

Augusto Carlos Pola Júnior

**ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO POLVILHO  
AZEDO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Edna Regina Amante

Florianópolis  
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Pola Júnior, Augusto Carlos

Análise do processo de produção do polvilho azedo /  
Augusto Carlos Pola Júnior ; orientadora, Edna Regina  
Amante - Florianópolis, SC, 2013.

151 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação  
em  
Engenharia de Alimentos.

Inclui referências

1. Engenharia de Alimentos. 2. Polvilho azedo. 3. Amido  
de mandioca. 4. Processo de produção. I. Amante, Edna  
Regina. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. III.  
Título..

Augusto Carlos Pola Júnior

**ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO POLVILHO  
AZEDO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos

Florianópolis, 18 de junho de 2013.

---

Prof. João Borges Laurindo, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof.<sup>a</sup> Edna Regina Amante, Dr.<sup>a</sup>  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Ivo Mottin Demiate, Dr.  
Universidade Estadual de Ponta Grossa

---

Prof.<sup>a</sup> Carmen Maria Olivera Müller, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Estadual de Londrina

---

Prof. Bruno Augusto Mattar Carciofi, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Este trabalho é dedicado aos meus pais, Augusto e Carla, minha irmã, Ariel e aos professores e servidores do Departamento de Engenharia Química e de Alimentos e do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.



## **AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas contribuíram direta e indiretamente para que este trabalho pudesse ser realizado. Tenho muito a agradecê-los.

Louvor a Deus por toda a graça de vossa obra;

Agradeço aos meus pais, Augusto e Carla e à minha irmã Ariel pela confiança, apoio e incentivo desta caminhada;

À minha orientadora, Dra. Edna Regina Amante pela orientação;

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos por todo aprendizado e pela oportunidade dada para a realização deste trabalho;

Aos colegas do Laboratório de Tecnologia de Frutas e Hortaliças por toda parceria, colaboração e confiança;

À empresa Paranavaí Máquinas pela solícita contribuição a este trabalho;

Ao meu amigo Willian Alexandre Suguino pela amizade e ajuda que provém desde o primeiro semestre da graduação;

Aos polvilheiros do sul de Santa Catarina por toda ajuda que oferecem às pesquisas;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos;

Aos professores da banca examinadora, por aceitarem o convite da defesa.



*“Se a meta principal de um capitão fosse preservar seu barco, ele o conservaria no porto para sempre”*

Santo Tomás de Aquino



## RESUMO

O processo de produção de polvilho azedo assemelha-se ao processo de extração de amido de mandioca. Até a etapa de purificação do amido, ambos os processos podem coincidir. O polvilho azedo, contudo, possui a particularidade de necessitar de uma etapa de fermentação e de secagem ao sol para que sua principal característica, que é a capacidade de expansão, seja adquirida. Por mais avançada e tecnológica que seja a planta industrial, a fermentação e secagem ao sol ainda são realizadas de maneira artesanal. Este trabalho fez uma revisão bibliográfica a fim de sugerir, avaliar e descrever detalhes referentes à produção de polvilho azedo. Foi abordado o uso de água no processo, com proposta de reciclo e reuso dos resíduos líquidos gerados no processo e alternativas para uma maior economia. Através de uma estimativa do índice de trabalho de Bond, foi apontado que a mandioca pode ter uma relativa facilidade de ser desintegrada e que este parâmetro pode ser usado para auxiliar na melhoria tecnológica da desintegração. Uma revisão focada na etapa de fermentação indicou que o uso de inóculo pode diminuir o tempo de fermentação e que há um período ótimo em relação à expansão. Por último, foi avaliado o tempo de exposição ao sol que é necessário para que haja uma máxima expansão, os resultados indicaram que o tempo ótimo de exposição ao sol é influenciado pela fermentação.

**Palavras-chave:** Amido de mandioca. Polvilho azedo. Processo.



Augusto Carlos Pola Júnior. **Sour cassava starch production processing analysis**. Master Dissertation in Food Engineering, Federal University of Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, Brazil. 2013.

## **ABSTRACT**

The sour cassava starch production process is similar to the cassava starch processing. Through step purification of starch, both processes may coincide. The sour cassava starch, however, requires a fermentation and sun drying steps to its main feature, the ability of expansion is acquired. Even with the most advanced technological industrial plant, the fermentation and sun drying is still done in a traditional manner. This paper made a literature review to suggest, evaluate and describe details regarding the production of sour cassava starch. Was approached the use of water in the process, with proposed recycling and reuse of waste water generated in the process and alternatives for greater economy. Through Bond work index estimation, it was noted that cassava may has a relative ease to be disintegrated and that work index can be used for improving the disintegration process. A review focused on the fermentation step indicated that the inoculum can decrease the fermentation time and there is an optimal period in relation to expansion. Finally, the time of sun exposure required for maximum expansion was evaluated. The results indicated that the optimum time of sun exposure is influenced by the fermentation.

**Keywords:** Cassava starch. Sour cassava starch. Process.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conformação espacial da amilose.....	33
Figura 2 – Estrutura química da amilopectina.....	34
Figura 3 – Cadeias formadoras da molécula de amilopectina.....	35
Figura 4 – Organização radial da amilopectina dentro do grânulo.....	36
Figura 5 – Representação esquemática dos bloquetes.....	37
Figura 6 – Modelo de micela franjada para estrutura cristalina-amorfa de polímeros parcialmente cristalinos.....	38
Figura 7 – Calorimetria exploratória diferencial mostrando (a) $T_g$ para um material completamente amorfo, (b) $T_g$ e $T_m$ para um material parcialmente cristalino e (c) $T_d$ entre $T_g$ e $T_m$ para um material completamente amorfo, mas cristalizável.....	39
Figura 8 – Vias metabólicas a partir da sacarose em tecidos não-fotosintéticos.....	40
Figura 9 – Passos da biossíntese do amido.....	41
Figura 10 – Fotomicrografias de grânulos de amido de diferentes fontes botânicas. A – açafraão; B – batata-doce; C – batata; D – gengibre; E – mandioca; F – mandioquinha-salsa.....	45
Figura 11 – Perfil típico de temperatura e de curva de viscosidade da suspensão de amido em análise de RVA.....	48
Figura 12 – Calorimetria diferencial de varredura da aveia.....	50
Figura 13 – Microscopia eletrônica de varredura (2000x) de amidos de mandioca e polvilho azedo proveniente de diferentes regiões de Santa Catarina.....	55
Figura 14 – Isotermas de sorção de amido de diferentes fontes botânicas a 30 °C.....	56
Figura 15 – Fórmulas estruturais da linamarina e da lotaustralina.....	62
Figura 16 – Evolução da produção brasileira de amido de mandioca entre 1990 e 2011.....	63
Figura 17 – Regressão linear entre o conteúdo de ácido láctico e a acidez total das amostras de polvilho azedo.....	65
Figura 18 – Fluxograma do processo de produção do polvilho azedo sem reciclo de água.....	68
Figura 19 – Fluxograma de produção do polvilho azedo com reciclo no segundo estágio de extração.....	69
Figura 20 – Armazenamento das raízes de mandioca para destinar ao processo através de uma rosca sem fim.....	71
Figura 21 – Lavador-descascador de raízes de mandioca.....	72

Figura 22 – Tambor-peneira giratório e lavador-descascador de mandioca.....	73
Figura 23 – Esquema de um desintegrador de mandioca.....	74
Figura 24 – Desintegrador de mandioca e disco dentado.....	74
Figura 25 – Disco giratório para cevadeira na configuração de martelo. ....	75
Figura 26 – Esquema de uma peneira cônica rotativa horizontal.....	76
Figura 27 – Duas peneiras cônicas rotativas horizontais (GLs) em série. ....	77
Figura 28 – Microscopia eletrônica de varredura do bagaço da mandioca a 500x de aumento. ....	78
Figura 29 – Tanque de mistura vertical para extração de amido de mandioca.....	79
Figura 30 – Raspador-extrator para desintegração e extração de amido de mandioca. ....	80
Figura 31 – (A) - Foto de um modelo de <i>Dutch State Mines</i> (DSM); (B) - Detalhe da superfície de um DSM.....	81
Figura 32 – Esquema de funcionamento de um hidrociclone. ....	83
Figura 33 – Canal de sedimentação na forma de labirinto.....	84
Figura 34 – Tanque de fermentação do amido de mandioca.....	86
Figura 35 – Evolução da capacidade de expansão durante a fermentação do Polvilho Azedo com inóculo e sem inóculo.....	89
Figura 36 – Índice de expansão de biscoitos de polvilho em diferentes tempos de fermentação em tanque industrial, experimental e Bécker. .	90
Figura 37 – Índice de expansão de biscoitos de polvilho em diferentes tempos de fermentação em tanque industrial e tanque experimental com diferentes porcentagens de inóculos.....	91
Figura 38 – Evolução da expansão dos biscoitos de polvilho azedo em diferentes tempos de fermentação.....	92
Figura 39 – Índice de expansão do polvilho azedo em função do tempo de fermentação (h) e do volume de ácido láctico adicionado (mL/500g), com massa de inóculo fixada em 7,5%. ....	93
Figura 40 – Comparação entre o método instrumental e prático na avaliação da propriedade de expansão de polvilhos azedos provenientes de diferentes empresas de Minas Gerais. ....	94
Figura 41 – Jirasa (A) e plataformas móveis de abrigo (B) para secagem do polvilho azedo. ....	95
Figura 42 – Variação do rendimento de amido com relação água/mandioca desintegrada. ....	101
Figura 43 – Possíveis rotas de reuso e reciclo de líquidos no processo de produção de amido.....	105

Figura 44 – Diagrama de tensão-deformação para diferentes características de alimentos. ....	108
Figura 45 – Potência da operação por capacidade de operação. ....	113
Figura 46 – Influência da exposição ao sol na propriedade reológica do polvilho azedo fermentado por 33 dias. ....	117
Figura 47 – Cenário estimativo do mecanismo de modificação química do polvilho azedo. ....	119



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as estruturas da amilose e amilopectina.	34
Tabela 2 – Teor de amilose em amidos de diferentes fontes vegetais...	42
Tabela 3 – Forma e tamanho de grânulos de amido de tuberosas amiláceas.	44
Tabela 4 – Propriedades térmicas durante a retrogradação de amido de diferentes fontes botânicas.	51
Tabela 5 – Percentagem de amido danificado de diferentes cultivares de mandioca.	53
Tabela 6 – Umidade relativa das soluções saturadas de sais em diferentes temperaturas.	57
Tabela 7 – Índice de expansão e volume específico dos biscoitos elaborados a partir do amido fermentado de araruta, batata-baroa, batata inglesa, mandioca e polvilho azedo comercial.	59
Tabela 8 – Classificação do amido ou fécula de mandioca de acordo com a Instrução Normativa n° 23, de 14 de dezembro de 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.	60
Tabela 9 – Etapas de extração do amido de mandioca e sistemas utilizados de acordo com a escala industrial.	85
Tabela 10 – Plantas industriais processadoras de polvilho azedo.	98
Tabela 11 – Quantidade de água empregada para lavagem e descascamento de 1000 kg de mandiocas e percentagem de perda de amido no processo.	99
Tabela 12 – Quantidade de água adicionada nos processos de desintegração e extração e percentagem de perda de amido resultante destes processos.	100
Tabela 13 – Quantidade de água adicionada, resíduo líquido gerado e percentagem de perda de amido nos processos de centrifugação e sedimentação.	102
Tabela 14 – Quantidade total de água por 1000 kg de mandioca processada, relação água/amido produzido, percentagem de recuperação de amido e rendimento do processo.	103
Tabela 15 – Valores do parâmetro f em função das unidades usadas no modelo de Bond.	111
Tabela 16 – Potência e capacidade de operação de desintegradores de mandioca.	112
Tabela 17 – Expansão por tempo de secagem ao sol em fermentação tradicional por 61 dias sem inóculo.	123
Tabela 18 – Expansão por tempo de secagem ao sol em fermentação modificada de 74 dias sem inóculo.	124

Tabela 19 – Expansão por tempo de secagem ao sol em fermentação tradicional de 84 dias sem inóculo.....	125
Tabela 20 – Propriedades da pasta em fermentação tradicional de 61 dias sem inóculo em diferentes tempos de exposição ao sol.....	127
Tabela 21 – Propriedades da pasta em fermentação modificada de 74 dias sem inóculo em diferentes tempos de exposição ao sol.....	128
Tabela 22 – Propriedades da pasta em fermentação tradicional de 84 dias sem inóculo em diferentes tempos de exposição ao sol.....	129

