	94,0630	0,2117		
X ₁	0,4641	0,1039	1	0,0066
X ₂	0,0018	0,1038	1	0,9867
X ₁ *X ₁	0,3149	0,0467	1	0,0011
X ₂ *X ₂	0,1844	0,04672	1	0,0109
X ₁ *X ₂	0,6850	0,2438	1	0,0376
R ²	0,9387			

Onde: GL = grau de liberdade.

A equação do modelo total ajustado de 2^a ordem para a solubilidade da maltodextrina de batata-doce está descrita na equação (14).

$$Sol. = 94,0630 + 0,4641t + 0,0018A + 0,3149t^2 + 0,1844A^2 + 0,6850tA \quad (14)$$

onde: *Sol.* = solubilidade, %, *t* = tempo de hidrólise, min.; *A* = agitação, rpm.

Tabela 25. Análise de variância para o modelo completo codificado para a solubilidade da maltodextrina de batata-doce.

Fator	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Modelo	5	18,2209	3,6442	15,33	0,0047
Erro	5	1,1885	0,2377		
Total	10	19,4095			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio.

De acordo com as condições do processamento, a solubilidade em água da maltodextrina de batata-doce variou de 93,86 a 98,31%. O modelo de regressão adotado foi significativo ($p < 0,05$), como mostra a Tabela 25. Dentre os fatores que compõem o modelo o tempo de hidrólise, a agitação seguida pela interação tempo de hidrólise e agitação mostraram efeito significativo sobre a solubilidade. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 93,87% indicando um bom ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas, como mostra a Tabela 24.

As Figuras 23 e 24 mostram a superfície de resposta e a curva de contorno mostrando o efeito combinado do tempo de hidrólise e da agitação na solubilidade das maltodextrinas de batata-doce.

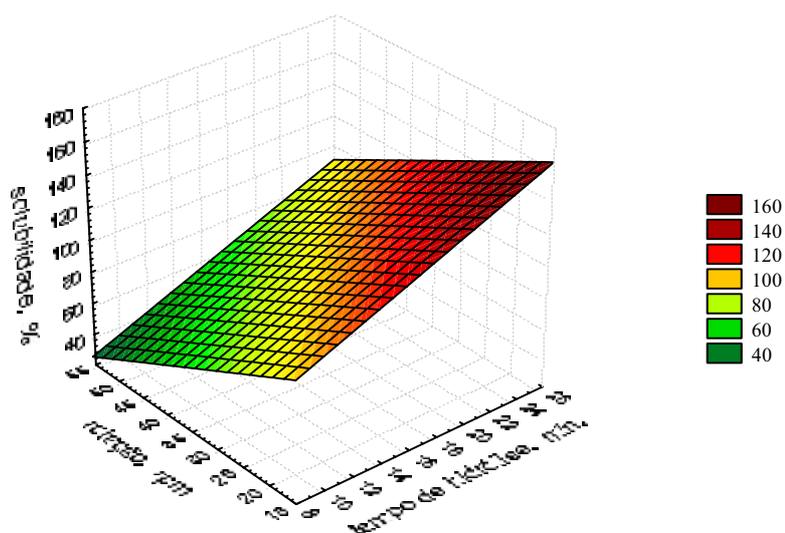


Figura 23. Gráfico de superfície de resposta para a solubilidade das maltodextrinas de batata-doce para as variáveis de tempo de hidrólise e agitação.

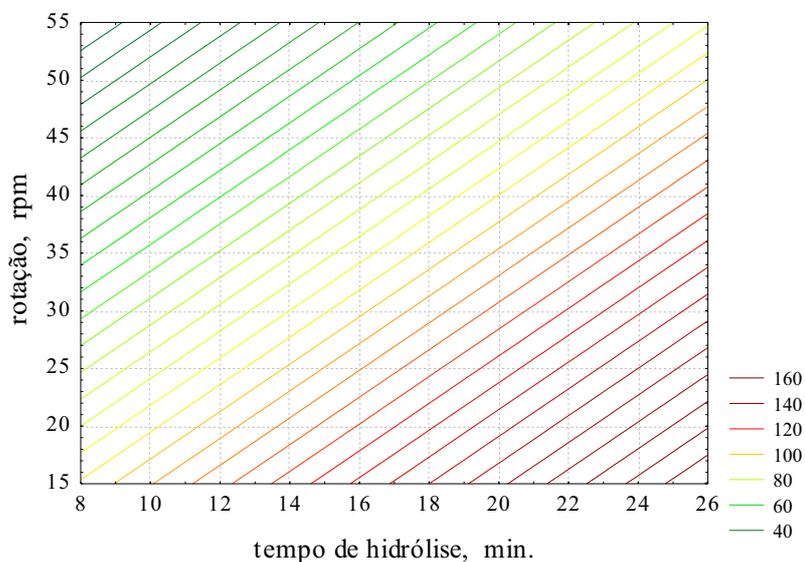


Figura 24. Gráfico da curva de contorno para a solubilidade das maltodextrinas de batata-doce para as variáveis de tempo de hidrólise e agitação.

A solubilidade das maltodextrinas de batata-doce aumentou com o aumento do tempo de hidrólise e com a diminuição da rotação.

4.2.1.4. Perfil de carboidratos das maltodextrinas

O perfil de carboidratos é uma característica muito importante que afeta as propriedades funcionais das maltodextrinas. Pela ampla faixa de aplicações das maltodextrinas, várias propriedades químicas e biológicas são requeridas e somente valores de dextrose equivalente (DE) tornaram-se inadequados para a caracterização e para orientar a aplicabilidade das maltodextrinas em produtos alimentícios. Maltodextrinas com o mesmo DE podem apresentar propriedades diferentes em várias aplicações, refletindo diferenças na sua composição molecular.

Os resultados obtidos na determinação dos perfis de açúcares das maltodextrinas produzidas por amidos de mandioca e batata-doce podem ser vistos nas Tabelas 26 e 27. Os tratamentos se referem a matriz do planejamento experimental, e os perfis de açúcares das maltodextrinas comerciais de mandioca e de milho estão na Tabela 28.

Tabela 26. Perfis cromatográficos de açúcares em amostras de maltodextrinas de mandioca.

Tratamentos	DP1*	DP2*	DP3*	DP4*	≥DP5*
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	0,25	2,59	4,33	2,78	90,05
2	0,08	1,27	2,57	1,63	94,45
3	0,18	2,37	4,71	2,93	89,81
4	0,17	2,27	4,79	2,95	89,82
5	0,14	1,67	3,56	2,39	92,24
6	0,28	2,24	2,08	2,69	92,71
7	0,14	1,80	3,73	2,28	92,05
8	0,15	2,18	4,66	2,83	90,18
9	0,18	2,32	4,82	2,92	89,76
10	0,16	2,29	4,77	2,82	89,96
11	0,17	2,28	4,80	2,88	89,87

* DP1, DP2, DP3, DP4, DP4+ = grau de polimerização.

Tabela 27. Perfis cromatográficos de açúcares em amostras de maltodextrinas de batata-doce.

Tratamentos	DP1*	DP2*	DP3*	DP4*	≥DP5*
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	0,46	16,55	13,16	5,65	64,18
2	1,09	19,27	15,16	6,08	58,40
3	0,58	23,84	14,28	5,47	55,83
4	0,37	17,71	14,04	5,68	62,20
5	0,26	16,34	10,99	4,56	67,85
6	0,60	19,11	16,22	6,50	57,57
7	0,36	16,20	10,37	4,33	68,74
8	0,43	13,30	11,62	5,01	69,64
9	0,41	17,13	13,60	5,66	63,20
10	0,39	16,98	13,97	5,31	63,35
11	0,29	16,87	13,88	5,29	63,67

* DP1, DP2, DP3, DP4, DP4+ = grau de polimerização.

Pelas Tabelas 26 e 27 observa-se que as maltodextrinas de mandioca apresentaram altos teores de sacarídeos com grau de polimerização maior que 4 (\geq DP5), confirmando que o amido de mandioca teve uma menor conversão do que o amido de batata-doce no processo de hidrólise enzimática. Já as maltodextrinas de batata-doce apresentaram maiores teores de maltose (DP2) e maltotriose (DP3), o que também está relacionado com a fonte botânica e o processo de hidrólise enzimática.

Estes elevados teores de maltose e maltotriose encontrados nas maltodextrinas de batata-doce podem estar relacionados com os teores de açúcares solúveis totais no amido. O amido de batata-doce apresentou teor de açúcares solúveis totais de 0,27% sendo que no amido de mandioca este teor foi de 0,11%. Assim, o teor de açúcares solúveis totais pode ter influenciado no processo de hidrólise e no perfil de açúcares da maltodextrina de batata-doce.

Segundo Griffin e Brooks (1989) diferenças nos perfis de sacarídeos afetam as características físico-químicas das maltodextrinas. Sacarídeos de alto peso

molecular afetam a solubilidade e a estabilidade da solução, enquanto que sacarídeos de baixo peso molecular afetam a fermentabilidade, viscosidade e cristalização.

Lumdubwong e Seib (2001) estudaram maltodextrinas de milho e trigo e observaram que todas as maltodextrinas de baixo DE (1 e 2) possuíam pequena quantidade de moléculas de baixo peso molecular.

Segundo a Anon (1989), o perfil de carboidratos de maltodextrinas é dependente do grau de hidrólise. A porcentagem de sacarídeos de alto peso molecular (DP>10) foi de 50% para maltodextrinas com alta DE (10-20) e 85% para maltodextrina de baixa DE (5-10).

As maltodextrinas comerciais de mandioca e milho também foram analisadas e os resultados estão expressos na Tabela 28.

Tabela 28. Perfis cromatográficos de açúcares em amostras de maltodextrinas comerciais de mandioca e milho.

Maltodextrinas	DP1*	DP2*	DP3*	DP4*	≥DP5*
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Mandioca (DE 5)	0,03	0,68	1,16	0,65	97,48
Milho (DE 10)	0,13	1,39	2,42	1,30	94,76

* DP1, DP2, DP3, DP4, DP4+ = grau de polimerização.

Pela Tabela 28 observa-se que as maltodextrinas comerciais apresentaram baixos teores de glicose (DP1), maltose (DP2), maltotriose (DP3) e maltotetraose (DP4) e elevados teores de sacarídeos com grau de polimerização maior que 4 (≥DP5). A distribuição molecular está relacionada com o grau de hidrólise e a dextrose equivalente (DE). Nota-se que, as maltodextrinas de mandioca produzidas no laboratório com DE que variou de 5,54 a 11,28, apresentaram teores mais elevados de sacarídeos de baixo peso molecular, como mostra a Tabela 26, quando comparados com a maltodextrina comercial de milho com DE próximo. Já as maltodextrinas produzidas com amido de batata-doce com DE que variou de 17,00 a 22,95, apresentaram baixos teores de sacarídeos com grau de polimerização maior que 4 (≥DP5), como mostra a Tabela 27, quando comparado com as

comerciais. Devido a estes fatores, a fonte botânica e o processo de hidrólise possuem influência significativa no perfil de açúcares das maltodextrinas.

4.2.2. Reologia

4.2.2.1. Comportamento reológico

As Tabelas 29 e 30 mostram os parâmetros do modelo da Lei da Potência para as maltodextrinas de mandioca e batata-doce produzidas em laboratório. Estas foram diluídas a concentrações de 20 e 30% e analisadas a 25°C. Os tratamentos são referentes à matriz experimental.

Tabela 29. Valores da viscosidade (μ) e do índice de escoamento (n) para as amostras de maltodextrinas de mandioca a 20 e 30% a 25°C.