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAM – Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca  
AOAC – *Association of Official Analytical Chemists*  
CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada  
DSC – Calorimetria exploratória diferencial  
DSM – *Dutch State Mines*  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
FAO – *Food and Agriculture Organization*  
GLs – Peneiras cônicas rotativas horizontais  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
RVA – *Rapid Visco Analyzer*  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina  
UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos



## NOMENCLATURA

- $A_{gel}$  - Fator pré-exponencial da equação de tipo Arrhenius ( $\text{min}^{-1}$ )  
 $c$  - Constante empírica de modelos para operações unitárias de redução de tamanho  
 $C$  - Concentração de amido ( $\text{g/L}$ )  
 $E$  - Energia por unidade de massa ( $\text{kJ/kg}$  ou  $\text{kWh/ton}$ )  
 $E_a$  - Energia de ativação ( $\text{J/mol}$ )  
 $f$  - Parâmetro de correlação entre a constante de Bond e o índice de trabalho de Bond ( $\text{m}^{1/2}$ )  
 $F$  - Força ( $\text{N}$ )  
 $k_{gel}$  - Constante de reação da cinética de gelatinização ( $\text{min}^{-1}$ )  
 $K_b$  - Constante de Bond ( $\text{kJ/kg}$  ou  $\text{kWh/ton}$ )  
 $K_k$  - Constante de Kick ( $\text{J/kg}$ )  
 $K_r$  - Constante de Rittinger ( $\text{J.m/kg}$ )  
 $IS$  - Índice de solubilização ( $\text{g}_{sobrenadante\ seco}/100\text{g}_{amido}$ )  
 $M_{amido}$  - Massa de amido em base seca ( $\text{g}$ )  
 $M_{sedimentado}$  - massa de amido sedimentado ( $\text{g}$ )  
 $M_{sob,seco}$  - massa de sobrenadante seco ( $\text{g}$ )  
 $n$  - Parâmetro empírico de modelos para operações unitárias de redução de tamanho  
 $PI$  - Poder de inchamento ( $\text{g}_{gel}/\text{g}_{amido}$ )  
 $R$  - Constante universal dos gases ( $\text{J/mol.K}$ )  
 $t$  - Tempo ( $\text{min}$  ou  $\text{s}$ )  
 $T$  - Temperatura ( $\text{K}$ )  
 $W_i$  - Índice de trabalho de Bond ( $\text{kJ/kg}$  ou  $\text{kWh/ton}$ )  
 $W_{min}$  - Trabalho mínimo ( $\text{J}$ )  
 $x$  - tamanho médio ( $\text{m}$ )  
 $x_1$  - tamanho médio inicial ( $\text{m}$ )  
 $x_2$  - tamanho médio final ( $\text{m}$ )

### Simbolos Gregos:

- $\alpha_{gel}$  - Fração de amido gelatinizado  
 $\tau$  - tempo de residência experimental ( $\text{min}$ )  
 $\delta$  - deformação ( $\text{m}$ )



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>31</b>
2.1 GERAL .....	31
2.2 ESPECÍFICOS .....	31
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>33</b>
3.1 AMIDO .....	33
3.2 BIOSÍNTESE DO AMIDO .....	39
3.3 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS AMIDOS .....	41
<b>3.3.1 Teor de amilose e amilopectina .....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.2 Tamanho e forma dos grânulos .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.3 Índice de solubilização e poder de inchamento .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.4 Gelatinização .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.5 Retrogradação .....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.6 Amido Danificado .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.7 Isoterma de sorção .....</b>	<b>55</b>
<b>3.3.8 Propriedade de expansão .....</b>	<b>57</b>
3.4 LEGISLAÇÃO .....	59
3.5 MANDIOCA .....	61
3.6 POLVILHO AZEDO .....	64
<b>4 REVISÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO POLVILHO AZEDO .....</b>	<b>67</b>
4.1 Lavagem e descascamento das raízes .....	71
4.2 Desintegração ou ralação da mandioca .....	73
4.3 Extração do amido e separação das fibras .....	76
4.4 Purificação do amido .....	82
4.5 Fermentação .....	86
<b>4.5.1 Análise do tempo de fermentação do polvilho azedo .....</b>	<b>87</b>
4.6 Secagem .....	95

4.7 USO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE POLVILHO AZEDO.....	97
<b>5.7.1 Lavagem e descasque.....</b>	<b>98</b>
<b>5.7.2 Desintegração, extração e purificação.....</b>	<b>100</b>
<b>5.7.3 Balanço geral do processo produtivo do polvilho azedo.....</b>	<b>103</b>
<b>5.7.4 Produção do polvilho azedo visando a minimização do consumo de água.....</b>	<b>104</b>
<b>5 ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE TRABALHO DE BOND .....</b>	<b>107</b>
<b>6 TEMPO DE SECAGEM AO SOL .....</b>	<b>117</b>
6.1 INTRODUÇÃO.....	117
6.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	120
<b>6.2.1 Procedimento experimental .....</b>	<b>120</b>
<b>6.2.2 Temperatura e umidade relativa .....</b>	<b>121</b>
<b>6.2.3 Umidade .....</b>	<b>121</b>
<b>6.2.4 Poder de expansão .....</b>	<b>121</b>
<b>6.2.5 Estatística .....</b>	<b>121</b>
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	122
6.4 CONCLUSÃO.....	132
<b>7 CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>133</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>135</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O polvilho azedo é um produto artesanal de origem brasileira e também produzido em outros países da América do Sul, tais como Argentina, Colômbia e Equador, onde é conhecido como *almidón agrío*. É um produto artesanal obtido pela fermentação natural do amido de mandioca seguido pela secagem ao sol (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

A principal propriedade funcional do polvilho azedo é a sua capacidade de expansão sem adição de agentes levedantes, motivo pelo qual é usado para a elaboração de biscoitos de polvilho e pão de queijo (CEREDA, 1983; PLATA-OVIEDO, 1998; MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007). Para que a propriedade de expansão seja adquirida, é necessário que os produtores realizem a fermentação e secagem ao sol do amido de mandioca.

Outra característica importante a ser ressaltada é que o polvilho azedo não contém glúten, podendo ser uma alternativa importante para consumidores celíacos. Contudo, este potencial não tem sido suficientemente valorizado (CEREDA; VILPOUX, 2003; PEREIRA et al., 2004).

O processo de produção do amido de mandioca, fermentado (polvilho azedo) ou não (fécula ou amido), consiste em lavar e descascar as raízes de mandioca, moagem das raízes descascadas para liberação dos grânulos de amido e separação dos grânulos das fibras (bagaço) e do material solúvel (água vegetal ou manipueira). Até a purificação do material solúvel, as etapas do processo de produção do polvilho azedo podem ser as mesmas empregadas no processo de produção do amido de mandioca. As etapas finais, fermentação e secagem ao sol, são responsáveis pelas diferenças entre o amido de mandioca e o polvilho azedo que é um amido modificado enzimática e quimicamente. (DINIZ, 2006; MARCON et al., 2009). A fermentação é feita em tanques de azulejo com 10 a 20 cm de água acima do amido depositado e a secagem é feita, principalmente, sobre jiraus com fina camada de polvilho.

Devido à característica artesanal das etapas de fermentação e secagem ao sol, pela sujeição a diversos fatores ambientais, o polvilho azedo comercial não apresenta regularidade ou padronização (CEREDA; VILPOUX, 2003; MARCON et al., 2009). Então, o desenvolvimento de controles e práticas adequados para a fermentação e secagem ao sol ajudariam a estabilizar e melhorar o valor econômico do

polvilho azedo, além de fortalecer este tipo de agroindústria (BRABET et al., 1996).

É interessante observar que existem empresas especializadas em instalação e manutenção de fecularias modernas, mas, por outro lado, a fermentação do amido para produção de polvilho azedo é realizada em simples tanques de azulejo, cujo procedimento comum é sua não limpeza a fim de aproveitar o inóculo da fermentação anterior. Em suma, indústrias modernas de amido contrastam com técnicas artesanais na produção de polvilho azedo.

O processo de obtenção do amido de mandioca – por conseguinte, parte do processo do polvilho azedo - foi evoluindo segundo os investimentos em pesquisa e desenvolvimento nesta área; sendo raros, artigos científicos que ilustrem com detalhes as etapas envolvidas no processo de modo didático tanto para o meio acadêmico quanto para os industriais.

Diante disso, este trabalho propõe realizar uma revisão sobre o processo de produção de polvilho azedo, esperando-se que ele possa contribuir de maneira a motivar estudos para empregos e/ou criação de técnicas que visem aumentar a produtividade e o rendimento do processo e padronizar o produto.

O melhoramento do processo pode abrir a possibilidade de conquistar mercados internacionais, em especial os mercados mais exigentes.

Para este desafio, entretanto, não se pode ignorar a complexidade da química do amido. Embora sob o aspecto da engenharia o processo ainda tenha muito a avançar, não é prudente que o aspecto da ciência do amido seja simplificado (DE OLIVEIRA, 2011).

Também não se pode ignorar que atualmente a legislação a respeito do polvilho azedo negligencia o seu mercado. Mesmo disponível na prateleira dos supermercados e vendido em feiras, o polvilho azedo não está definido no regulamento técnico nacional para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Ao contrário do amido de mandioca, não se encontram estatísticas e estimativas de produção nacional referente ao polvilho azedo.

Diante de tal panorama, este trabalho pretende, além de realizar uma revisão acerca da produção do polvilho azedo, realizar um breve resumo a respeito da química de amido, dos aspectos legais do polvilho azedo e das particularidades deste produto.

A proposta do trabalho é a realização de pesquisa na literatura a fim de detalhar as diferentes etapas específicas do processo como uma

perspectiva para avanços futuros para o setor produtivo do polvilho azedo.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Revisar o processo de produção do polvilho azedo.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Descrever as etapas de produção do polvilho azedo
- Analisar criticamente o uso de água no processo produtivo do polvilho azedo.
- Estimar o índice de trabalho de Bond da mandioca na produção do polvilho azedo.
- Estudar a influência do tempo de exposição ao sol na secagem do polvilho azedo.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

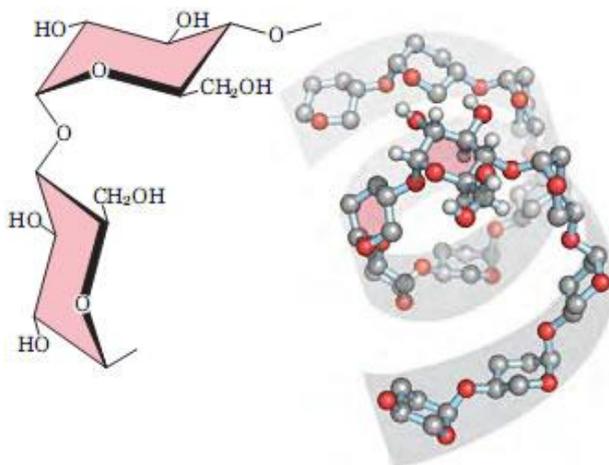
#### 3.1 AMIDO

O amido é o principal polissacarídeo de reserva energética das plantas superiores e está presente de forma abundante em sementes, raízes e tubérculos. Este polissacarídeo natural, diferentemente dos demais carboidratos, se apresenta na forma de grânulos semicristalinos (WHISTLER; DANIEL, 1993; TETCHI et al., 2007).

Quimicamente o amido é um polímero de  $\alpha$ -D-glicose composto por estruturas de amilose e amilopectina, ambas apresentam a fórmula geral de  $(C_6H_{10}O_5)_n$ .

A amilose é uma molécula essencialmente linear formada por unidades de  $\alpha$ -D-glicose unidas por ligações  $\alpha$ -(1,4). Embora alguns autores discordem a respeito de sua linearidade, está estabelecido que possua poucas ramificações, situando-se em torno de 0,3 a 0,5% do total das ligações (FRANCO et al., 2001; MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007). Mesmo interagindo nas partes amorfas do grânulo com a amilopectina, a amilose tende a conformar-se espacialmente em forma helicoidal (Figura 1).

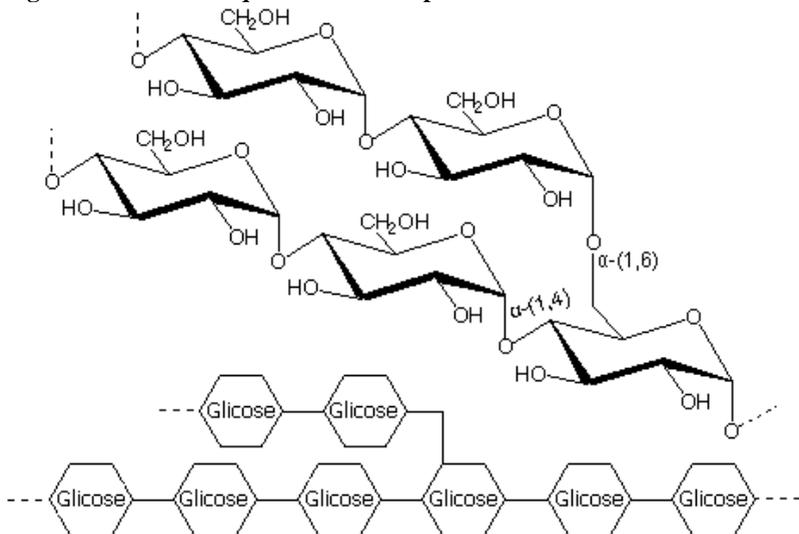
**Figura 1 – Conformação espacial da amilose.**



Fonte: Nelson e Cox (2008).

A amilopectina (Figura 2) é uma molécula altamente ramificada de unidades de  $\alpha$ -D-glicose unidas por ligações  $\alpha$ -(1,4) e com 4 a 6% de ligações  $\alpha$ -(1,6) que são responsáveis pela ramificação da estrutura (BULEÓN et al., 1998; FRANCO et al., 2001). A Tabela 1 ilustra a comparação das estruturas da amilose e amilopectina quanto à percentagem em peso e ramificação, massa molecular, grau de polimerização e comprimento da cadeia.

**Figura 2 – Estrutura química da amilopectina.**



Fonte: adaptado de Moyna (1999).

**Tabela 1 – Comparação entre as estruturas da amilose e amilopectina.**

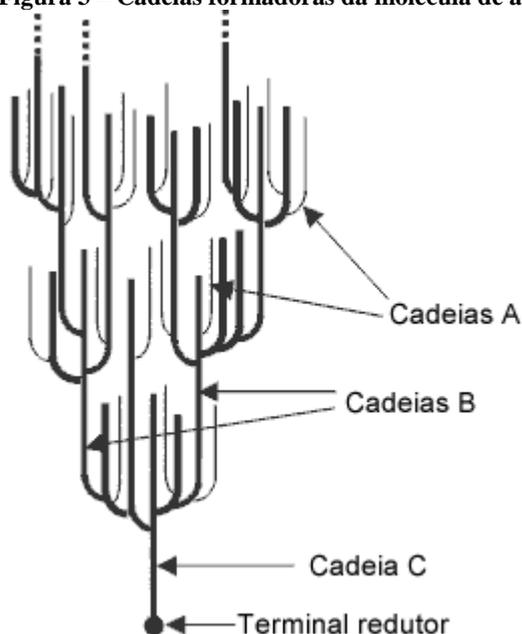
Característica	Amilose	Amilopectina
Percentagem em peso no grânulo	15-35%	65-85%
Percentagem de ramificação $\alpha$ -(1,6)	<1%	4-6%
Massa molecular (Da)	$10^4$ - $10^5$	$10^7$ - $10^8$
Grau de polimerização	$10^2$ - $10^3$	$10^3$ - $10^4$
Comprimento da cadeia (unidade)	3-1000	3-50

Fonte: Ball, Van de Wal e Visser (1998)

Uma molécula de amilopectina consiste de uma cadeia principal que contém o grupo redutor que é a origem das demais ramificações, chamada de cadeia C. As ramificações oriundas da cadeia C dão origem as cadeias A e cadeias B. As cadeias A estão ligadas a outras cadeias via

ligação  $\alpha$ -(1,6), mas não carregam ramificações. As cadeias B estão conectadas a outras cadeias via ligação  $\alpha$ -(1,6) e possuem uma ou mais cadeias A ou B (FRANCO et al., 2001). A estrutura das cadeias formadoras da amilopectina está representada pela Figura 3.

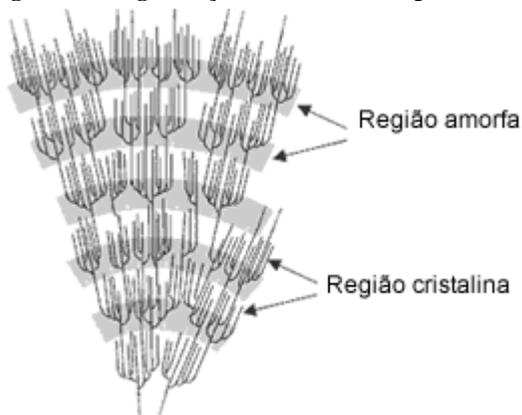
**Figura 3 – Cadeias formadoras da molécula de amilopectina.**



Fonte: adaptado de Donald (2004).

A partir do hilum (ponto inicial de formação), as cadeias de amilopectina são orientadas radialmente dentro do grânulo de amido. À medida que o raio do grânulo aumenta, maior é a quantidade de ramificações que são necessárias para preencher os espaços vazios, resultando na alternância entre regiões amorfas e cristalinas que são concêntricas (FRANCO et al., 2001; SOARES, 2003).

**Figura 4 – Organização radial da amilopectina dentro do grânulo.**

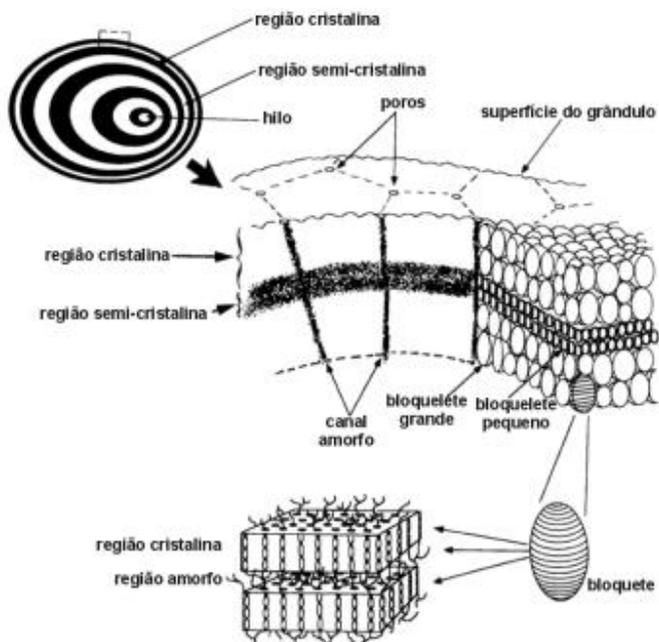


Fonte: adaptado de Franco et al. (2001).

A Figura 4 é uma representação do modelo de *cluster* (cachos). Cada cluster é composto por uma região amorfa, composta pelas cadeias de amilose e pelos pontos de ramificações da amilopectina, e por uma região cristalina, que é formada por segmentos curtos de cadeia da amilopectina que se interligam em dupla-hélice (SOUZA; ANDRADE, 2000; FRANCO et al. 2001).

Gallant et al. (1997) sugeriram que unidades repetidas de zonas amorfas e cristalinas estão organizadas dentro de *blocklets* (bloquetes), estruturas mais ou menos esféricas cujo diâmetro varia de 20 a 500 nm dependendo do tipo de amido e da sua localização no grânulo. A organização cristalina está relacionada ao tamanho do bloquete. Em regiões semi-cristalinas (menor organização cristalina) devido à interação com a amilose, os bloquetes seriam menores (20-50 nm) e menos resistentes à ação enzimática. A representação do modelo de bloquetes está apresentada na Figura 5.

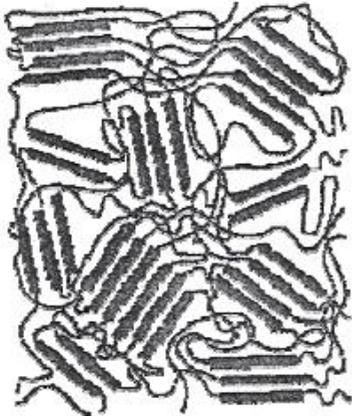
Figura 5 – Representação esquemática dos bloquetes.



Fonte: Gallant, Bouchet, Baldwin (1997).

A Figura 6 ilustra o modelo de micela franjada. Se o modelo de bloquetes auxilia na compreensão do comportamento do amido quanto à resistência enzimática, o modelo de micela franjada (*fringed micelle*) tem sido usado para auxiliar na descrição do comportamento do amido antes e depois do tratamento térmico. Este modelo descreve o amido como sendo composto de regiões microcristalinas unidas por ligações cruzadas com segmentos de cadeia flexível que formam a região amorfa (LAI; KOKINI, 1991; WHISTLER; DANIEL, 1997).

**Figura 6 – Modelo de micela franjada para estrutura cristalina-amorfa de polímeros parcialmente cristalinos.**



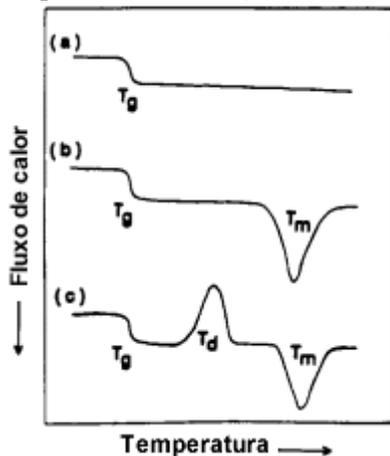
Fonte: Lai e Kikini (1991).

Sendo o amido um polímero semicristalino, há três transições possíveis de serem visualizadas pelo método de calorimetria exploratória diferencial<sup>1</sup>. Uma transição vítrea correspondente aos componentes amorfos, uma transição de fase dos componentes cristalinos e uma transição de cristalização dos componentes completamente amorfos, mas que são cristalizáveis (LAI; KOKINI, 1991). As características das transições estão mostradas na Figura 7.

---

<sup>1</sup> O método de calorimetria exploratória diferencial (DSC) foi abordado na seção 3.3.4.

**Figura 7 – Calorimetria exploratória diferencial mostrando (a)  $T_g$  para um material completamente amorfo, (b)  $T_g$  e  $T_m$  para um material parcialmente cristalino e (c)  $T_d$  entre  $T_g$  e  $T_m$  para um material completamente amorfo, mas cristalizável.**



Fonte: Lai e Kikini (1991).

### 3.2 BIOCÍNTese DO AMIDO

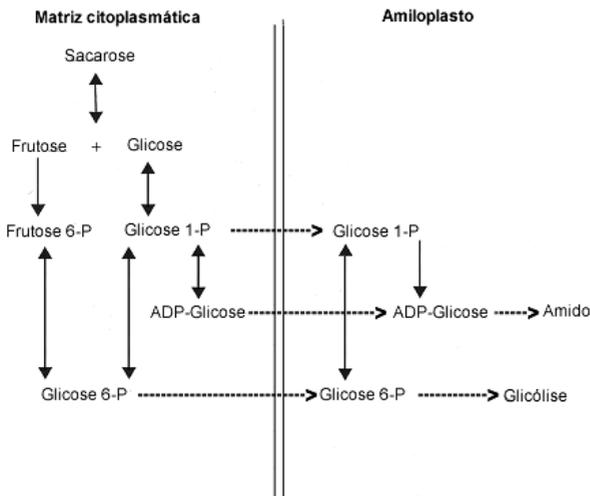
O amido é depositado na forma de grânulo em quase todas as plantas verdes e em vários tipos de tecidos e órgãos vegetais. Nas folhas, a iluminação pela luz contempla a formação de grânulos de amido na organela do cloroplasto. O acúmulo de amido é devido à fixação do carbono durante a fotossíntese, sendo degradado à noite, principalmente, pelo metabolismo para a síntese da sacarose (PREISS, 2004).

Em órgãos de estocagem, frutas ou sementes, a síntese de amido ocorre durante o desenvolvimento e maturação do tecido. A degradação do amido é iniciada no momento da germinação da semente ou raiz, ou do amadurecimento do fruto, com a finalidade de servir de fonte de carbono e energia. O principal local de síntese e acumulação de amido em cereais é o endosperma, com os grânulos de amidos localizados nos amiloplastos. O conteúdo de amido, em base seca, na batata, no endosperma do milho, na raiz de mandioca e na batata-doce encontra-se na faixa de 65 a 90% (PREISS, 2004).