Maltodextrinas Tratamentos	Soluções a 20%			Soluções a 30%		
	μ (cP)	n	R ²	μ (cP)	n	R ²
1	5,80	1,003	0,9995	19,40	1,003	0,9997
2	6,70	0,991	0,9998	21,20	1,014	0,9989
3	5,30	1,015	0,9999	18,00	0,999	0,9996
4	5,80	0,991	0,9997	18,00	1,001	0,9997
5	7,55	0,994	0,9998	21,79	0,991	0,9992
6	6,20	0,996	0,9997	20,10	1,006	0,9998
7	6,25	1,003	0,9998	19,75	1,034	0,9992
8	6,70	0,991	0,9998	22,30	0,992	0,9993
9	5,32	1,014	0,9999	19,43	1,001	0,9995
10	5,85	0,992	0,9996	18,71	1,014	0,9997
11	5,83	0,991	0,9998	18,36	1,006	0,9993

Tabela 30. Valores da viscosidade (μ) e do índice de escoamento (n) para as amostras de maltodextrinas de batata-doce a 20 e 30% a 25°C.

Maltodextrinas Tratamentos	Soluções a 20%			Soluções a 30%		
	μ (cP)	n	R ²	μ (cP)	n	R ²
1	3,30	1,020	0,9999	8,90	0,991	0,9999
2	3,00	1,025	0,9999	8,20	0,994	0,9998
3	2,90	1,027	0,9996	8,40	0,982	0,9996
4	3,10	1,019	0,9996	8,00	0,992	0,9998
5	3,60	1,025	0,9999	10,98	0,992	0,9999
6	2,90	1,026	0,9998	9,60	1,001	0,9998
7	3,75	1,020	0,9999	11,95	0,993	0,9999
8	3,55	1,016	0,9997	9,60	1,004	0,9999
9	3,00	1,014	0,9997	8,72	0,992	0,9998
10	3,10	1,016	0,9995	8,20	0,993	0,9998
11	2,97	1,009	0,9998	8,45	0,983	0,9996

As maltodextrinas são produtos resultantes do baixo grau de hidrólise dos amidos e com alta porcentagem de sacarídeos de alto peso molecular. De acordo com as Tabelas 29 e 30, observa-se a dependência da viscosidade (μ) nas concentrações das soluções de maltodextrinas de mandioca e batata-doce. Entretanto, isto não foi observado no índice de escoamento (n), sendo que seus valores foram sempre próximos de um, com valores de “n” na faixa de 0,991 a 1,027, indicando que todos os ensaios tendem a apresentar comportamento Newtoniano, ou seja, a viscosidade é independente da taxa de deformação aplicada e, portanto o índice de consistência é chamado de viscosidade.

Pelas Tabelas 29 e 30, observa-se que a viscosidade das maltodextrinas de mandioca e batata-doce foi influenciada pela concentração. Lapasin e Pricl (1995) afirmaram que as propriedades de transportes e especificamente o comportamento reológico de materiais complexos e reais, como sistemas de polissacarídeos, podem ser

significativamente afetados por diversos fatores, tais como o meio de dissolução, concentração e temperatura.

As soluções de maltodextrinas de mandioca apresentaram maior aumento na viscosidade com o aumento da concentração, como mostra a Tabela 29. Já nas soluções de maltodextrinas de batata-doce esse aumento ocorreu com menor intensidade, como mostra a Tabela 30.

Wang e Wang (2000) analisaram soluções de maltodextrinas de milho, batata e arroz com DE de aproximadamente 10 a concentrações de 10, 20, 30 e 40% a 25°C e concluíram que todas as maltodextrinas apresentaram baixa viscosidade (<100 cP) a concentrações de 10, 20 e 30%. Entretanto, na concentração de 40% a viscosidade da solução de maltodextrina de arroz aumentou drasticamente (780 cP), sendo que as soluções de maltodextrinas de milho e batata permaneceram menores que 150 cP. Este aumento de viscosidade na maltodextrina de arroz sugeriu que a amilose foi retrogradada.

As maltodextrinas com menores valores de DE possuem maior porcentagem de frações de alto peso molecular e uma ampla distribuição das frações dos sacarídeos, apresentando maiores valores de viscosidade. Com o aumento da DE os sacarídeos de baixo peso molecular aumentam, resultando em diminuição da viscosidade, como mostram as Tabelas 29 e 30.

A viscosidade das soluções de maltodextrinas de mandioca e batata-doce foi influenciada pelo grau de hidrólise e perfil de açúcares. Maltodextrinas de mandioca apresentaram maior viscosidade, menores valores de DE (5,54 a 11,28) e uma alta porcentagem de $DP \geq 5$ (89,76 a 94,45) com pequenas quantidades de sacarídeos de baixo peso molecular (Tabela 26). Entretanto, maltodextrinas de batata-doce apresentaram menores viscosidades e maiores valores de DE (17,00 a 22,95) e baixa porcentagem de $DP \geq 5$ (55,83 a 69,64) com grandes quantidades de maltose e maltotriose (Tabela 27).

A viscosidade das maltodextrinas é afetada somente pela distribuição da massa molecular, sendo que a fonte botânica do amido ou condições de hidrólise no processamento não influenciaram a viscosidade. As maltodextrinas são uma mistura de oligossacarídeos, uma alta porcentagem de sacarídeos de alto peso molecular influencia o seu comportamento viscoso (DOKIC; JAKOVLJEVIC; DOKIC, 2004).

Wang e Wang (2000) também concluíram que altas viscosidades de maltodextrinas dependem de altas concentrações de sacarídeos de alto peso molecular.

Para efeito comparativo, também foram analisadas maltodextrinas comerciais de mandioca (DE 5) e de milho (DE 10). A Tabela 31 mostra os parâmetros da Lei da Potência para estes produtos diluídos em água a 20 e 30% e analisados a 25°C.

Tabela 31. Valores da viscosidade (μ) e do índice de escoamento (n) para as amostras de maltodextrinas comerciais de mandioca e milho a 20 e 30% a 25°C.

Maltodextrinas	Solução a 20%			Solução a 30%		
	μ (cP)	n	R ²	μ (cP)	n	R ²
Mandioca	10,30	0,9711	0,9993	39,00	0,9856	0,9983
Milho	6,60	0,9728	0,9978	19,00	1,0091	0,9991

Como mostra a Tabela 31, a maltodextrina comercial de milho com DE 10 mostrou valores de viscosidade (μ) muito semelhantes aos da maltodextrina de mandioca produzida em laboratório (Tabela 28) com DE variando de 5,54 a 11,28, indicando que a fonte botânica não exerce influência sobre a viscosidade das maltodextrinas. Entretanto, a maltodextrina comercial de mandioca com DE 5 apresentou maior viscosidade (μ), sendo que este valor foi influenciado pelo elevado teor de sacarídeos com grau de polimerização maior que 4 ($DP \geq 5$) presentes nestas maltodextrinas. A partir dos resultados expostos, verifica-se que a viscosidade está relacionada com a distribuição do peso molecular das soluções.

Pela Tabela 31, também se verificou que o índice de escoamento (n) para maltodextrinas de milho e de mandioca variou de 0,9711 a 1,0091, sendo que a concentração e a distribuição molecular não influenciaram este fator. As maltodextrinas tendem a apresentar um comportamento Newtoniano, onde o índice de escoamento é igual a um.

Também se observou que o coeficiente de determinação (R^2) foi de 99% em todos os tratamentos, concentrações e nos diferentes amidos, indicando um bom ajuste dos dados experimentais obtidos com o viscosímetro Brookfield.

As maltodextrinas comerciais e as produzidas em laboratório apresentaram comportamento Newtoniano. Dokic, Jakovljevic e Dokic (1998), estudaram maltodextrinas de milho a concentrações de 10, 20, 30, 40 e 50% a 20, 25, 30, 40 e 50°C e concluíram que todas apresentaram comportamento Newtoniano.

A resistência de um líquido Newtoniano para o movimento imposto é diretamente proporcional à taxa de movimento, mas é independente da magnitude da deformação, isto é, o fluxo continua indefinidamente enquanto a tensão é mantida. O que caracteriza a resistência ao fluxo é a viscosidade do líquido (MORRIS, 1995). No fluido Newtoniano um valor de viscosidade caracteriza o fluido.

As informações relacionadas aos parâmetros reológicos, descritos nas Tabelas 29, 30 e 31 são de aplicação direta em projetos de equipamentos destinados ao processamento de alimentos, cujas propriedades estão ligadas aos padrões de escoamento, determinando o dimensionamento de bombas, tubulações, sistema de agitação. Queiroz *et al.* (1996) e Branco (1995) relataram que além da importância do ponto de vista de consumo de energia para bombear produtos com maior viscosidade, existem problemas devido a incorporação de ar, acarretando em problemas de operação da bomba e ações indesejáveis como oxidação e contaminação.

As Figuras 25, 26, 27 e 28 mostram as curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação que foram obtidas a partir de dados experimentais das soluções de maltodextrinas produzidas conforme os tratamentos de 1 a 11. As taxas de deformações variaram de 9,78 a 122,30 s^{-1} para maltodextrina de mandioca a 20%, 2,45 a 36,69 s^{-1} para maltodextrina de mandioca a 30%, 24,46 a 183,45 s^{-1} para maltodextrina de batata-doce a 20% e 7,34 a 85,61 s^{-1} para maltodextrina de batata-doce a 30%.

As curvas das Figuras 25, 26, 27 e 28 foram ajustadas pelo modelo da lei de potência. Os pontos marcados representam os dados experimentais e as linhas contínuas são os resultados do modelo ajustado aos dados experimentais. Os tratamentos 1, 2, 3 e 4 são referentes ao fatorial principal do planejamento experimental, sendo que a viscosidade destes tratamentos foram influenciadas pelo perfil de açúcares.

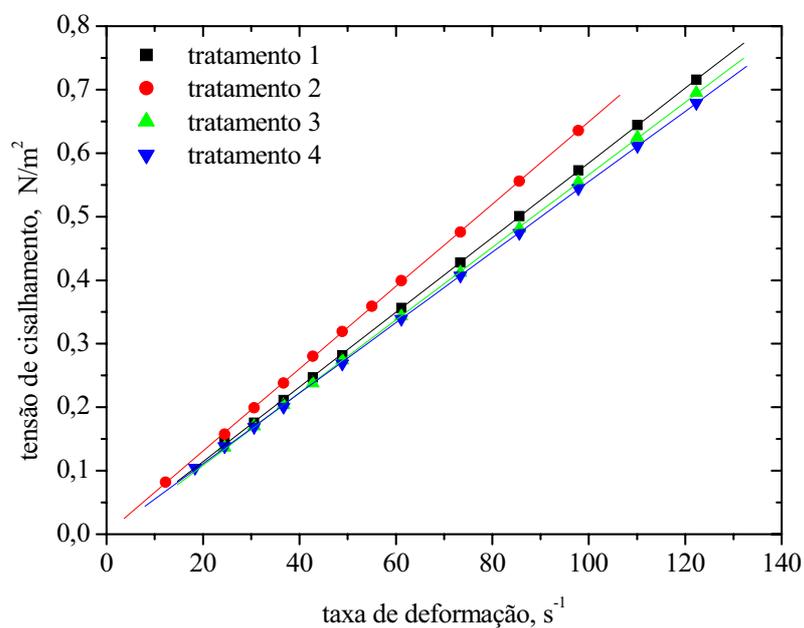


Figura 25. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para solução de maltodextrina de mandioca a 20% a 25°C.