A amilose e a amilopectina são sintetizadas a partir da ADP-glicose, que é formada pela reação da glicose-1-fosfato com ATP. Nos

cloroplastos, o ATP pode ser proveniente da fotossíntese, mas em tecidos não-fotossintéticos ele precisa ser transportando por um translocador de ADP/ATP. Conforme esquematizado na Figura 8, a glicose-1-fosfato pode ser importada diretamente da matriz citoplasmática ou sintetizada a partir da glicose-6-fosfato (MARTIN; SMITH, 1995).

**Figura 8 – Vias metabólicas a partir da sacarose em tecidos não-fotossintéticos.**

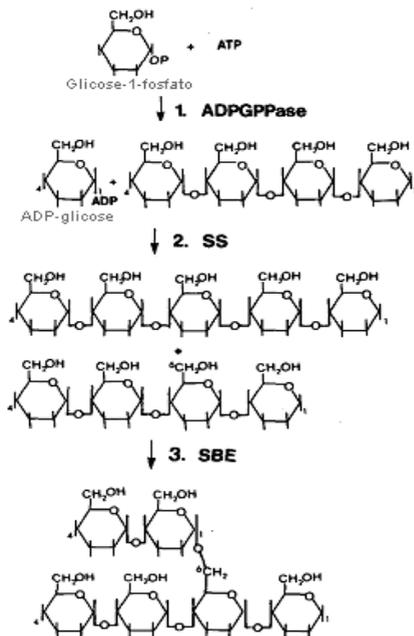


Fonte: adaptado de Preiss (2004).

Os passos necessários para a biossíntese do amido são relativamente simples e envolvem três classes de enzimas: *ADP-glicose pirofosforilase* (ADPGPase), amido sintetase (*SS-starch synthase*) e enzima ramificadora de amido (*SBE-starch branching enzyme*). A primeira é a principal reguladora da biossíntese do amido, pois é responsável por converter a glicose-1-fosfato em ADP-glicose. As últimas trabalham de maneira combinada para o estabelecimento da estrutura do amido. As SS catalisam a transferência de uma unidade de ADP-glicose para uma cadeia linear de glicose e as SBE são transglicosilases que primeiramente catalisam a hidrólise de uma ligação glicosídica  $\alpha$ -(1,4) de uma cadeia linear e, em seguida, transferem esta cadeia para o grupo hidroxílico do carbono 6, formando a ramificação

$\alpha$ -(1,6) (MARTIN; SMITH, 1995; FRANCO et al., 2001). As reações catalisadas por essas classes de enzimas podem ser vistas na Figura 9.

**Figura 9 – Passos da biossíntese do amido<sup>2</sup>.**



Fonte: adaptado de Martin e Smith (1995).

### 3.3 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS AMIDOS

Mesmo sendo este um trabalho de revisão voltado ao processo de produção do polvilho azedo, não é recomendável ignorar o

<sup>2</sup> Passo 1: ADPGPPases catalisam a formação de ADP-glicose e fosfato inorgânico a partir da glicose-1-fosfato e ATP. Passo 2: Amido sintetases (SS) adicionam as unidades de glicose provenientes da ADP-glicose para a extremidade não-redutora da crescente cadeia  $\alpha$ -(1,4) de glicose com a formação de uma nova ligação  $\alpha$ -(1,4) e liberação de ADP. Passo 3: Enzimas ramificadoras de amido (SBE) cortam uma ligação  $\alpha$ -(1,4) de uma cadeia de glicose e formam uma ligação  $\alpha$ -(1,6) entre o final redutor da cadeia cortada e o carbono 6 do outro resíduo de cadeia  $\alpha$ -(1,4) de glicose, criando uma ramificação.

conhecimento a respeito das características e propriedades do amido. Nas seções a seguir, algumas características e propriedades comuns serão abordadas.

### 3.3.1 Teor de amilose e amilopectina

As propriedades dos amidos estão, em grande parte, relacionadas à proporção de amilose e amilopectina e sua organização física na estrutura granular (AMANTE, 1986). Esta proporção varia de acordo com a fonte vegetal (Tabela 2) e com seu o grau de maturação (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

**Tabela 2 – Teor de amilose em amidos de diferentes fontes vegetais.**

<b>Fontes de Amido</b>	<b>Teor de amilose (%)</b>
Arroz Ceroso	0
Milho Ceroso	0
Milho	25
Arroz	16
Batata-doce	18
Mandioca	18
Batata	18
Banana	21
Trigo	24
Ervilha	30
Milho rico em amilose	80

Fonte: Bobbio e Bobbio (1995).

Estudos indicam, por exemplo, que a amilose está relacionada com a tendência à retrogradação. Amidos ricos em amilose costumam retrogradar com maior facilidade. A amilopectina, responsável pela estrutura do grânulo, está relacionada com o poder de inchamento e com a resistência à gelatinização (TESTER, 1997; JANE et al., 1999; SINGH et al., 2003; PERONI; ROCHA; FRANCO, 2006).

### **3.3.2 Tamanho e forma dos grânulos**

O tamanho e a forma dos grânulos, vistos através de microscopia eletrônica de varredura, são estudados em diversos trabalhos, evidenciando que as fontes botânicas são determinantes em relação a essas características (FRANCO et al., 2001). Leonel (2007) estudou a forma e o tamanho dos grânulos de amido de diferentes tuberosas (Tabela 3).

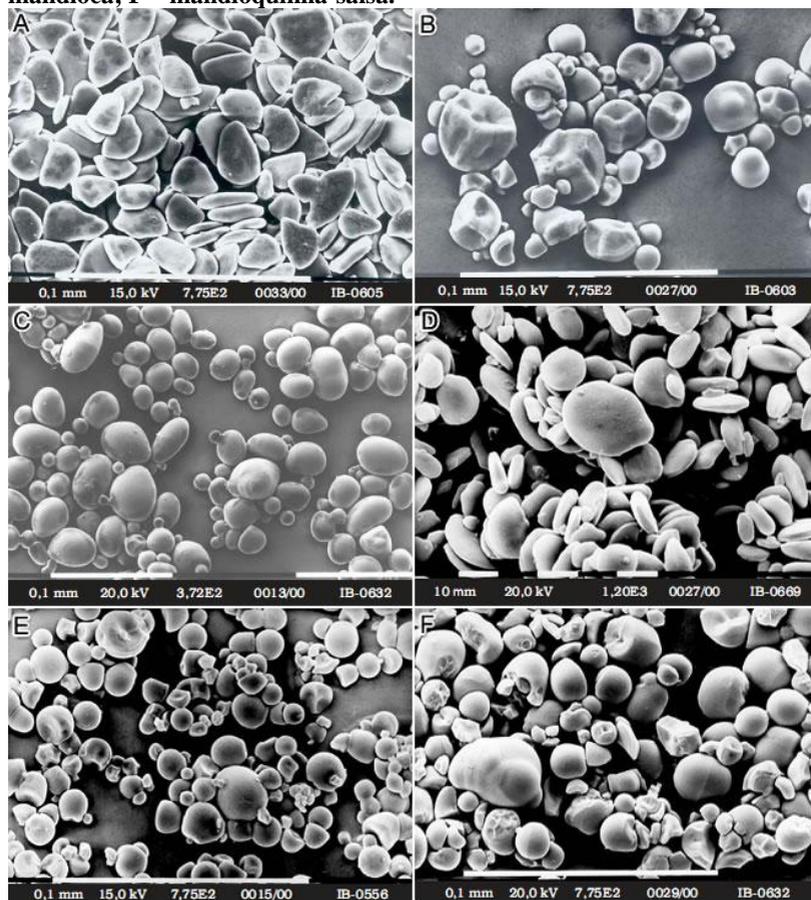
As fotomicrografias dos grânulos de amido do açafão, batata-doce, batata, gengibre, mandioca e mandioquinha-salsa do estudo de Leonel (2007) estão ilustradas na Figura 10.

**Tabela 3 – Forma e tamanho de grânulos de amido de tuberosas amiláceas.**

<b>Tuberosas</b>	<b>Formas</b>	<b>Diâmetro menor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Diâmetro maior (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Diferença de diâmetros (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
Açafrão	Triangular achatada	18,99	26,1	7,11
Ahipa	Circular, poliédrica	15,65	18,58	2,93
Araruta	Circular, oval	22,05	29,54	7,49
Batata-doce	Circular, poliédrica	16,1	19,4	3,3
Batata	Circular, oval	30,51	39,5	8,59
Biri	Oval achatada	43,06	59,61	16,55
Gengibre	Circular, oval achatada	14,47	17,78	3,31
Mandioca	Circular	14,39	17,1	2,7
Mandioquinha-salsa	Circular, poliédrica	16,63	20,68	3,85
Taioba	Circular, poliédrica	10,37	12,87	2,5
Zedoária	Triangular achatada	21,05	28,26	7,21

Fonte: Leonel (2007)

**Figura 10 – Fotomicrografias de grânulos de amido de diferentes fontes botânicas. A – açafrão; B – batata-doce; C – batata; D – gengibre; E – mandioca; F – mandioquinha-salsa.**



Fonte: Leonel (2007).

### 3.3.3 Índice de solubilização e poder de inchamento

Adicionando-se água fria para formação do sistema água-amido e deixando-o sob agitação, verifica-se a formação de uma suspensão de aspecto leitoso, chamada comumente de leite de amido. Ao deixar a suspensão em repouso, a fração de amido é sedimentada. Sabe-se que os grânulos possuem uma pequena capacidade de reter água fria, que causa

um pequeno inchamento reversível, contudo, o amido é considerado insolúvel em água fria (WHISTLER; DANIEL, 1993).

Aumentando a temperatura da suspensão, aumenta-se a capacidade de absorção de água fazendo com que parte da amilose deixe o grânulo, o que acarreta no aumento do índice de solubilização. A determinação do índice de solubilização é feita no sobrenadante após a centrifugação do gel de amido (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

O poder de inchamento é a medida da capacidade de hidratação dos grânulos de amido, sendo determinado através do peso do grânulo intumescido (inchado) e de sua água oclusa. Quando uma suspensão de amido é aquecida, inicialmente não se percebem mudanças. Ao atingir a temperatura de gelatinização, os grânulos começam a intumescer e a quantidade de regiões cristalinas diminui (diminuição da birrefringência). Quando a temperatura da suspensão ultrapassa o limite da faixa de gelatinização, as ligações de hidrogênio são rompidas e as moléculas de água ligam-se aos grupos hidroxilas liberados, fazendo com que o grânulo se expanda ainda mais. O intumescimento do grânulo resulta no aumento da solubilidade, claridade e viscosidade da pasta de amido (SINGH et al., 2003; DINIZ, 2006; MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007; DE OLIVEIRA, 2011).

Uma vez que o índice de solubilização e o poder de inchamento são propriedades diretamente dependentes da estrutura granular, a avaliação destas propriedades ajuda a estimar o tipo de organização presente no interior dos grânulos (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

A determinação do índice de solubilização e do poder de inchamento segue a mesma metodologia. As suspensões aquosas de amido são mantidas à temperatura constante para que gelatinizem. Após a gelatinização, as amostras são centrifugadas. O amido gelatinizado é sedimentado e o sobrenadante é o que contém a fração solubilizada. O sobrenadante é aquecido em estufa a 105°C até atingir peso constante. O índice de solubilização (IS) e o poder de inchamento (PI) podem então ser calculados, respectivamente, pelas Equações 1 e 2 (PERONI; ROCHA; FRANCO, 2006).

$$IS = \frac{M_{sob,seco}}{M_{amido}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

$$PI = \frac{M_{sedimentado}}{M_{Amido} (100 - IS)} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,  $M_{sob,seco}$  é a massa do sobrenadante seco,  $M_{amido}$  é a massa do amido e  $M_{sedimentado}$  é a massa do gel.

O poder de inchamento e o índice de solubilização de diferentes fontes de amido foram estudados por Peroni, Rocha e Franco (2006) em diferentes temperaturas, refletindo expressivas diferenças entre diferentes amidos, o que justifica a avaliação destes parâmetros em estudos de caracterização de amidos.