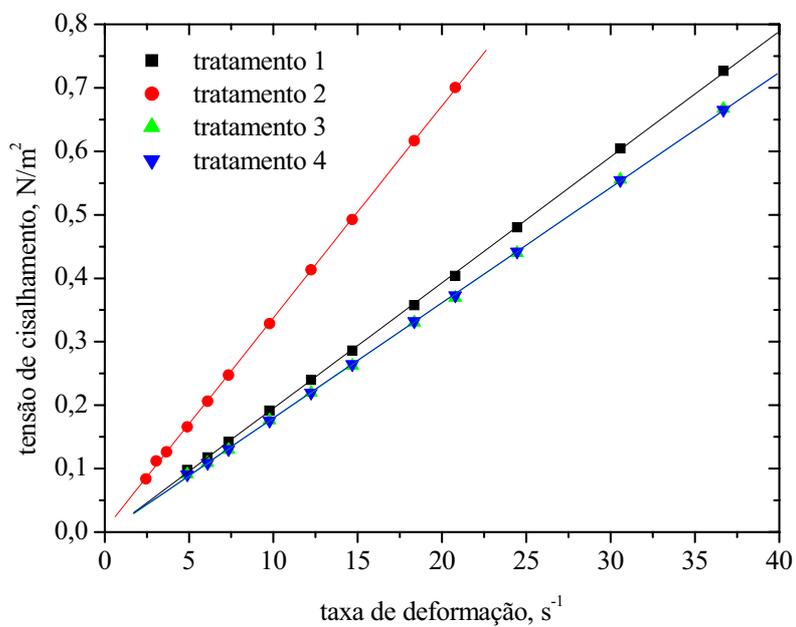


Figura 26. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para solução de maltodextrina de mandioca a 30% a 25°C.

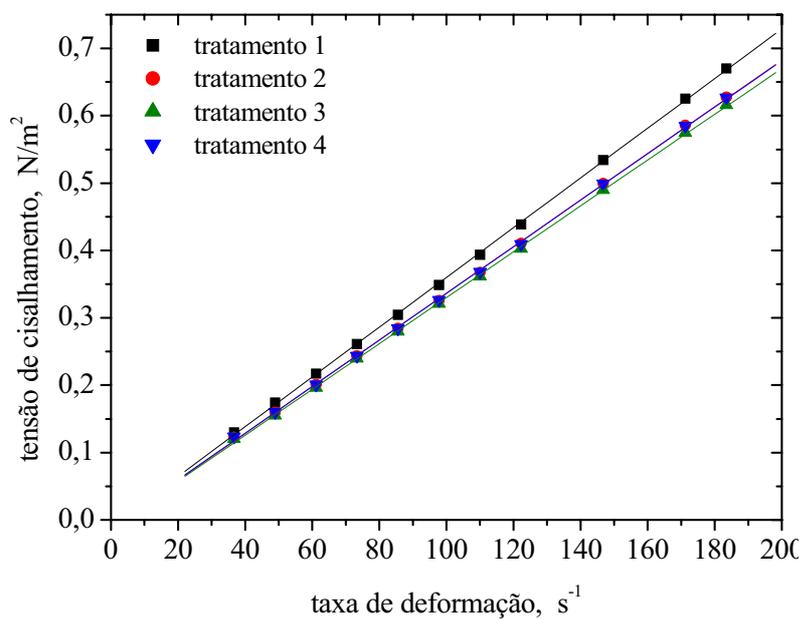


Figura 27. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para solução de maltodextrina de batata-doce a 20% a 25°C.

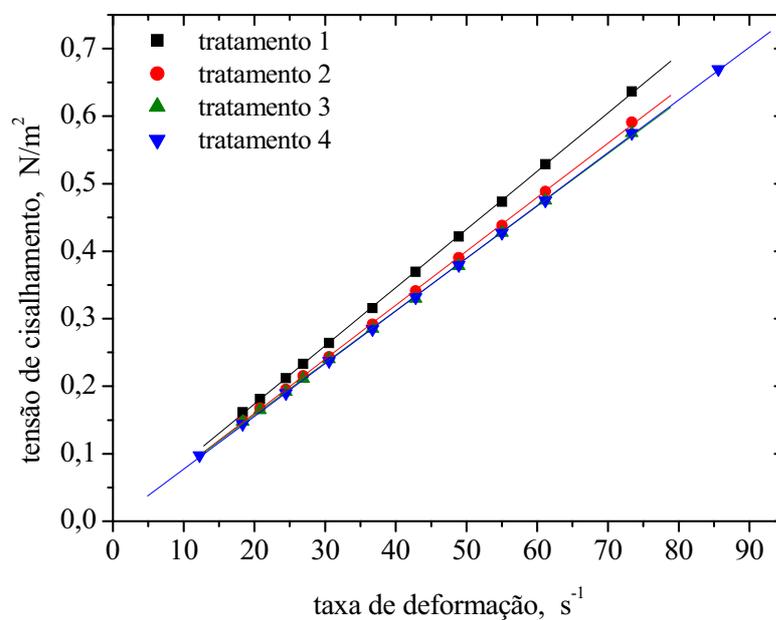


Figura 28. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para solução de maltodextrina de batata-doce a 30% a 25°C.

As Figuras 29 e 30 mostram as curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação que foram obtidas a partir de dados experimentais das maltodextrinas comerciais de mandioca e milho. As taxas de deformações variaram de 7,34 a 73,38 s^{-1} para maltodextrina de mandioca a 20%, 1,83 a 18,35 s^{-1} para maltodextrina de mandioca a 30%, 24,46 a 122,30 s^{-1} para maltodextrina de milho a 20% e 3,06 a 30,58 s^{-1} para maltodextrina de milho a 30%.

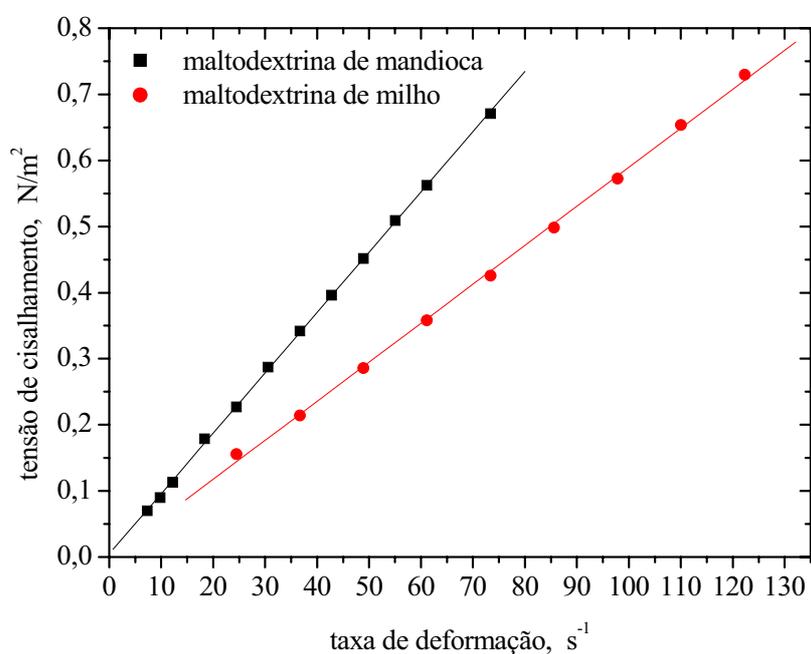


Figura 29. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para soluções de maltodextrinas comerciais de mandioca e milho a 20% a 25°C.

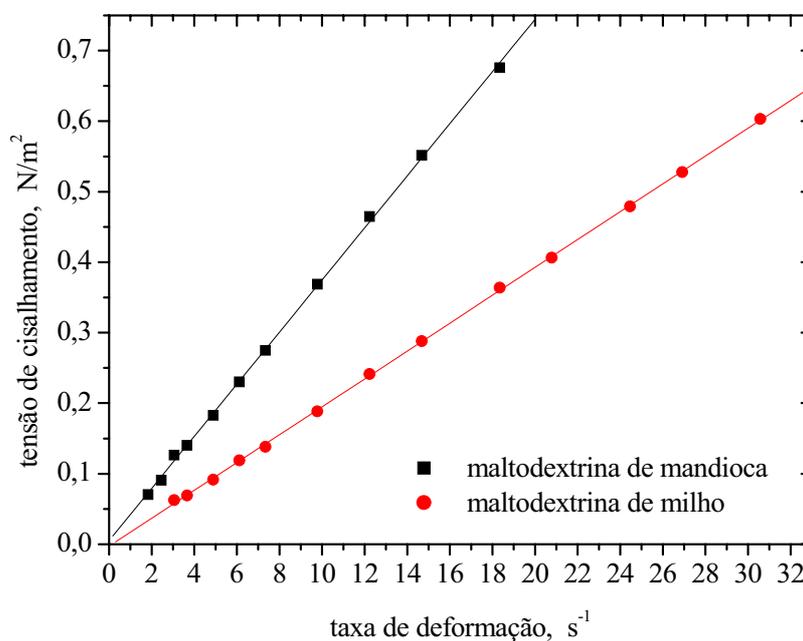


Figura 30. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para soluções de maltodextrinas comerciais de mandioca e milho a 30% a 25°C.

De acordo com as Figuras 25, 26, 27, 28, 29 e 30 pode-se constatar que a tensão de cisalhamento aumenta linearmente com o aumento da taxa de deformação, confirmando a tendência do comportamento Newtoniano das maltodextrinas de mandioca e batata-doce.

As Figuras 29 e 30 também mostraram a dependência do valor de dextrose equivalente (DE) e do perfil de açúcares na viscosidade das soluções de maltodextrinas. Com o aumento da concentração também houve um aumento da viscosidade, sendo que este aumento foi mais significativo na solução de maltodextrina de mandioca comercial do que na maltodextrina de milho.

4.2.2.2. Análise da viscosidade em função das variáveis do processo

A Tabela 32 mostra o efeito das variáveis independentes (tempo de hidrólise e rotação no processo de agitação) sobre a viscosidade das maltodextrinas de mandioca e batata-doce. Os tratamentos referem-se à matriz experimental proposta.

Para a análise foram preparadas soluções de maltodextrinas a concentração de 20%.

Tabela 32. Viscosidade das maltodextrinas de mandioca e batata-doce.

Tratamentos	Viscosidade (cP)	Viscosidade (cP)
	malto. mandioca	Malto. batata-doce
1	5,80	3,30
2	6,70	3,00
3	5,30	2,90
4	5,80	3,10
5	7,55	3,60
6	6,20	2,90
7	6,25	3,75
8	6,70	3,55
9	5,32	3,00
10	5,85	3,10
11	5,83	2,97

Onde: malto. = maltodextrina

Através dos resultados obtidos na Tabela 32 foi possível determinar os coeficientes de regressão e a realizar a análise de variância (ANOVA) para a viscosidade das maltodextrinas de mandioca e batata-doce.

As Tabelas 33 e 34 mostram os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) do modelo completo codificado para a viscosidade das maltodextrinas de mandioca.

Tabela 33. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado, para a viscosidade da maltodextrina de mandioca.

	Efeito	Erro padrão	GL	P valor
Coeficiente	5,6718	0,1344		
X ₁	-0,2477	0,0660	1	0,0133
X ₂	0,1250	0,0660	1	0,1168
X ₁ *X ₁	0,1338	0,0297	1	0,0063
X ₂ *X ₂	0,8936	0,2967	1	0,0297
X ₁ *X ₂	-0,1000	0,1548	1	0,5468
R ²	0,8914			

Onde: GL = grau de liberdade.

Tabela 34. Análise de variância para o modelo completo codificado, para a viscosidade da maltodextrina de mandioca.

Fator	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Modelo	5	3,9359	0,7871	8,21	0,0187
Erro	5	0,4793	0,09586		
Total	10	4,4152			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio.

A equação do modelo total ajustado de 2^a ordem para a viscosidade da maltodextrina de mandioca a concentração de 20% está descrita na equação (15).

$$\mu = 5,6718 - 0,2477t + 0,1250A + 0,1338t^2 + 0,0893A^2 - 0,1000tA \quad (15)$$

onde: μ = viscosidade; t = tempo de hidrólise, min.; A = agitação, rpm.

De acordo com a Tabela 34 observa-se que o modelo de regressão adotado foi significativo, pois Pr>F foi de 0,0187 estando abaixo de 0,05.

Dentre os fatores que compõem o modelo, como mostra a Tabela 33, o tempo de hidrólise e a agitação afetaram significativamente a viscosidade da maltodextrina de mandioca a concentração de 20%. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 89,14% indicando um bom ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas.

A viscosidade das maltodextrinas variaram de 5,30 a 7,55 cP. Nas Figuras 31 e 32 a superfície de resposta e a curva de contorno mostram o efeito combinado do tempo de hidrólise e da agitação na viscosidade das maltodextrinas de mandioca.

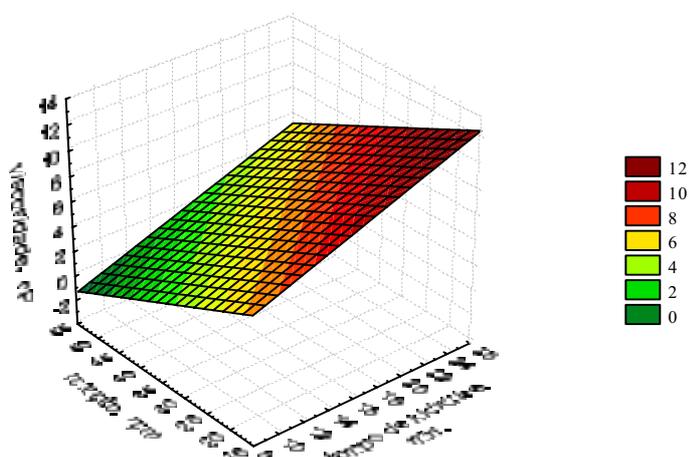


Figura 31. Gráfico de superfície de resposta para a viscosidade da maltodextrina de mandioca a concentração de 20% em função do tempo de hidrólise e da agitação.

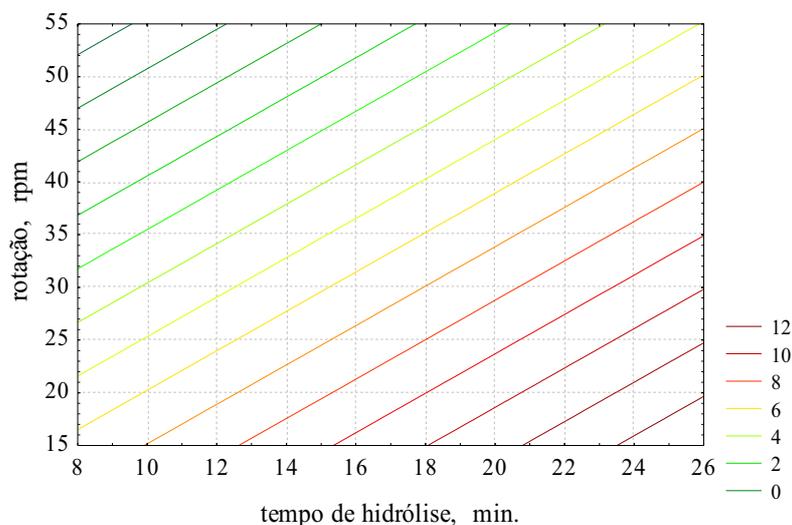


Figura 32. Gráfico da curva de contorno para a viscosidade da maltodextrina de mandioca a concentração de 20% em função do tempo de hidrólise e da agitação.

Os menores valores de viscosidade foram encontrados nos menores tempos de hidrólise e maiores rotações no processo de agitação, conforme mostram as Figuras 31 e 32.

As Tabelas 35 e 36 mostram os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) do modelo completo codificado para a viscosidade das maltodextrinas de batata-doce.

Tabela 35. Coeficientes de regressão estimados para o modelo completo codificado, para a viscosidade de maltodextrina de batata-doce.

	Efeito	Erro padrão	GL	P valor
Coeficiente	2,9992	0,0269		
X_1	-0,1091	0,0132	1	0,0004
X_2	-0,0318	0,0132	1	0,0609
$X_1 * X_1$	0,0273	0,0059	1	0,0059
$X_2 * X_2$	0,0717	0,0059	1	0,0001
$X_1 * X_2$	0,1250	0,0309	1	0,0100
R^2	0,9794			

onde: GL = grau de liberdade.

A equação do modelo total ajustado de 2ª ordem para a viscosidade da maltodextrina de batata-doce a concentração de 20% está descrita na equação (16).

$$\mu = 2,9992 - 0,1091t - 0,0318A + 0,0273t^2 + 0,0717A^2 + 0,1250tA \quad (16)$$

onde: μ = viscosidade; t = tempo de hidrólise, min.; A = agitação, rpm.

Tabela 36. Análise de variância para o modelo completo codificado, para a viscosidade de maltodextrina de batata-doce.

Fator	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Modelo	5	0,9086	0,1817	47,35	0,0003
Erro	5	0,0192	0,0038		
Total	10	0,9278			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio.

Os resultados obtidos quanto ao efeito das variáveis independentes na viscosidade das maltodextrinas de batata-doce a concentração de 20% estão expressos na Tabela 32, onde se observa uma variação de 2,90 a 3,75 cP. O modelo de regressão adotado foi significativo ($p < 0,05$), como mostra a Tabela 36. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 97,94% indicando um bom ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas, como mostra a Tabela 35.

Pela Tabela 35 observa-se que o tempo de hidrólise e a rotação no processo de agitação afetaram significativamente a viscosidade.

Nas Figuras 33 e 34 a superfície de resposta e a curva de contorno mostraram o efeito combinado do tempo de hidrólise e da agitação na viscosidade das maltodextrinas de batata-doce.

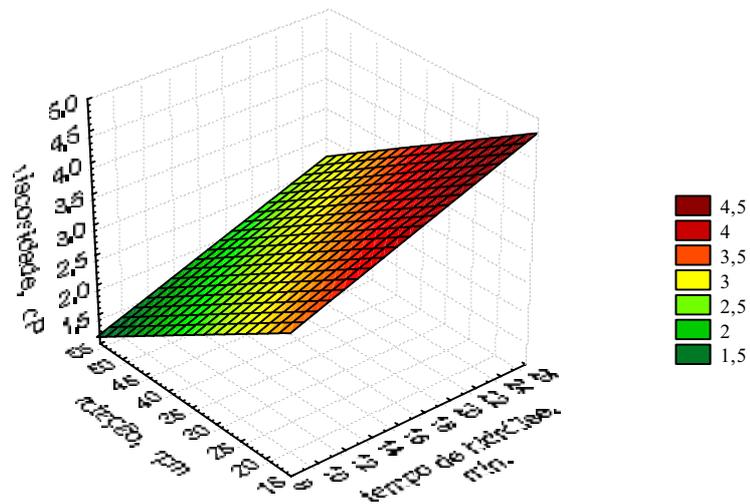


Figura 33. Gráfico de superfície de resposta para a viscosidade da solução de maltodextrina de batata-doce a 20% em função do tempo de hidrólise e da agitação.

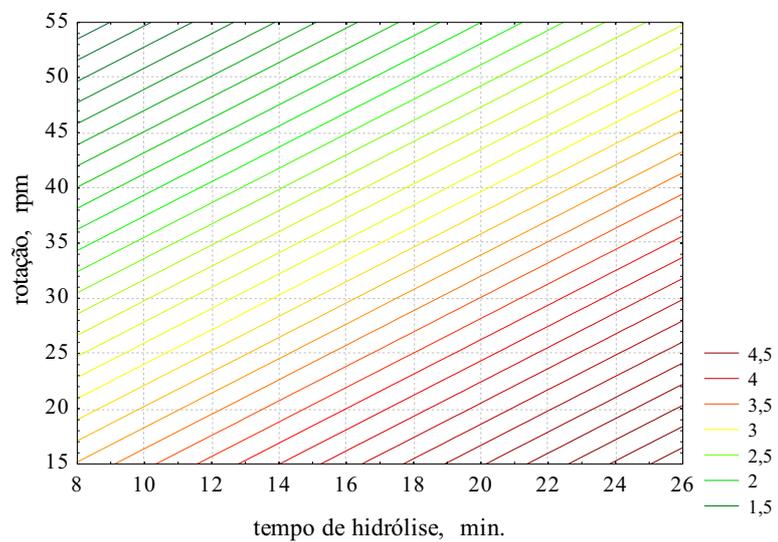


Figura 34. Gráfico da curva de contorno para a viscosidade da solução de maltodextrina de batata-doce a 20% em função do tempo de hidrólise e da agitação.

De acordo com as Figuras 33 e 34 observa-se que nos tempos de hidrólise de 10 a 17 minutos e nas rotações de 35 a 50 rpm houve uma diminuição da viscosidade. Nota-se que a viscosidade das maltodextrinas de batata-doce também diminuiu com o menor tempo de hidrólise e maior rotação no processo de agitação.

As variáveis independentes no processo de maltodextrinas de mandioca e de batata-doce produziram produtos com diferentes graus de hidrólise e perfis de açúcares, interferindo na viscosidade.

4.2.3. Microscopia eletrônica de varredura

No processo utilizado para a elaboração das maltodextrinas, os grânulos dos amidos foram aquecidos em excesso de água, havendo intumescimento e gelatinização e todos os grânulos foram atacados pela enzima α -amilase. As estruturas das maltodextrinas de mandioca e batata-doce secas em “spray dryer”, com sistema de pulverização, foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), e as micrografias estão apresentadas nas Figuras 35 e 36. Os tratamentos 6 e 8 correspondem aos pontos axiais da matriz experimental.