### 3.3.4 Gelatinização

Em contato com a água fria os grânulos de amido incham pouco, mas de modo reversível, pois através da secagem é possível retornar o grânulo ao seu tamanho original. Porém, com o aquecimento da suspensão os grânulos incham de modo irreversível. Este fenômeno é chamado de gelatinização (ZOBEL, 1984; JANE, 2009). Quando as moléculas de amido são aquecidas em excesso de água, a estrutura cristalina é desfeita, ocasionando a perda de birrefringência, e as moléculas de água formam ligações de hidrogênio entre a amilose e amilopectina (SINGH et al., 2003).

Durante o fenômeno da gelatinização, o grânulo de amido libera cadeias de amilose para o meio aquoso e os espaços vazios passam a ser ocupados pela água, ocorrendo o intumescimento do grânulo e o aumento da viscosidade da solução (DINIZ, 2006; MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007). O sistema passa então a ser formado por uma fase rica em amilose, que fica dispersa na solução, e por grânulos inchados e parcialmente desintegrados de amido, constituídos principalmente por cadeias de amilopectina. Os grânulos de amido irão intumescer até que a pressão osmótica gerada pelos grânulos seja igual a firmeza do gel que se forma (PARKER; RING, 2001).

A cinética de gelatinização<sup>3</sup> do amido de batata e de mandioca pode ser ajustada por um modelo cinético de reação de primeira ordem

---

<sup>3</sup> A cinética de gelatinização pode vir a ser útil em estudos futuros a respeito da propriedade de expansão (seção 3.3.8).

que é mostrado pelas Equações 3 e 4 (BELEIA; BURATELO; SILVA, 2006).

$$\ln(1 - \alpha_{gel}) = k_{gel} t \quad (\text{Equação 3})$$

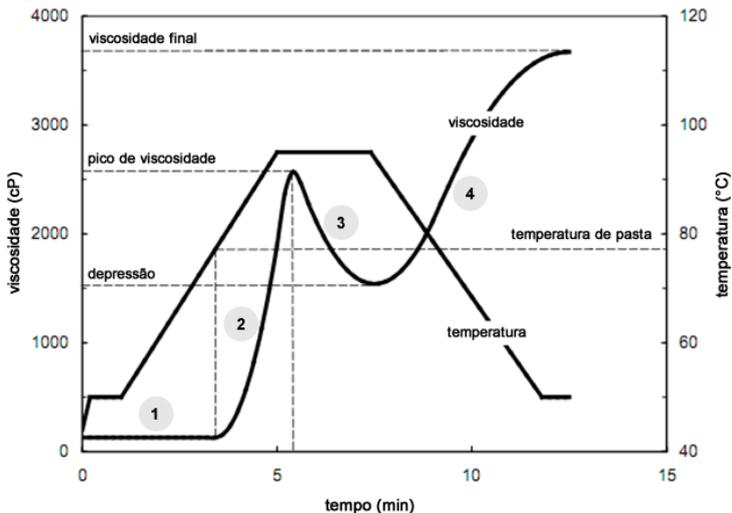
$$\ln k_{gel} = \ln A_{gel} - \frac{E_a}{R T} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde  $\alpha_{gel}$  é a fração de amido gelatinizado,  $k_{gel}$  é a constante de reação da cinética de gelatinização,  $t$  é o tempo,  $A_{gel}$  é o fator pré-exponencial da equação de tipo Arrhenius,  $E_a$  é a energia de ativação,  $R$  é a constante universal dos gases e  $T$  é a temperatura.

O aumento da viscosidade da suspensão durante a gelatinização do amido permite analisar curvas de viscosidade denominadas amilogramas (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007). Atualmente o *Rapid Visco Analyzer* (RVA) é o instrumento mais utilizado para construção das curvas de viscosidade. Em substituição ao viscoamilógrafo Brabender, o RVA possibilita a obtenção de resultados em menos tempo com menor quantidade de amostra, além de ter maior confiabilidade na repetibilidade dos resultados (DINIZ, 2006).

A Figura 11 ilustra uma curva típica de um amilograma e os parâmetros que são avaliados no processo.

**Figura 11 – Perfil típico de temperatura e de curva de viscosidade da suspensão de amido em análise de RVA.**



Fonte: Adaptado de Newport Scientific (2010).

As etapas indicadas na Figura 11 podem ser descritas como:

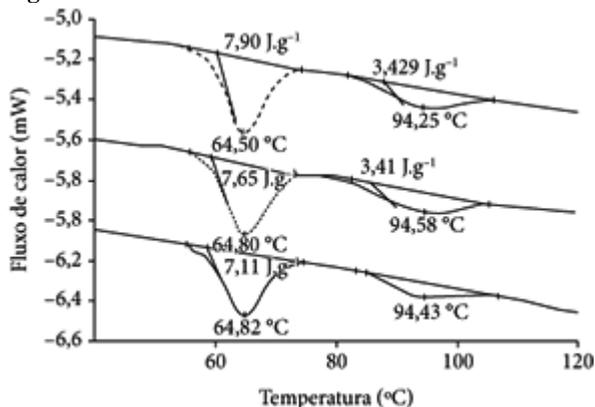
- Etapa um: há um breve período de pré-aquecimento, seguido de um aumento constante da temperatura. Enquanto a temperatura estiver abaixo da temperatura de pasta, a viscosidade da suspensão não sofre alterações significativas.
- Etapa dois: quando a temperatura ultrapassa a temperatura de gelatinização, os grânulos de amido começam a inchar. A força de cisalhamento causada pelos grânulos inchados comprime a pasta resultando no aumento da viscosidade. A temperatura na qual inicia o aumento de viscosidade é conhecida como temperatura de pasta ou temperatura inicial de pasta. O intumescimento generalizado dos grânulos de amido e a liberação de amilose ao meio aquoso causam um aumento rápido da viscosidade. O pico de viscosidade ocorre no ponto de equilíbrio entre o grânulo inchado e a amilose liberada, ocasionada no rompimento dos grânulos. A temperatura e o tempo correspondente ao pico de viscosidade são chamados de temperatura de pico e tempo de pico.
- Etapa três: a suspensão é mantida a temperatura e tensão de cisalhamento constantes. Os grânulos continuam rompendo enquanto as moléculas de amilose continuam sendo liberadas para a solução e se alinhando. Este período, para a maioria dos amidos, é acompanhado pela redução da viscosidade até atingir um valor mínimo conhecido como força de atração, viscosidade da pasta quente ou depressão. A diferença entre o pico de viscosidade e a depressão é conhecida como quebra.
- Etapa quatro: com o resfriamento da mistura, ocorre a re-associação entre as moléculas constituintes do amido, especialmente a amilose, ocasionando a formação de um gel. A viscosidade irá aumentar até se estabilizar na viscosidade final. A diferença entre a viscosidade final e a depressão é conhecida como *setback* (NEWPORT SCIENTIFIC, 2010).

A análise do fenômeno da gelatinização também pode ser realizada pelo método de calorimetria exploratória diferencial (DSC). O DSC fornece medidas quanto ao fluxo de calor associado à gelatinização que podem ser observados com a formação de picos, caracterizando as transições de primeira ordem. A área do pico é proporcional a entalpia

envolvida no processo (MARCON, 2009). Possui a vantagem de ser independente da birrefringência dos grânulos<sup>4</sup> e permite visualizar as ocasiões em que a birrefringência não é devida à amilopectina, por exemplo, em casos onde a organização molecular é devido à orientação da amilose com cadeias de lipídeos<sup>5</sup> (TESTER, 1997; GALDEANO et al., 2009).

Um termograma construído por calorimetria diferencial de varredura (DSC) está mostrado em triplicada na Figura 12. O primeiro e o segundo picos representam, respectivamente, a temperaturas de gelatinização e a temperatura de fusão do complexo amilose-lipídeo da aveia.

**Figura 12 – Calorimetria diferencial de varredura da aveia.**



Fonte: Galdeano et al. (2009)

É comum apresentar os resultados de DSC na forma de tabelas contendo os dados de temperatura inicial (início do pico), temperatura de pico (quando o fluxo é máximo ou mínimo), temperatura final (final do pico) e variação de entalpia de gelatinização.

<sup>4</sup> Quando visto microscopicamente sob luz polarizada em solução aquosa, o grânulo de amido, devido suas regiões cristalinas, refrata a luz polarizada (birrefringência). O método de DSC possui a vantagem de não precisar acompanhar a perda da birrefringência do grânulo para definição da temperatura de gelatinização.

<sup>5</sup> A amilose é comumente associada à parte amorfa do grânulo de amido, contudo, em algumas fontes amiláceas, ela pode formar zonas cristalinas em associação com cadeias de lipídeos.

### 3.3.5 Retrogradação

O resfriamento de uma suspensão gelatinizada de amido favorece a recristalização das cadeias de amilose e dos segmentos lineares de amilopectina. A retrogradação caracteriza-se pela associação de moléculas de amilose em estrutura de dupla-hélice, cujas ligações de hidrogênio são fortalecidas pela perda de energia (processo rápido) e pela recristalização das cadeias de amilopectinas suspensas através da interação com cadeias menores (processo mais lento). O resultado é a formação de um gel mais firme e opaco (AMANTE, 1986; PARKER; RING, 2001; SINGH et al., 2003).

A metodologia de análise consiste em gelatinizar suspensões de amido e armazená-la a 4-5 °C a fim de simular períodos de estocagem (SINGH et al., 2003; MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007). Análises por DSC também podem ser aplicadas à retrogradação (Tabela 4). Em comparação à gelatinização, verifica-se que geralmente a variação de entalpia e a temperatura de transição da retrogradação são menores devido à cristalinidade mais fraca<sup>6</sup> (SINGH et al., 2003).

Em amilogramas<sup>7</sup>, a tendência à retrogradação pode ser observada através do *setback*<sup>8</sup> (OLIVEIRA FILHO; MANCINI, 2009; DE OLIVEIRA, 2011).

**Tabela 4 – Propriedades térmicas durante a retrogradação de amido de diferentes fontes botânicas.**

Fonte	T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>ret</sub> (J/g)
Batata	42,5	55,7	66,9	7,5
Milho	39	50,1	59,4	5,8
Arroz	40,3	51	60,4	5,3
Trigo	38,6	47,6	55,2	3,6

<sup>6</sup> Segundo Singh et al. (2003), a resistência à gelatinização está relacionada com o grau de cristalinidade. Grânulos com maior cristalinidade são mais resistentes. A recristalização da suspensão gelatinizada (retrogradação) difere quanto ao grau de cristalinidade presente nos grânulos nativos de modo que as entalpias de retrogradação são 60-80% menores que as entalpias de gelatinização e as temperaturas de transição são 10-26 °C menores que as temperaturas de gelatinização.

<sup>7</sup> Os amilogramas podem ser obtidos por análise em RVA.

<sup>8</sup> Diferença entre a viscosidade final e a depressão.

Armazenamento a 4 °C por 7 dias.  $T_o$  – Temperatura inicial,  $T_p$  – Temperatura de pico,  $T_c$  – Temperatura final,  $\Delta H_{ret}$  – variação de entalpia de retrogradação. Fonte: Adaptado de Jane et al. (1999).

### 3.3.6 Amido Danificado

Os grânulos de amido podem ser danificados da sua forma ou configuração original devido a danos físicos de processos mecânicos, como por exemplo, processos de moagem. Danos mecânicos rompem a superfície do grânulo de amido produzindo rachaduras e fissuras.

Devido ao dano, o grânulo torna-se mais susceptível ao ataque enzimático. Grânulos danificados podem perder parcialmente ou completamente a cristalinidade. Também aumentam a capacidade de absorver água e corantes. Em um grânulo intacto, a entrada de água dá-se pela zona amorfa. O rompimento das regiões cristalinas permite que o acesso da água ocorra por todo o grânulo, aumentando a interação de hidrogênio entre a água e os grupos hidroxila possibilitando mudanças, de modo diferenciado, comparativamente ao amido nativo não danificado (AMANTE, 1986; MORRISON; TESTER, 1994).

Não existe método definitivo para indicar o nível de amido danificado. Todos os métodos são empíricos, já que a completa diferenciação entre os grânulos intactos e danificados é virtualmente impossível. Os métodos mais comuns utilizam a via enzimática, onde se avalia a susceptibilidade enzimática, contudo, métodos enzimáticos possuem a desvantagem de não ter um fim definido. Além disso, não é possível saber com exatidão quando a digestão dos grânulos danificados termina e quando as corrosões dos grânulos intactos começam (BAILEY, 1999).