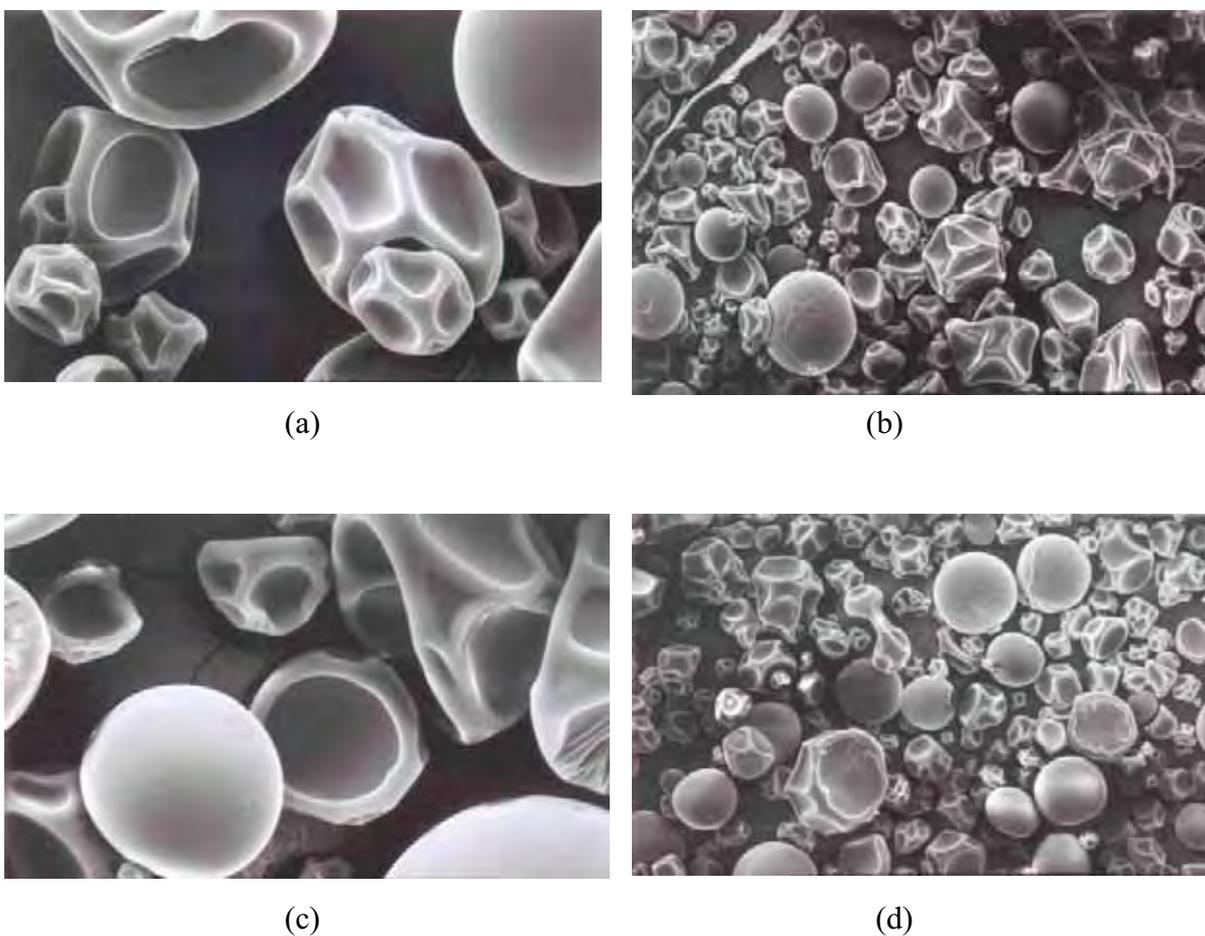


Figura 35. Micrografias de maltodextrinas de mandioca secas em “spray dryer” por pulverização observadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). (a) tratamento 6, aumento de 1000 X, (b) tratamento 6, aumento de 200 X, (c) tratamento 8, aumento de 1000 X, (d) tratamento 8, aumento de 200 X.

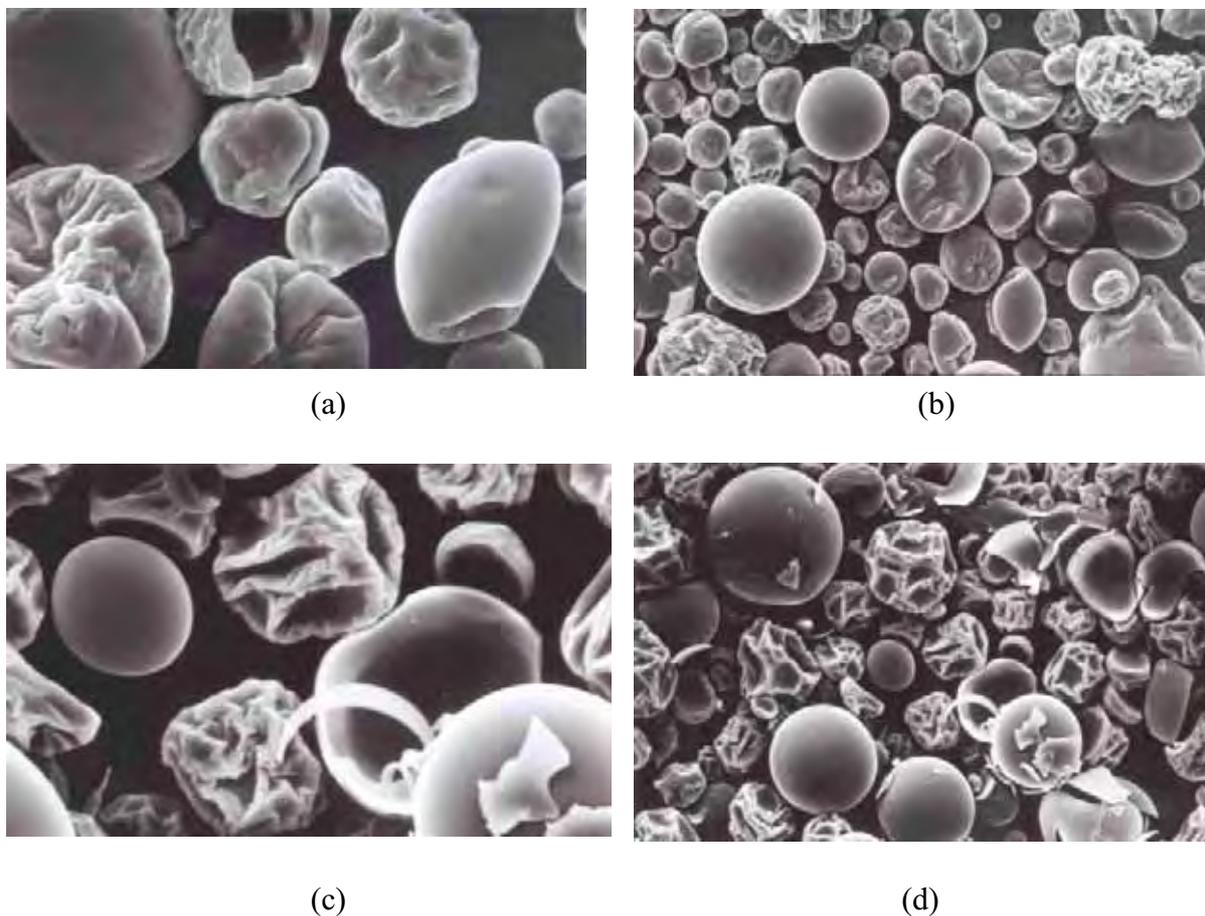


Figura 36. Micrografias de maltodextrinas de batata-doce secas em “spray dryer” por pulverização observadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). (a) tratamento 6, aumento de 1000 X, (b) tratamento 6, aumento de 200 X, (c) tratamento 8, aumento de 1000 X, (d) tratamento 8, aumento de 200 X.

Pelas micrografias observou-se que durante a secagem em “spray dryer”, os grânulos intumescidos ruíram quando a água foi evaporada, causando numerosas imperfeições nas superfícies. As partículas de maltodextrinas de mandioca e batata-doce apresentaram tamanhos variados e com muitas imperfeições em toda a extensão da superfície, sendo encontradas poucas partículas de superfície totalmente lisa.

O aparecimento de depressões e concavidades na superfície é atribuído à rápida evaporação das gotículas de líquido durante o processo de secagem. De acordo com Rosemberg, Kopelman e Talmon (1985), a formação de microestrutura deste tipo é uma característica de compostos com polímeros.

Nas Figuras 35a, 35b, 35c e 35d não foi possível observar diferenças nos tratamentos 6 e 8.

As partículas de maltodextrinas de batata-doce, observadas pelas micrografias da Figura 36, apresentam-se mais danificadas e irregulares do que as da mandioca, na Figuras 35. Isto provavelmente ocorreu porque o ataque enzimático foi mais intenso no amido de batata-doce, comprovando os maiores valores de DE e menores porcentagens de DP maior que 4 encontrado nas maltodextrinas de batata-doce, ou seja, a composição polimérica favoreceu este comportamento estrutural.

Para visualizar a estrutura de produto similar, observou-se a estrutura das maltodextrinas comerciais de mandioca e milho secas em “spray dryer” com sistema de atomização, como mostra a Figura 37.

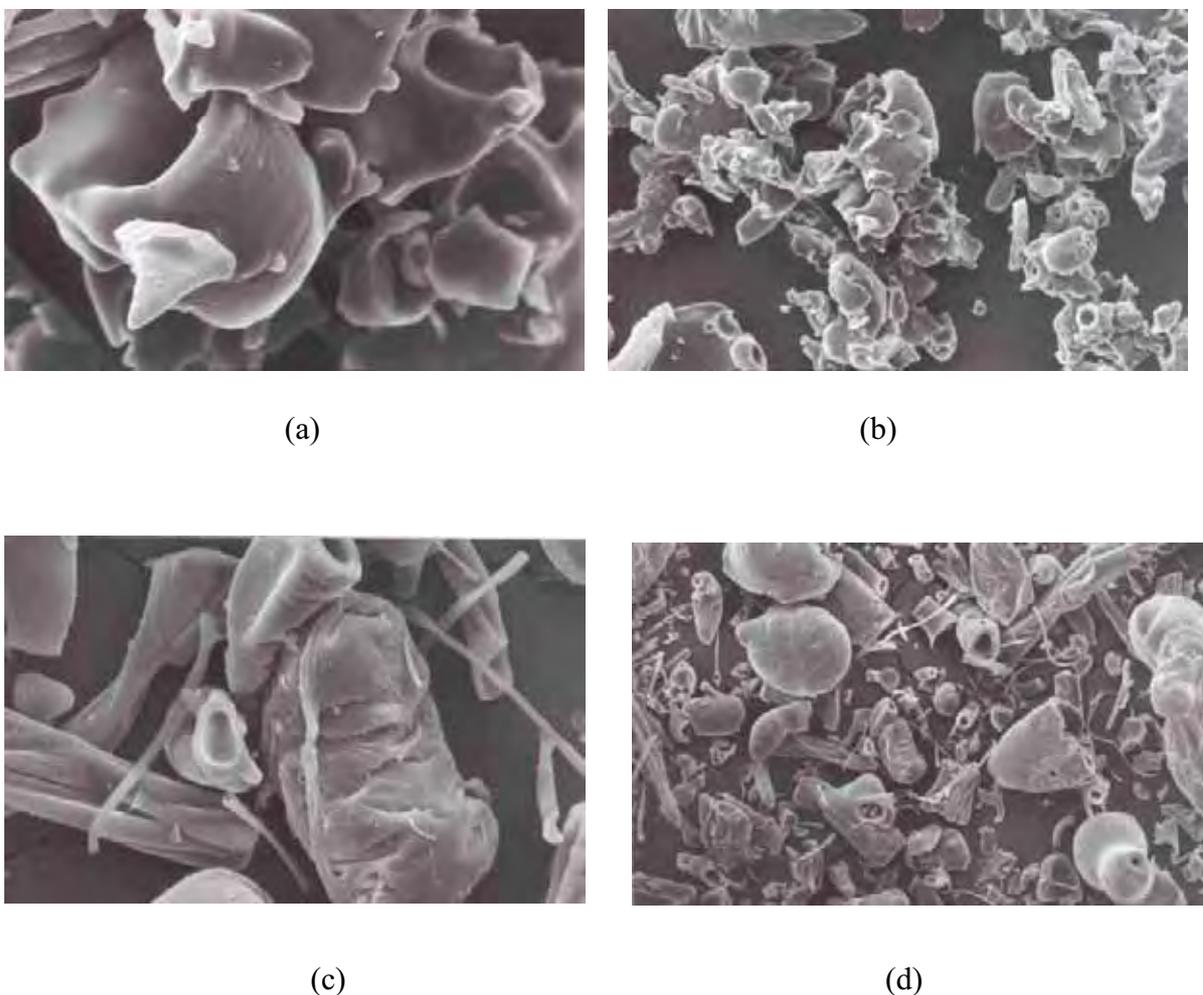


Figura 37. Micrografias de maltodextrinas comerciais secas em “spray dryer” por atomização observadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). (a) maltodextrina de mandioca, aumento de 1000 X, (b) maltodextrina de mandioca, aumento de 200 X, (c) maltodextrina de milho, aumento de 1000 X, (d) maltodextrina de milho, aumento de 200 X.