O método enzimático consiste na digestão de suspensões de amido com  $\alpha$ -amilases e avaliação dos açúcares formados. O método mais clássico é o de Sandstedt e Mattern (1960) onde a percentagem de amido danificado é expressa através do percentual de maltose produzido. Atualmente existem *kits* como o da empresa *Megazyme* que corresponde ao método AACC 76-31. Nesta metodologia, promove-se a completa conversão das dextrinas oriundas da digestão do amido em glicose (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007; DE OLIVEIRA, 2011). Estudando diferentes cultivares de mandioca, de Oliveira (2011) encontrou significativas diferenças para a susceptibilidade enzimática entre amostras de amidos de mandioca (Tabela 5), indicando que esta propriedade pode interferir na aplicação do amido. Embora os amidos tenham sido extraídos em laboratório, o mesmo pode ser esperado para

o processo industrial. Observa-se que pode haver diferença no teor de amido danificado mesmo em amostras da mesma cultivar. Isso indica que além da fonte botânica, o processo de extração também influencia na degradação dos grânulos.

**Tabela 5 – Percentagem de amido danificado de diferentes cultivares de mandioca.**

<b>Cultivar</b>	<b>Amido danificado</b>
STS2/03-10 (A)	0,54 <sup>g</sup>
STS 2/03-10 (B)	0,32 <sup>d,e</sup>
SCS 252 - Jaguaruna (A)	0,21 <sup>a,b,c</sup>
SCS 252 - Jaguaruna (B)	0,61 <sup>g,h</sup>
Mandim Branca* (A)	0,32 <sup>d,e</sup>
Mandim Branca* (B)	0,15 <sup>a,b</sup>
Mandim Branca* (C)	0,14 <sup>a</sup>
STS 1302/96-3 - Vermelhinha* (A)	0,82 <sup>j</sup>
STS 1302/96-3 - Vermelhinha* (B)	0,37 <sup>e,f</sup>
STS 1302/96-3 - Vermelhinha** (C)	0,23 <sup>b,c</sup>
SCS 253 - Sangão* (A)	0,22 <sup>b,c</sup>
SCS 253 - Sangão* (B)	0,62 <sup>h,j</sup>
STS 253 - Sangão** (C)	0,33 <sup>d,e</sup>
STS 1311/96-1	0,32 <sup>d,e</sup>
STS 1302/96-4	0,26 <sup>c,d</sup>
Preta (A)	0,44 <sup>f</sup>
Preta (B)	0,69 <sup>i</sup>
STS 1309/96-7	0,38 <sup>e,f</sup>
STS 2/03-7	0,38 <sup>e,f</sup>

\*Amostra de cultivar de raiz de mandioca proveniente de Argissolo

\*\* Amostra de cultivar de raiz de mandioca proveniente de Neossolo Quartzarênico

(A), (B), (C) - lotes analisados.

Os valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: de Oliveira (2011).

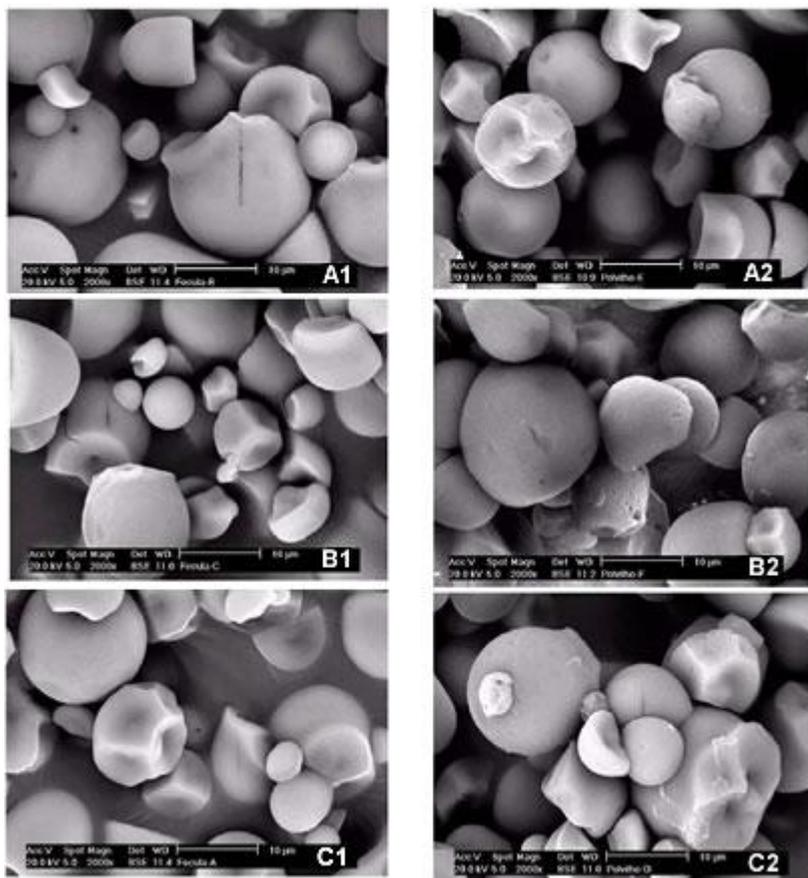
Os danos aos grânulos de amido também ocorrem na fermentação do amido de mandioca para produção de polvilho azedo (CÁDENAS;

BUCKLE, 1980; PEREIRA, 1994; AMPE; SIRVENT; ZAKHIA, 2001; MARCON et al., 2006). Em microscopia eletrônica de varredura, é possível visualizar pequenas perfurações nos grânulos em comparação com o amido nativo, indicando que ocorrem ataques enzimáticos durante o processo fermentativo (CÁDENAS; BUCKLE, 1980; AMPE; SIRVENT; ZAKHIA, 2001; MARCON et al., 2006). De acordo com Marcon et al. (2006), os danos aos grânulos durante a fermentação podem estar relacionados com a dimensão destes e a resistência ao ataque enzimático<sup>9</sup>. Na Figura 13 estão apresentadas as micrografias do amido de mandioca em comparação com o polvilho azedo proveniente de diferentes regiões de Santa Catarina.

---

<sup>9</sup> O estudo observou que a origem do amido de mandioca influenciou no comportamento das fermentações testadas.

**Figura 13 – Microscopia eletrônica de varredura (2000x) de amidos de mandioca e polvilho azedo proveniente de diferentes regiões de Santa Catarina.**



A1, B1 e C1 são, respectivamente, amidos de mandioca proveniente de Rio do Sul, Tubarão e Santa Rosa do Sul.

A2, B2 e C2 são, respectivamente, polvilho azedo de Rio do Sul, Tubarão e Santa Rosa do Sul.

Fonte: adaptado de Marcon et al. (2006).

### 3.3.7 Isoterma de sorção

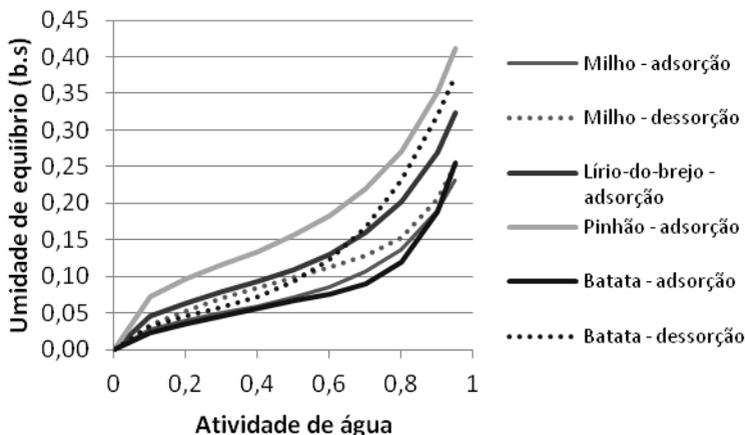
As isotermas de sorção representam a relação entre a umidade de equilíbrio do material e sua atividade de água em temperatura constante (MUJUMDAR, 2007). A umidade de equilíbrio de um material é

atingida quando a atividade de água é igual à pressão de vapor de água do ambiente em condições de baixa temperatura e pressão. Ou seja, esta condição de equilíbrio é alcançada quando a atividade de água do material se iguala à umidade relativa do ambiente (COULTATE, 2002).

O conhecimento e compreensão das isotermas de sorção são de grande importância para a resolução de problemas tais como: avaliação e caracterização das ligações de água, análise do calor de sorção, otimização de processamento (secagem, estocagem, etc.), estabilidade microbiana, física e química, entre outros (DITCHFIELD, 2000).

A Figura 14 apresenta isotermas de sorção de amidos de diferentes fontes botânicas para a temperatura de 30 °C. Em geral, amidos e produtos amiláceos possuem isotermas na forma sigmoideal, também conhecida como isoterma do tipo II, que é caracterizada por uma forte mudança de umidade em regiões de baixa e alta atividade de água, mas com mudanças atenuadas na região intermediária.

**Figura 14 – Isotermas de sorção de amido de diferentes fontes botânicas a 30 °C.**



Fontes: Milho – Peng et al. (2007); Lírio-do-Brejo – Ascheri et al. (2009); Pinhão – Muccillo (2009); Batata – Al-Muhtaseb, McMinn e Magee (2004).

A metodologia mais utilizada consiste na técnica gravimétrica em que amostras são acondicionadas em ambientes hermeticamente fechados com umidades relativas conhecidas e constantes até atingir peso constante. Para que a umidade relativa seja conhecida e constante, comumente são utilizados soluções saturadas de sais (LABUZA, 1984).

Na Tabela 6, encontram-se alguns sais que podem ser utilizados na metodologia com suas umidades relativas que variam de acordo com a temperatura.

**Tabela 6 – Umidade relativa das soluções saturadas de sais em diferentes temperaturas.**

Sal	Temperatura (°C)		
	20	30	40
LiCl	11,31 ± 0,31	11,28 ± 0,24	11,21 ± 0,21
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	33,07 ± 0,18	32,44 ± 0,14	31,60 ± 0,13
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	43,2 ± 0,3	43,2 ± 0,5	43,2 ± 0,5
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	54,38 ± 0,23	51,40 ± 0,24	48,42 ± 0,37
NaCl	75,47 ± 0,14	75,09 ± 0,11	74,68 ± 0,12
KCl	85,11 ± 0,29	83,62 ± 0,25	82,32 ± 0,25
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97,6 ± 0,5	97,0 ± 0,4	96,4 ± 0,4

Fonte: Lide (2009)

Existem duas maneiras de construir uma isoterma. A isoterma de adsorção é construída usando um material completamente seco e medindo o ganho de massa após atingir o equilíbrio nas diferentes atmosferas de umidade relativa. Já a isoterma de dessorção é feita de maneira contrária, colocando-se primeiramente o material umidificado e medindo a perda de massa após o equilíbrio. As curvas de isotermas de adsorção e dessorção geralmente não são coincidentes, fenômeno que é conhecido como histerese (PARK et al., 2008).

### 3.3.8 Propriedade de expansão

A capacidade de expansão representa a propriedade mais importante do amido fermentado de mandioca, conhecido como polvilho azedo, e tem sua análise voltada à aplicação na panificação. A avaliação desta propriedade é realizada através da elaboração de biscoitos e medição da expansão da massa que pode ser feita pela relação entre o diâmetro posterior e anterior ao assamento (índice de expansão) ou pela medição do volume específico do biscoito por deslocamento de painço (CEREDA, 1993; MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

A formulação de biscoitos de polvilho azedo foi estudada por Mendes da Silva, Façanha e Gomes da Silva (1998) na qual constataram

que a substituição do amido fermentado por diferentes percentagens de amido gelatinizado diminuiu a expansão dos biscoitos.

Em relação à propriedade de expansão, Maeda e Cereda (2001) propuseram, levando em consideração a metodologia prática de formulação de biscoitos, a seguinte classificação:

- Tipo A: polvilho com qualidade extra com índice de expansão ao forno superior a  $16,0 \text{ mL.g}^{-1}$ ;
- Tipo B: polvilhos de média qualidade e que apresentam índices de expansão entre  $12 \text{ mL/g}$  e  $16 \text{ mL.g}^{-1}$ ;
- Tipo C: polvilhos de qualidade inferior com índice de expansão ao forno inferior a  $12,0 \text{ mL.g}^{-1}$ .

A metodologia prática para formulação de biscoitos tem a vantagem de possuir baixo custo e ser de fácil realização. Ela consiste em misturar 50 g de polvilho com 40 mL de água fervente e moldar biscoitos de aproximadamente 10 g cada. Em seguida, leva-se ao forno a  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  por 25 minutos (MAEDA; CEREDA, 2001; MARCON; AVANCINI, AMANTE, 2007).