De acordo com a Figura 37, observa-se que a estrutura das maltodextrinas comerciais de mandioca e milho foi totalmente diferente em relação as maltodextrinas produzidas no laboratório do CERAT, mostrando a ocorrência de estruturas alongadas e mais danificadas.

As microestruturas das maltodextrinas também foram influenciadas pelo processo de secagem. No processo por atomização, as gotas do material são rompidas e

desintegradas criando uma nuvem de gotículas. Já no sistema por pulverização, utilizado neste estudo, as gotículas formadas provavelmente apresentaram maior diâmetro devido ao diâmetro do bico e a pressão utilizada, não ocorrendo a desintegração do material.

4.2.4. Difractometria de Raios-X

Os resultados da análise de difração de raios-X das maltodextrinas de mandioca e batata-doce estão apresentados nas Figuras 38 e 39. Observa-se que os tratamentos 6 e 8 correspondem aos pontos axiais da matriz experimental.

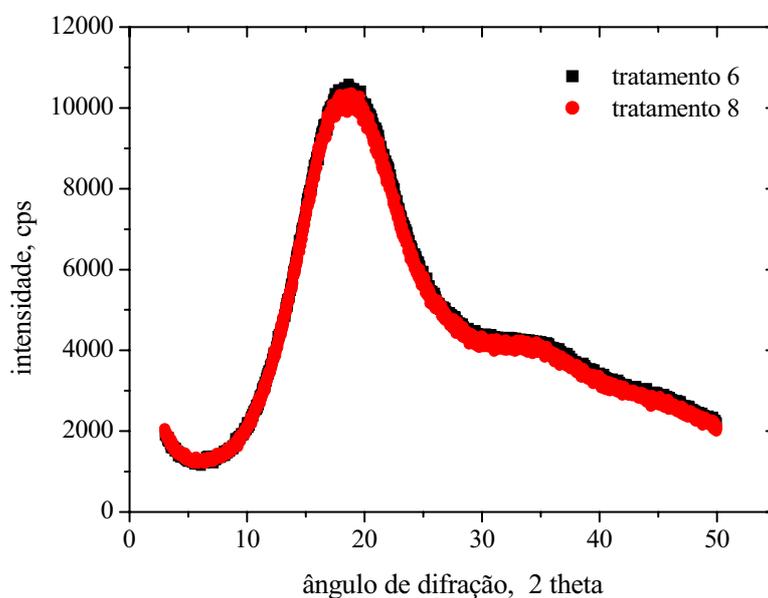


Figura 38. Diffractogramas de raios-X das maltodextrinas de mandioca dos tratamentos 6 e 8.

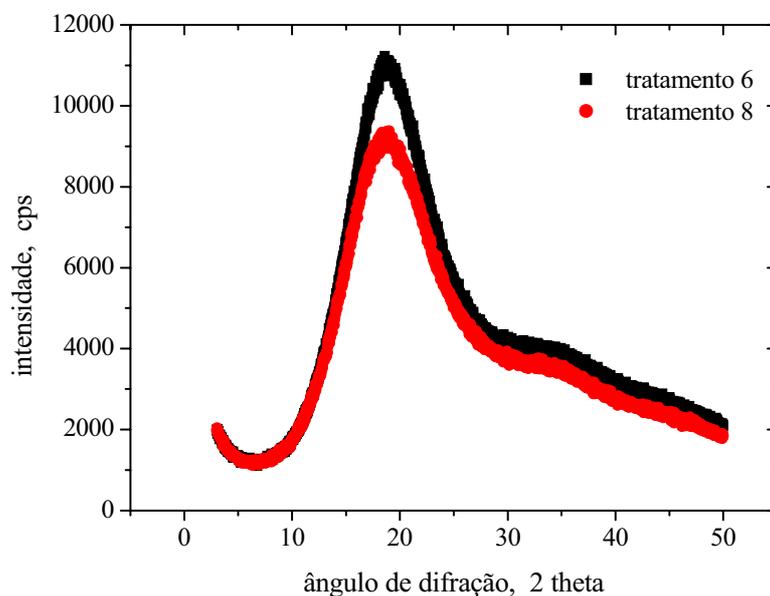


Figura 39. Difractogramas de raios-X das maltodextrinas de batata-doce dos tratamentos 6 e 8.

De acordo com as Figuras 38 e 39 observa-se que as maltodextrinas não apresentaram cristalinidade, mostrando difractograma de material tipicamente amorfo, indicando que o tratamento enzimático aplicado hidrolisou tanto as áreas amorfas quanto as áreas cristalinas dos grânulos dos amidos, confirmando que toda a estrutura cristalina foi destruída durante o processo.

Os mesmos resultados foram observados por Raja *et al.* (1989), que constataram que maltodextrinas de milho com diferentes valores de dextrose equivalentes (DE) e grau de polimerização (DP) possuem difractogramas típico de materiais que possuem estrutura granular amorfa.

Ma *et al.* (2006) estudaram a hidrólise enzimática do amido de milho e observaram que o amido gelatinizado não apresentou picos de cristalinidade, concluindo que durante a gelatinização toda a estrutura cristalina foi destruída.

Para confirmar os resultados obtidos com as maltodextrinas em laboratório foram analisadas maltodextrinas comerciais de mandioca com DE 5 e de milho com DE 10. Pelos difractogramas de raios-X, como mostra a Figura 40, verificou-se que os

materiais apresentaram comportamento tipicamente amorfo, sendo que os resultados foram semelhantes com os produtos elaborados em laboratório.

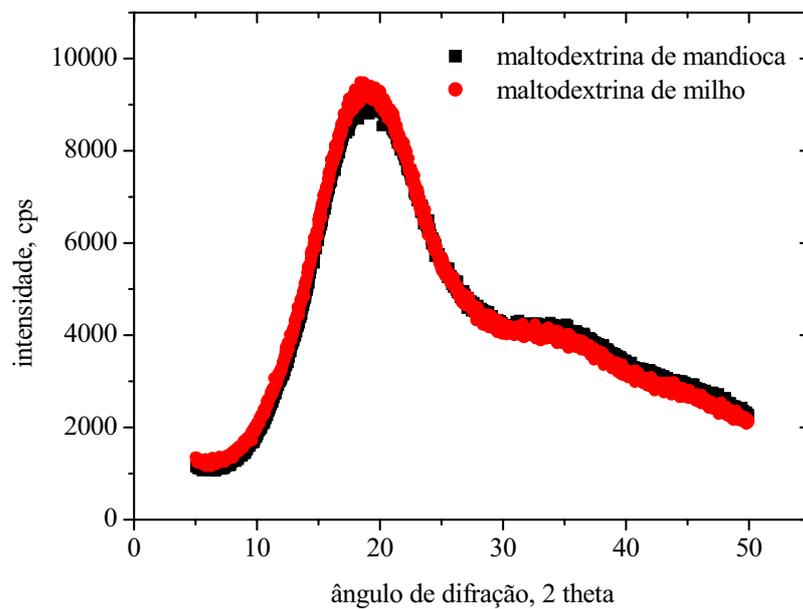


Figura 40. Difractogramas de raios-X das maltodextrinas comerciais de mandioca e milho.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

➤ no processo de hidrólise enzimática o amido de batata-doce foi mais degradado, produzindo maltodextrinas com maiores valores de DE, 17,0 a 22,9, e maiores porcentagens de glicose, 0,3 a 0,6. O perfil de açúcares das maltodextrinas de batata-doce mostrou baixos teores de sacarídeos com grau de polimerização maior que 4, 57,6% a 69,6% e teores elevados de maltose, 13,3% a 23,8%, e maltotriose, 10,3% a 16,2%, evidenciando maior grau de hidrólise do amido;

➤ pela microscopia eletrônica de varredura foi possível observar que as partículas de maltodextrinas de batata-doce apresentam-se mais danificadas e com maiores imperfeições. Pela difração de raios-X observou-se que as maltodextrinas de mandioca e batata-doce não apresentaram cristalinidade, mostrando difractogramas de material tipicamente amorfo, evidenciando a maior degradação enzimática;

➤ a análise das variáveis do processo indicou que o tempo de hidrólise exerceu maior influencia na dextrose equivalente (DE) das maltodextrinas de mandioca e batata-doce e na porcentagem de glicose das maltodextrinas de mandioca, sendo que com o aumento do tempo de hidrólise aumentam os valores de DE e a porcentagem de

glicose. Já, a porcentagem de glicose das maltodextrinas de batata-doce foi influenciada pela agitação, ou seja, com o aumento da agitação aumentou o teor de glicose. A interação do tempo de hidrólise e da agitação exerceu influência na solubilidade das maltodextrinas de mandioca e na viscosidade das maltodextrinas de mandioca e batata-doce; maltodextrinas com alta viscosidade e solubilidade foram produzidas elevando o tempo de hidrólise e diminuindo a rotação na agitação;

➤ as maltodextrinas experimentais de mandioca e batata-doce e as comerciais de mandioca e milho apresentaram comportamento de fluido Newtoniano a 25°C e o modelo da Lei da Potência apresentou um bom ajuste dos dados experimentais, sendo que os valores de R^2 variou de 0,9983 a 0,9999. A viscosidade média das soluções de maltodextrinas de mandioca e batata-doce à 20% a 25°C foi de 6,12 e 3,20 cP, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AANDARAMAN, S.; REINECIUS, G.A. Stability of encapsuled orange peels oil. **Food Technol.**, v.40, n.11, p. 88-93, 1986.

AGUILERA, J.M.; STANLEY, D.W. **Microestrutural principles of food processing & engineering**. Cambridge: Elsevier Applied Science, 1.ed, 1990, 343p.

ALEXANDER, J.R. Maltodextrins. Production, properties and application. In: SCHENCK, E.W; HEBEDA, R.E. **Starch Hydrolysis Products**, vhc, New York, 1992, p.233-275.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTRY. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemistry**. St. Paul, 1975.

ANON. Maltodextrin 184.1444, Code of Federal Regulations, 21, parts 170-199, p.456, Office of the Federal Register National Archives and Records Administration, 1989.

AOAC. Association of Official Agricultural Chemistry. **Official Methods of Analysis**. 13.ed. Washington: s.n., 1980. 109p.

ASAOKA, M.; BLANSHARD, J.M.V.; RICKARD, J.E. Seasonal effects on the physicochemical properties of starches from four cultivars of cassava. **Starch/Starke**, v.43, p.455-459, 1991.

AVALTRONI, F.; BOUQUERAND, P.E.; NORMAND, V. Maltodextrin molecular weight distribution influence on the glass transition temperature and viscosity in aqueous solutions. **Carbohydrate Polymers**, p.1-12, 2004.

BARRANTES, E.; TAMINE, A.; SWORD, M. Production of low calorie yoghurt using skim milk powder and fat substitute. Compositional quality. **Milchwissenschaft**, v.49, n. 3, p. 135, 1994.

BARRON *et al.* Microscopical study of the destructuring of waxy maize and smooth pea starches by shear and heat at low hydration. **Journal of Cereal Science**, v.33, n.3, p.289-300, 2001.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. Campinas, Editora da UNICAMP, 299p., 2003.

BEMILLER, J.N. Starch modification: challenges and prospects. **Starch/Starke**, v.49, n.4, p.127-131, 1997.

BERGHMANS, E.F.; WALON, R.G.P. **GB Patent nº 1.470.325**. 1977.

BERMUDEZ, J.J.H. **Valorización de lãs amiláceas “no-cereales” cultivadas em los países Andinos: Estúdio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y de la resistencia a diferentes tratamientos estresantes**. Trabajo de Grado, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Universidad de Bogotá, Colômbia, 150p., 1997.