Apesar de vários estudos, ainda não existem correlações definidas a respeito da propriedade de expansão do amido fermentado de mandioca. Sabe-se que a formação dos ácidos orgânicos durante a fermentação, principalmente o ácido láctico, é fundamental, mas o mecanismo não está completamente elucidado. Marcon et al. (2009) sugeriram, como explicação para o mecanismo de expansão, a formação de dextrinas de diferentes graus de polimerização devido a hidrólise da amilose e amilopectina na fermentação do amido. Durante a secagem ao sol, as dextrinas se concentram nas regiões cristalinas, aumentando a cristalinidade dos grânulos. Durante o assamento, lembrando que há aplicação de água para a formulação do biscoito, a alta temperatura do forno propicia a formação de uma estrutura alveolar que é expandida devido à pressão dos gases retidos na rede polimérica.

O estudo de Plata-Oviedo (1998) evidenciou que, durante a secagem do amido em presença de radiação ultravioleta, ocorre uma modificação química do amido. Essa mudança poderia ser causada em decorrência da oxidação do amido pelos ácidos orgânicos formando amidos oxidados com a presença de grupos aldeídos. O estudo constatou que a extração dos ácidos orgânicos livres após a secagem não diminuiu a expansão do polvilho. Além disso, constatou que tornando o pH neutro a expansão diminuiu, mas que a recuperação do pH (que foi de 3,8 no estudo) restaurava a propriedade de expansão.

Além do amido fermentado de mandioca (polvilho azedo), a propriedade de expansão de outras fontes de amido foram avaliadas por Pereira et al. (1999), cujo resultado está apresentado na Tabela 7. Estes autores observaram que, exceto para batata inglesa, a formulação de biscoito pela fermentação natural dos amidos mostrou-se possível.

**Tabela 7 – Índice de expansão e volume específico dos biscoitos elaborados a partir do amido fermentado de araruta, batata-baroa, batata inglesa, mandioca e polvilho azedo comercial.**

<b>Biscoito</b>	<b>Índice de expansão</b>	<b>Volume específico (cm<sup>3</sup>/g)</b>
Araruta	1,55	4,85
Batata-baroa	1,45	5,5
Batata Inglesa	0,88	1,71
Mandioca	1,58	4,75
Polvilho Azedo Comercial	1,99	6,19

Fonte: Pereira et al. (1999)

O aumento da capacidade de expansão de amidos quimicamente oxidados com permanganato de potássio e tratados com ácido láctico evidenciam que a propriedade de expansão está ligada ao processo oxidativo (DEMIATE et al., 2000; TAKISAWA et al., 2004). Estudos com a aplicação de peróxido de hidrogênio e hipoclorito de sódio realizados por Dias et al. (2007) e Dias et al. (2011) obtiveram expansões próximas ao amido fermentado de mandioca.

### 3.4 LEGISLAÇÃO

A Resolução CNNPA nº12 de 1978 (BRASIL, 1978) fazia distinção entre amido e fécula. O primeiro sendo definido como o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais e a fécula como produto amiláceo extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais (tubérculos, raízes e rizomas). Esta resolução foi revogada pela Resolução de Diretoria Colegiada nº263, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005), os amidos estão definidos como sendo “produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes ou rizomas.” Mesmo tendo unificado a definição de amido, a resolução permite a designação de fécula para amidos extraídos de tubérculos, raízes e rizomas.

Diferentemente da resolução revogada, atualmente não há mais definição quanto ao termo polvilho<sup>10</sup>. Anteriormente o polvilho era definido como produto amiláceo extraído da mandioca e que de acordo com o teor de acidez podia ser classificado como polvilho doce (acidez máxima de 1mL NaOH 1mol.L<sup>-1</sup>/ 100g) ou azedo (acidez máxima de 5mL NaOH 1 mol.L<sup>-1</sup>/ 100g).

Sobre os requisitos específicos, a legislação atual determina uma umidade máxima de 18,0% para amido de mandioca (a resolução anterior estabelecia 14,0%). A Instrução Normativa n° 23, de 14 de dezembro de 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento classifica o amido ou fécula de mandioca em Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3 ou Fora de Tipo. Os limites para a classificação do amido de mandioca estão apresentados na Tabela 8. Caso não se enquadre nos limites da especificados, o amido será considerado Fora de Tipo.

**Tabela 8 – Classificação do amido ou fécula de mandioca de acordo com a Instrução Normativa n° 23, de 14 de dezembro de 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.**

<b>Tipos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Fator Ácido (mL)	4,00	4,50	5,00
pH	4,50 a 6,50	4,50 a 6,50	4,00 a 7,00
Amido %	> 84,00	> 82,00	> 80,00
Cinzas %	< 0,20	< 0,25	< 0,75
Vazamento %; Abertura (mm)	0,105 99,00	0,105 98,00	0,105 97,00
Temperatura de rompimento (°C)	> 58 < 66	> 58 < 66	> 58 < 66
Umidade %	14,00	14,00	14,00
Matérias estranhas ou impurezas %	Isento	Isento	Isento
Polpa (mL)	0,50	1,00	1,50
Odor	Peculiar	Peculiar	Peculiar

Fonte: Brasil (2005).

<sup>10</sup> Chama-se a atenção para a necessidade de mais estudos a respeito do polvilho azedo. Este foi um dos motivos que motivou a realização deste trabalho.

Na prática, embora a denominação polvilho não esteja representada na legislação, considera-se que tecnicamente o polvilho doce e fécula sejam o mesmo produto. Comercialmente, por outro lado, é comum a designação de polvilho doce para produtos obtidos por secagem solar mediante a um processamento mais artesanal. O polvilho azedo é obtido de maneira análoga ao polvilho doce, com a diferença de haver uma etapa de fermentação após a sedimentação (EMBRAPA, 2007).

### 3.5 MANDIOCA

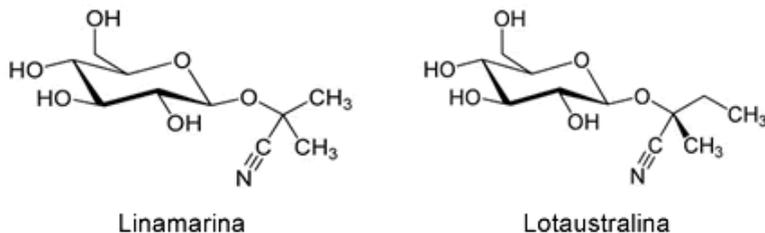
A mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) é uma planta que pertence à família *Euphorbiaceae*. É uma planta arbustiva, podendo atingir 5 metros de altura. É composta por uma parte aérea e uma subterrânea, formada por raízes tuberosas, que é a parte comestível. Cada planta pode ter de 5 a 20 raízes com comprimento que pode variar de 20 a 80 cm e diâmetro de 5 a 10 cm. O peso fresco de raiz pode variar de 0,1 a 5 kg (PANDEY et al., 2000).

A raiz de mandioca é rica em amido e tem como composição básica, aproximadamente, 50 a 70% de umidade, 15 a 30% de amido, 0,7 a 1,5% de proteínas; 0,4 a 1,06% de fibras e 0,6 a 0,9% de cinzas. A composição da raiz pode variar conforme condições ambientais, cultivar utilizado e a idade da planta (BUTOLO, 2002). Feniman (2004) constatou mudança de composição do cultivar IAC 576-70 em diferentes tempos de colheita. Na comparação entre 12 e 15 meses de colheita, foi constatado um acréscimo de amido (de 26,63 para 31,09%), uma diminuição dos carboidratos redutores (de 2,45 para 1,65%), um aumento das fibras totais (de 1,26 para 1,99%), permanecendo constante o teor de cinzas (0,78%), proteínas (0,70%) e lipídeos (0,12%).

A raiz de mandioca possui dois glicosídeos cianogênicos (Figura 15): a linamarina e a lotaustralina, este em menor quantidade. Sob a ação de enzimas presentes naturalmente na raiz ou oriundas de outras fontes, estes glicosídeos complexos podem gerar cianeto livre que com água formam ácido cianídrico, uma substância tóxica que pode inibir a atividade das enzimas da cadeia respiratória. Entretanto, o risco de envenenamento é baixo, pois durante o processamento industrial ou cozimento da raiz, ocorre a volatilização de grande parte do ácido cianídrico gerado (LIMA, 2001; CEREDA, 2005; PIYACHOMKWAN, 2005; CEREDA, 2007; MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007; BIAZOTTO, 2008; CHISTÉ et al., 2010). A Organização Mundial de

Saúde (OMS) especifica que os níveis de cianogênicos no amido devem ser menores do que 10 mg/kg (FAO/WHO, 1991).

**Figura 15 – Fórmulas estruturais da linamarina e da lotaustralina.**



Fonte: Duoc Lieu (2012).

Em função do teor de cianogênicos, os cultivares de mandioca são classificados como mansos ou bravos. Quando apresenta teor de cianogênio superior a 100 mg/kg, a mandioca é chamada de brava e se destina à indústria. Quando o teor é menor do que 100 mg/kg a mandioca é mansa e é destinada ao consumo culinário (CEREDA, 2005; CEREDA, 2007).

O Brasil figura entre os maiores produtores mundiais de raiz de mandioca. Em 2010, de acordo com a FAOSTAT, o Brasil foi o segundo maior produtor mundial com aproximadamente  $2,43 \times 10^7$  toneladas de raízes plantadas, sendo a Nigéria com  $3,75 \times 10^7$  toneladas, o maior produtor mundial.

Dados do IBGE (2012) mostram que na safra de 2011 o Brasil produziu aproximadamente  $2,53 \times 10^7$  toneladas de raiz e para a safra de 2012 estava estimado um aumento de 2,8%. Em relação ao rendimento, a mandioca apresenta um valor médio de aproximadamente 14,5 toneladas/hectare de área plantada. É um rendimento que se mostra inferior à batata-inglesa, com aproximadamente 26,4 ton/ha, mas superior ao arroz, aveia, milho e trigo com aproximadamente 4,8; 2,3; 4,2; 2,6 ton/ha, respectivamente.

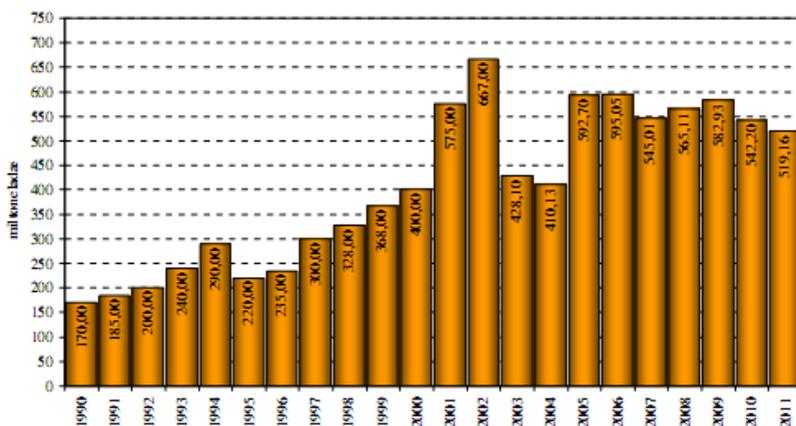
O processo de extração do amido das raízes de mandioca mostra-se vantajoso devido ao baixo conteúdo de gordura e de proteínas, com alto teor de amido que pode ser extraído com aplicação da água durante as etapas de desintegração e extração (LEONEL; JACKKEY; CEREDA, 1998; SINGH; ECKHOFF, 1998).

Segundo Alves e Felipe (2012), foram produzidos 519,16 mil toneladas de amido de mandioca no Brasil em 2011, sendo o estado do Paraná o maior produtor com a concentração de 70,5% da produção

nacional. O segundo maior produtor foi o Mato Grosso do Sul (17,1%) seguido de São Paulo (10,7%) e Santa Catarina (1,3%).

A evolução da produção do amido de mandioca está apresentada na Figura 16. Observa-se que a maior produção foi alcançada em 2002 (667 mil toneladas), seguido de queda nos dois anos posteriores (abaixo de 430 mil toneladas) e com relativa estabilização nos anos seguintes. Em 2011 obteve-se a menor produção em sete anos. De acordo com Alves e Felipe (2012), a estimativa para 2012 era que a produção nacional atingisse em torno de 535 mil toneladas<sup>11</sup>.