BILIADERIS, C.G. The structure and interactions of starch with food constituents. **Canadian Journal Physiology Pharmacology**, v.49, p.60-78, 1991.

BLANCHARD, P.H.; KATZ, F.R. Starch hydrolysates. In: STEPHEN, A.M. **Food Polysaccharides and their Application**. New York: Marcel dekker, 1995. p.99-.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. 2.ed., 1.reimp. São Paulo: Livraria Varela, 1995. 151p.

BORNET, F. Technologie des amidons, digestibilité et effects métaboliques. **Cah. Nutr. Diét.**, v.27, n.3, p.170-178, 1991.

BOUWKAMP, J.C. **Sweet Potato Products: A Natural Resource for the Tropics**. Florida: Library of Congress Cataloging, 1985, Parte II: Utilization: p.137-259.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. **Statistic for experimenters**. An introduction designs, data analysis and model building. Nova York: Wiley, 1978.

BOX, G.E.P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Tec. Report. n.9, 1993.

BRAGANÇA, E. Maltodextrinas da mandioca – estrelas do mundo esportivo. **Associação Brasileira dos Produtores de Mandioca**, ano 3, n.11, 2005.

BRANCO, I.G. **Suco de laranja concentrado: comportamento reológico a baixas temperaturas**. 1995. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Decreto nº 12.486 de 20 de outubro de 1978. Normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas. Instrução Normativa nº 23 de 14 de dezembro de

2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade dos produtos amiláceos derivados da raiz da mandioca.

BROOKS, J.R.; GRIFFIN, V.K. Saccharides analysis of corn syrup solids and maltodextrins using high-performance liquid chromatography. **Cereal Chemistry**, v.64, n.4, p.253-255, 1987.

BULÉON, A. et al. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.23, p.85-112, 1998.

BULPIN, P.V.; CUTLER, A.N.; DEA, I.C.M. Thermally reversible gels from low DE maltodextrins. In: PHILLIPS, G.O.; WEDLOCK, D.J.; WILLIAMS, P.A. **Gums and Stabilisers for the Food Industry 2**. IRL Press, Oxford, 1984, p. 475.

CAMARGO FILHO, W.P.; MAZZEI, A.R.; ALVES, H.S. Mercado de raízes e tubérculos: análise de preços. **Informações Econômicas**, v.31, n.2, p.36-44, 2001.

CARDOSO, C.E.L. **Competitividade e inovação tecnológica na cadeia agroindustrial de fécula de mandioca no Brasil**. 2003. 188p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

CEREDA, M.P. Potencial de tuberosas sul americanas em uso culinário e uso industrial. In: Simpósio Latino Americano de Raízes Y Tubérculos, 2., 2001, Lima. **Anais...Lima:2001**. Presentación Magistral.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I.M. Amidos Modificados. In: CEREDA, M.P. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. :Fundação Cargill, 2001. p.246-333.

CHEETHAM, N.W.H.; TAO, L. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: a X-ray powder diffraction study. **Carbohydrate polymers**, v.36, p. 277-284, 1998.

CHRONAKIS, I.S. On the molecular characteristics, composition properties, and structural – functional mechanisms of maltodextrins: a review. **Critical Reviews in Food Science**, v.38, n.7, p.599-637, 1998.

CIACCO, C.F.; CRUZ, R. **Tecnologia Agroindustrial: Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo, Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1987. v.7. 152p.

COLONNA, P.; BULÉON, A.; LEMANE, F. Action of bacillus subtilis α -amylase on native wheat starch. **Biotechnology and bioengineering**, v.31, n.9, p. 895-904, 1988.

COLLONA, P.; LELOUP, V.; BULÉON, A. Limiting factors of starch hydrolysis. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, n.2, p.17-32, 1992.

CÔNSOLE, S.F. **Otimização das condições de hidrólise ácida do amido de mandioca para obtenção de substituto de gordura: Caracterização de hidrolisados e aplicações em bolos**. Campinas, 1998. p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

CUI, R.; OATIS, C.G. The effect amylase-lipid complex formation on enzyme susceptibility of sago starch. **Food Chemistry**, v.65, p.417-425, 1999.

DEFLOOR, I.; DEHING, I.; DELCOUR, J.A. Physicochemical properties of cassava. **Starch/Starke**, v.50, n.2-3, p.58-64, 1998.

DOKIC, L.; JAKOVLJEVIC, J.; DOKIC, P. Relation between viscous characteristics and dextrose equivalent of maltodextrins. **Starch/Starke**, v.56, p.520-525, 2004.

DOKIC, P.; JAKOVLJEVIC, J. DOKIC, B.L. Molecular characteristics of maltodextrins and rheological behaviour of diluted and concentrated solutions. **Colloid and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v.141, p.435-440, 1998.

DUFFIE, J.A.; MARSHALL Jr., W.R. Factor influencing the properties of spray dried materials. **Chemical Engineering Progress**, v.49, n.8, p.417-423, 1953.

DZIEDZIC, S.Z.; KEARSLEY, M.W. Physico-chemical properties of glucose syrups. In: _____. **Glucose Syrups: Science and Technology**. Elsevier Science Publ. Co: New York. 1984.

EASTMAN, J.E.; MOORE, C.O. Cold-water soluble granular starch for gelled food composition. **U.S. Pat. 4.465.702**. 1984.

ENGLYST, H.N.; KINGMAN, S.M.; CUMMINGS, J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, n.2, p.33-50, 1992.

FAO **Statistical Database**, do ano de 2001. Disponível em <http://www.fao.org> > Acesso em: 18 agosto 2004.

FIGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FRANCO, C. M. L; CIACCO, C.F.; TAVARES, D.Q. The Structure of waxy corn starch: effect of granule size. **Starch/Starke**, v.50, n.5, p.193-198, 1998.

FRANCO, C.M.L. *et al.* **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas: propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001. v.1, 224p.

FRANCO, C.M.L.; CIACCO, C.F.; TAVARES, D.Q. Studies on the susceptibility of granular cassava and corn starches to enzymatic attack. Part 2. Study of the granular structure of starch. **Starch/Starke**, v.40, n.1, p.29-32, 1988.

FRENCH, D. Chemical and biochemistry of starch. In: WHELAN, W.L. **Biochemistry: chemistry of carbohydrates**. London: Academic Press, 1975. v.5, p.269-326.

FRENCH, D. Organization of starch granules. In: WHISTLER, R.L.; BeMILLER J.N.; PASCHAL, E.F. **Starch: Chemistry and Technology**. 2.ed. London: Academic Press, 1984. p.183-247.

FURUTA, T.; HAYASHY, H.; OHASHI, T. Some criteria of spray dryer design for food liquid. **Drying Technology**, v.12, n.162, p.151-177, 1994.

GALLANT, D.J.; *et al.* On ultrastructural and nutritional aspects of some tropical tubers starches. **Starch/Starke**, v.34, n.8, p.255-262, 1982.

GALLANT, D.J.; BOUCHET, B.; BADWIN, P.M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, v.32, p.177-191, 1997.

GALLIARD, T.; BOWLER, P. Morphology and composition of starch. In: GALLIARD, T. **Starch: properties and potencial**. Chischester: John Wiley & Sons, 1987. cap.3, p.55-78.

GARCIA, A.M.; WALTER, W.M. Physicochemical characterization of starch from Peruvian sweet potato selections. **Starch/Starke**, v.50, p.331-337, 1998.

GARCIA, V.; *et al.* Structural changes of cassava starch granules after heating at intermediate water contents. **Starck/Starke**, v.49, n.5, p.171-179, 1997.

GÉRARD, C. *et al.* Amylose determination in genetically modified starches. **Carbohydrate Polymers**, v.44, n.1, p.19-27, 2001.

GIDLEY, M.J.; BULPIN, P.V. Crystallisation of malto-oligosaccharides as model of the crystalline forms of starch: minimum chain length requirement for the formation of double helices. **Carbohydr. Res.**, v.161, p.291-300, 1987.

GRAY, J.A.; BeMILLER, J.N. Accessibility of starch granules to fatty acyl amides. **Cereal Chemistry**, v.78, n.3, p.236-242, 2001.

GRIFFINS, V.K.; BROOKS, J.R. **Journal Food Science**, v.54, n.1 p. , 1989.

GUZMÁN; M.H.; PAREDES; L.O. Amylolytic enzymes and products derived from starch: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.36, n.5, p.373-403, 1995.

HERMANSSON, A.M.; SVEGMARK, K. Development in the understanding of starch functionality. **Trends in Food Science and Tecnology**, v.7, p.345-353, 1996.

HIEMENZ, P.; RAJAGOPALAN, R. **Principles of colloid and surface chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1997.

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

IMBERTY, A.; *et al.* Recent advances in knowledge of starch structure. **Starch/Starke**, v.43, n.10, p.375-374, 1991.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 3.ed. São Paulo, 1985. v.1.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agrícola nacional**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br> > Acesso em: 05 junho 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Norme internationale: Riz-détermination de la teneur en amylase.** S.I., 1987. 5p. (ISSO 6647).

JACOBS, H.; *et al.* Impact of annealing on the susceptibility of wheat, potato and pea starches to hydrolysis with pancreatin. **Carbohydrate Research**, v.305, p.193-207, 1998.

JAKOVLJEVIC, J.; NIKOLOV, Z.; BOSKOV, Z. Some analytical aspects of enzyme degradation of starch and inulin into amlto- and fructooligosaccharides. **Die Nahrung**, v.30, p.171-176, 1986.

JANE, J. *et al.* Effect of amylopectin branch chain length and amylase content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v.76, n.5, p.629-637, 1999.

JANGCHUD, K.; PHIMOLSIRIPOL, Y.; HARUTHAITHANASAN, V. Physicochemical properties of sweet potato flour and starch as affected by blanching and processing. **Starch/Starke**, v.55, p.258-264, 2003.

KEARSLEY, M. W.; DZIEDZIC, S. Z. **Handbook of starch hydrolysis products and their derivatives.** Blackie Academic & Professional, Glasgow. 275p. 1995. ISBN 0751402699.

KEARSLEY, M.W.; TABIRI, J.N. The enzymic hydrolysis of starch containing crops. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v.12, n.4, p.199-202, 1979.

KENNEDY, J.F.; KNILL, C.J.; TAYLOR, D.W. Maltodextrins. In: KEARSLEY, M.W.; DZIEDZIC, S.Z. Blackie Academic & Professional, 1995. p.65-82.

KISER, D.L.; HAGY, R.L. Estimation of dextrose equivalent value of starch hydrolysates from liquid chromatographic profiles. In: Symposium on the Analysis of Food and Beverages, Liquid Chromatographic Analysis of Food and Beverages, 1979, New York. **Anais...** New York, 1979. p.363-378.

KOHYAMA, K.; NISHINARI, K. Cellulose derivatives effects on gelatinization and retrogradation of sweet potato starch. **Journal of Food Science**, v.57, n.1, p.128-131, 1992.

KRIEGER, K.M. *et al.* Thermal properties of corn starch extracted with different blending methods: micro blender and homogeneizer. **Cereal Chemistry**, v.74, n.5, p.553-555, 1997.

KUNTZ, L.A. Making the most of maltodextrins. **Food Product design**, v.8, p. 89-91, 1997.

LAPASIN, R.; PRICL, S. **Rheology of industrial polysaccharides: Theory and applications**. London: Blackie Academic & Professional. 1.ed., 1995, 620p.

LEONEL, M. *et al.* Avaliação de cultivares de batata doce como matéria-prima para extração de amido. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.7, n.1, p.47-55, 2004.

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

LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; JAQUEY, S. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce – um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n.3, p.343-345, 1998.

LEWIS, M.J. **Physical properties of foods and food processing systems**. Chichester: Ellis Horwood Ltd, 1.ed., 1987, 465p.

LI, S. T., *et al.* Starch from hull-less barley: V. In-vitro susceptibility of waxy, normal and high-amylose starches towards hydrolysis by α -amylases and amyloglucosidase. **Food Chemistry**, v.84, n.4, p. 621-632, 2004.

LIM, S.T.; KASEMSUWAN, T.; JANE, J.L. Characterization of phosphorus in starch by ^{31}P nuclear magnetic spectroscopy. **Cereal Chemistry**, v.71, p.468-472, 1994.

LINDEBOOM, N.; CHANG, P.R.; TYLER, R.T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. **Starch/Starke**, v.56, n.3-4, p. 89-99, 2004

LORET,C.; *et al.* Rheological characterization of the gelation behaviour of maltodextrina aqueous solutions. **Carbohydrate Polymers**, n.57, p.153-63, 2004.

LUMDUBWONG, N.; SEIB, P.A. Low- and medium-DE maltodextrins from waxy wheat starch: preparation and properties. **Starch/Starke**, v.53, p.605-615, 2001.

MA, *et al.* Enzymatic hydrolysis of corn starch for producing fat mimetics. **Journal of Food Engineering**, v.73, p.297-303, 2006.

MADAMABA, L.S.P.; BUSTRILLOS, A.R.; SAN PEDRO, E.L. Sweet potato starch; Physicochemical properties of whole starches. **Philipp. Agric.**, n.58, p.338-350, 1975.

MARCHAL, L.M; BEEFTINK, H.H.; TRAMPER, J. Towards a rotational design of commercial maltodextrins. **Food Sci. Technol.**, v.10, p.345-355 , 1999.

MASTERS, K. **Spray drying handbook**. 3.ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1979, 687p.

MCPHERSON, A.E.; SEIB, P.A. Preparation and properties of wheat and corn starch maltodextrins with a low dextrose equivalent. **Cereal Chemistry**, v.74, n.4, p.424-430, 1997.

MENDES,B.A. **Obtenção, caracterização e utilização de puba como matéria-prima na produção de etanol**. Campinas, 1992. 176p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

MESTRES, C.; MOUQUET, C. Principios físico-químicos de la viscosidad de almidones. In: Conferencia Internacional de Almidón. Quito, 1996. **Anais...** Quito, p.23-39, 1996.

MOORE, G.R.P.; *et al.* Cassava and corn starch in maltodextrina production. **Química Nova**, v.28, n.4. p.596-600, 2005.

MOORTHY, S.N.; RICKARD, J.E.; BLANSHARD, J.M.V. Effect of solvent extraction on the gelatinization properties of starch and flour of five cassava varieties. **Journal Sci. Food Agri.**, v.72, p.329-336, 1996.

MOORTHY, S.N.; RICKARD, J.E.; BLANSHARD, J.M.V. Influence of gelatinization characteristics of cassava starch and flour on the texture properties of some food products. In: International Meeting on Cassava Starch and Flour, 1994, Cali, Colombia. **Anais...Cali**.

MOREHOUSE, A.L.; MALZAKS, R.C.; DAY, J.T. **U.S. Patent 3.663.369**, Grain processing Co. 1972.

MORRIS, C.E. New applications for maltodextrina. **Food Eng.**, v.50, n.7, p.48-. 1984.

MORRIS, E.R. Polysaccharide rheology and in-mouth perception. In: STEPHEN, A.M. **Food Polysaccharides and their Application**. 1.ed. New York: Marcel Dekker, Inc, 1995. p.517-546.

MORRISON, W.R. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Foods World**, v.40, p.437-446, 1995.

NELSON, N. A photometric of the Somogy method for the determination of glucose. **Journal Biol. Chemistry**, n.153, p.375-380, 1944.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4**: Instrutions Manual. Warriewood. Austrália, 1998, 123p.

NODA, T.; TAKAHATA, Y.; NAGATA, T. Properties of sweet potato starches from different tissue zones. **Starch/Starke**, v.44, n.10, p.365-368, 1992.

NOVOZYME TERMAMYL® -Ficha técnica do produto. Disponível em: <<http://www.novozyme.com>. Acesso em: 23 mar. 2007.

PACHECO, F.E.P.; MEDINA, M.R.M. Starch extraction from *Xanthosona sagittifolium*. **Trop. Sci.**, v.32, p.203-206, 1992.

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

PERONI, F.H.G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, São Paulo.

PUMBLEY, R.A.; RICKARD, J.E. Post-harvest deterioration of cassava. **Tropical Science**, v.31, p.295-303, 1991.

QUEIROZ, A.J.M.; *et al.* Influência dos sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi. In: **Encontro sobre escoamento em meios porosos (ENEMP)**, XXIV. 1996, Uberlândia, MG.

RAJA, K.C.M.; *et al.* Material Characterization studies of maltodextrin sample for use of wall material. **Starch/Starke**, v.41, p.298-, 1989.

RAO, M.A.; ANANTHESWARAN, R.A. Rheology of fluid in food processing. **Food Technology**, Chicago, v.36, n.2, p.116-126, 1982.

RICKARD, J.E.; ASAOKA, M.; BLANSHARD, J.M.V. The physicochemical properties of cassava starch. **Tropical Science**, v.31, p.189-207, 1991.

RITSCHHEL, P.S.; *et al.* Catálogo de germoplasma de batata doce.I: Coleção mantida pela Embrapa Hortaliças. Brasília: Embrapa hortaliças, 1999, 47p.

ROBIN, J.P.; *et al.* A. Lintnerized starches. Gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. **Cereal Chemistry**, v. 51, p.389-, 1974.

RUIZ, F.S. **Estudo das variáveis envolvidas no processo de obtenção de farinhas pré-gelatinizadas de batata doce, por desidratação com rolos aquecidos (Double Drum Dryer)**. 1984. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Canpinas.

ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I.J.; TILMON, Y.A Scanning Electron Microscopy Study of microencapsulation. **Journal of Food Science**, Chicago, v.50, n.1, p.139-147, 1985.

SANDSTEDT, R.M.; *et al.* The digestibility of high-amylose corn starches compares to that of other starches the apparent effect of the gene on susceptibility to amylase action. **Cereal Chemistry**, v. 39, n.2. p.123-131, 1962.

SARMENTO, S.B.S. **Caracterização da fécula de mandioca (*manihot esculenta*) no período de colheita de cultivares de uso industrial**. 1997. 162 p. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

SCHENK, F.W.; HEBEDA, R.E. **Starch hydrolysis product: worldwide technology, production, and application**. New York: VCH Publishers, 1992. 650p.

SCHMIDT, K. *et al.* Carbohydrate or protein based fat mimicker effects on ice milk properties. **Journal of Food Science**, v. 58, n.4, p. 761, 1993.

SEBIO, L. **Desenvolvimento de plástico biodegradável a base de amido de milho e gelatina pelo processo de extrusão: Avaliação das propriedades mecânicas, térmicas e de barreira**. 2003. Tese para obtenção do título de doutor. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

SETSER, C.S.; RACETTE, W.L. Macromolecule replacers in food products. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v.32, n.3, p.275- , 1992.

SHEU, T.Y.; ROSENBERG, M. Microencapsulation by spray drying ethyl caprylate in whey protein and carbohydrate wall system. **Journal of Food Science**, v.60, n.1, p.98-, 1995.

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. Cultura da batata doce. In: CEREDA, M.P. (coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americano**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. v.2, cap.22, p.448-504. (Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. Embrapa, **Produção de Batata doce**. Disponível em:
http://www.cnph.embrapa.br/paginas/sistema_producao/cultivo_batata_doce/introducao.htm
Acesso em 05 nov. 2005.

SINGH, N.; *et al.* Morphological, thermal and rheology properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, p.219-231, 2003.

SLATTERY, C.J.; KAVAKLI, I.H.; OKITA, T.W. Engineering starch for increase quantity and quality. **Trends in Plant Science**, v.5, n.7, p.291-297, 2000.

SOARES, K.T.; MELO, A.S; MATIAS, E.C. **A cultura da batata doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)**. Emepa-pb (Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S.A). João Pessoa: Documento 41, 2002, 26p.

STORTZ, E.; STEFFENS, K. **Starch/Starke**, v. 56, p.1-, 2004.

SWINKELS, J.J.M. Composition and properties of commercial native starches. **Starch/Starke**, v.37, n.1, p.1-5, 1985.

TAKEDA, Y.; *et al.* Physicochemical properties of sweet potato starches. **Starch/Starke**, v.38, n.10, p.345-350, 1986.

TESTER, R.F. Starch: The polysaccharide fraction. In: FRAZIER, P.J.; RICHMAND, P.; DONALD, A.M. **Starch: Structure and Functionality**. London: Royal Society of Chemistry, 1997. p.163-171.

TESTER, R.F.; QI, X.; KARKALAS, X. Hydrolysis of native starches with amylases. **Animal Feed Science and Technology**, v.130, p.39-54, 2006.

THOMAS, D.J.; ATWELL, W.A. **Starches: Practical Guides for the Food Industry**. Minnesota: Eagan Press, 1999. 94p.

TIAN, S.J.; RICKARD, J.E.; BLANSHARD, J.M.V. Physicochemical properties of sweet potato starch. **Journal of Science and Food Agriculture**, v.57, p.459-491, 1991.

VORAGEN, A.G.J. Technology Aspects of Functional Food-related Carbohydrates in trends in **Food Science & Technology**, v.9, p.328-335, 1998.

WANG, Y.J.; WANG, L. Structures and properties of commercial maltodextrins from corn, potato, and rice starches. **Starch/Starke**, v.52, p.296-304, 2000.

WANG, Y.J.; WHITE, P. Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. **Cereal Chemistry**, v.71, p.263-268, 1994.

WHISTLER, R.L. **Methods in Carbohydrate Chemistry**, Academic Press, New York, 1964. p.28-29.

WHISTLER, R.L.; BeMILLER, J.N. Starch. In: WHISTLER, R.L.; BeMILLER, J.N. **Carbohydrate Chemistry for the Food Science**. AACC. St Paul: Eagan Press, 1997. p. 117-151.

WHISTLER, R.L.; DANIEL, J.R. Carboidratos. In: FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1993. p.81-156.

WURZBURG, O.B. **Modified starches: properties and uses**. Boca Raton: CRC Press Inc., 1986. 277p.

YANKOV, D.; *et al.* Study of optimum conditions and kinetics of starch hydrolysis by means of thermostable alpha-amylase. **Enzyme Microb. Technol.**, v.8, p.665-, 1986.

YOU, S.; IZYDORCZYK, M.S. Molecular characteristics of barley starches with variable amylase content. **Carbohydrate Polymers**, v.49, n.1, p.33-42, 2002.

YU, L.; CHRISTIE, G. Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v.46, n.2, p.179-184, 2001.

YUAN, R.C.; THOMPSON, D.B.; BOYER, C.D. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from three wx-containing genotypes in two inbred lines. **Cereal Chemistry**, v.70, p. 81-89, 1993.

ZOBEL, H.F. Molecules to granule: a comprehensive starch review. **Starch/Starke**, v.40, n.2, p.44-50, 1988b.

ZOBEL, H.F. Starch crystal transformations and their industrial importance. **Starch/Starke**, v.10, n.1, p.1-7, 1988a.

ZOBEL, H.F. X-ray analysis of starch granules. In: WHISTLER, R.L. **Methods in carbohydrate chemistry**. London: Academic Press, 1964. v.4. p.109-143.

ZOBEL, H.F.; YOUNG, S.N; ROCCA, L.A. Starch gelatinization: an X-ray diffraction study. **Cereal Chemistry**, v. 65, n.6. p.443-446, 1988c.