**Figura 16 – Evolução da produção brasileira de amido de mandioca entre 1990 e 2011.**



Fonte: Alves e Felipe (2012).

A maior produtora e exportadora mundial de amido de mandioca, usado como referência na produção de fécula, é a Tailândia. Este país emprega a mandioca somente para a industrialização. Em 2011, a Tailândia produziu 2500 mil toneladas de amido de mandioca, exportando 1500 mil toneladas. O Brasil, por outro lado, tem na mandioca uma importante fonte de alimentação *in natura* (FELIPE; ALVEZ; VIEIRA, 2013).

<sup>11</sup> Infelizmente, faltam estatísticas a respeito da produção de polvilho azedo. No entanto, uma vez que possui menor produtividade em relação ao amido de mandioca (decorrente das etapas de fermentação e secagem), a produção de polvilho azedo é provavelmente menor.

Segundo análise mensal da CEPEA de dezembro de 2011, o Brasil importou 19 mil toneladas de amido de mandioca e acumulou um déficit de 12,3 mil toneladas em 2011<sup>12</sup>.

### 3.6 POLVILHO AZEDO

O polvilho azedo é um produto artesanal de origem brasileira e também produzido em outros países da América do Sul, tais como Argentina, Colômbia e Equador, onde é conhecido como *almidón agrío*, sendo obtido pela fermentação natural do amido de mandioca seguido pela secagem ao sol (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

A principal propriedade funcional do polvilho azedo é a sua capacidade de expansão sem adição de agentes levedantes (fermento químico ou biológico), motivo pelo qual é fundamental para a confecção de biscoitos de polvilho e pão de queijo (CEREDA, 1983; PLATA-OVIEDO, 1998; MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007). Outra característica importante do polvilho azedo é a ausência de glúten, podendo ser uma alternativa importante para consumidores celíacos, mas que infelizmente ainda não é suficientemente valorizada (CEREDA; VILPOUX, 2003; PEREIRA et al., 2004).

Para que se obtenha a propriedade de expansão, o amido deve passar por uma fermentação e depois ser seco ao sol. Embora sejam mais eficientes, os processos de secagem artificial não resultam em um produto com a mesma capacidade de expansão. Observa-se que mais do que o calor, a radiação solar é responsável por esta propriedade (CEREDA, 1987; DINIZ, 2006).

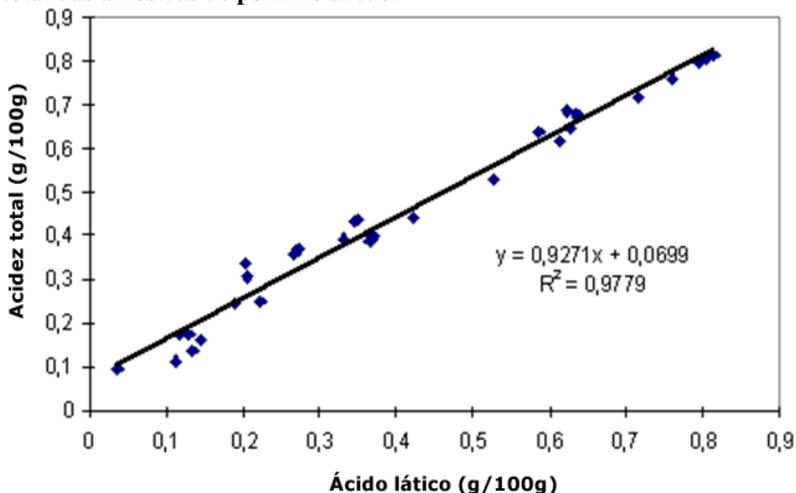
Referente à qualidade, a produção do polvilho mostra-se bastante heterogênea, sendo um dos desafios do setor a sua uniformização (CEREDA; VILPOUX, 2003). Demiate et al. (1999) analisaram 30 amostras procedentes de diferentes estados (Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais) e constataram diferenças na acidez e perfil de ácidos orgânicos (ácido láctico, acético, propiônico e butírico).

---

<sup>12</sup> Mesmo sendo um dos maiores produtores mundiais de mandioca, o Brasil é importador de amido de mandioca. Isso demonstra que o país está aquém da sua capacidade em questão de processamento de amido. No mercado, é comum ver amido de mandioca e polvilho azedo de uma mesma marca, indicando que os produtores de polvilho azedo também são, geralmente, produtores de fécula. Deste modo, para que o polvilho azedo possa futuramente atingir o mercado internacional, faz-se necessário investimentos em empreendedorismo e melhoria do processo.

Observaram também uma correlação linear entre a quantidade de ácido láctico e a acidez (Figura 17), indicando que este ácido é o principal componente da acidificação do amido.

**Figura 17 – Regressão linear entre o conteúdo de ácido láctico e a acidez total das amostras de polvilho azedo.**



Fonte: Demiate et al. (1999).

O polvilho azedo pode ser considerado um amido modificado por oxidação durante sua fermentação natural. O processo fermentativo é responsável por mudanças físico-químicas do grânulo tais como aumento da acidez, diminuição do pH, aumento do teor de proteína<sup>13</sup>, diminuição da entalpia de gelatinização, diminuição da viscosidade máxima e aumento da percentagem de amido danificado (CEREDA; GIAJ-LEVRA, 1987; PEREIRA, 1994; ASCHERI. VILELA, 1995; RIVERA, 1997; MARCON et al., 2009).

<sup>13</sup> O aumento do teor de proteína foi associado a bactérias fixadoras de nitrogênio presentes desde os primeiros dias de fermentação.



## 4 REVISÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO POLVILHO AZEDO

No processo de produção do amido de mandioca, fermentado ou não, qualquer que seja a técnica empregada, ela consiste em lavar e descascar as raízes, realizar a moagem para liberar os grânulos de amido e separá-los das fibras e do material solúvel. O processo está baseado nas propriedades básicas do amido, de insolubilidade em água fria e facilidade de sedimentação (CEREDA, 2005).

O processo de produção do polvilho azedo é similar ao do amido de mandioca. Mesmo que o processamento do amido no Brasil conte com grandes instalações industriais, o processo de obtenção do polvilho azedo ainda possui característica artesanal em decorrência das etapas de fermentação e secagem ao sol, necessárias para que se obtenha capacidade de expansão

De modo geral, as raízes são lavadas e descascadas, depois desintegradas para liberação dos grânulos de amido. A massa desintegrada é então destinada a extratores que são dispostos em série para que seja feita a separação do grânulo de amido da massa fibrosa (bagaço) mediante aplicação de água. Depois a suspensão de amido é purificada, sendo destinada em seguida para tanques de fermentação. Por último, é realizada a secagem ao sol.

É possível observar diferenças entre polvilharias quanto ao processo. Algumas podem adotar mais estágios de extração, não realizar a centrifugação do leite de amido antes da sedimentação, não fazer uso de reciclo, aplicando sempre água limpa, substituir a sedimentação por centrífugas, entre outros. Nas Figura 18 e Figura 19 estão apresentados dois fluxogramas que, embora mantenham a lógica do processo<sup>14</sup>, apresentam diferenças entre si.

---

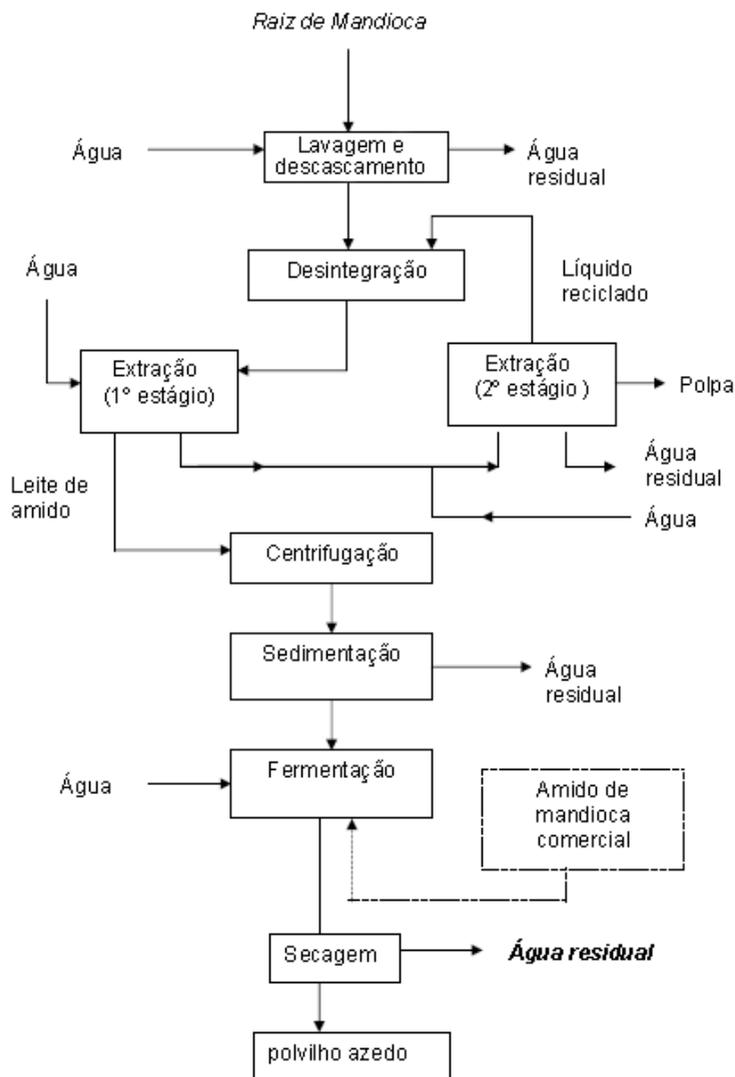
<sup>14</sup> Lavagem, descasque, desintegração, extração, purificação, fermentação e secagem.

Figura 18 – Fluxograma do processo de produção do polvilho azedo sem reciclo de água.



Fonte: modificado de Lima (2001).

**Figura 19 – Fluxograma de produção do polvilho azedo com reciclo no segundo estágio de extração.**



Fonte: adaptado de Marder et al. (1996) e Avancini (2007).

Vieira et al. (2002) classificaram o tamanho dos empreendimentos catarinenses segundo seu faturamento anual.

Corrigida a inflação do período de 2002 a 2012<sup>15</sup>, a pequena, média e grande empresa são as que faturam anualmente até R\$ 122.550,10, R\$ 546.417,69 e mais de R\$ 4.535.753,88, respectivamente.

A produção, seja do polvilho azedo ou do amido, deve levar em consideração as características da mandioca (*Manihot sculenta* Crantz). Esta matéria prima é uma raiz com cascas escuras cujas características dependem da cultivar. É importante conhecer as variedades mais produtivas - maior teor de amido e alto rendimento de extração - e que resultem em menos consumo de água e de menor geração de resíduo durante o processo (MAIEVES et al., 2011). A casca também deve ser avaliada, pois ela precisa ser completamente removida para que se evite a depreciação da qualidade do produto, como por exemplo, a alteração da cor (CEREDA, 1996).

Dufour e Alarcón (1998) recomendam que a construção de uma indústria seja feita de modo a poder aproveitar a topografia do terreno a fim de aproveitar a energia gravitacional durante o processo. Com uma diferença de 3,5 metros entre o ponto mais alto e mais baixo do terreno é possível planejar o processo visando o auxílio da gravidade. Em caso de terrenos planos, é sugerido que a operação de desintegração seja construída na altura necessária, sobre uma estrutura metálica, a fim de criar artificialmente um sistema de gravidade.

O início da produção de polvilho azedo dá-se pelo armazenamento das raízes de mandioca no silo para que sejam destinadas, através de uma rosca sem fim, ao processo (Figura 20). É importante evitar que as raízes de mandioca empregadas no processo industrial ultrapassem o período de 24 horas após a colheita, a fim de impedir que ocorra deterioração fisiológica e/ou microbiológica da matéria prima (GOMES; LEAL; 2003). Para tanto, as raízes devem ser processadas por ordem de chegada, necessitando de organização dos lotes que são descarregados (CEREDA; 2005).

---

<sup>15</sup> Correção realizada com a ferramenta Calculadora do Povo do Banco Central, disponível em <[www.bcb.gov.br](http://www.bcb.gov.br)>.

**Figura 20 – Armazenamento das raízes de mandioca para destinar ao processo através de uma rosca sem fim.**



Fonte: acervo do autor.

#### 4.1 LAVAGEM E DESCASCAMENTO DAS RAÍZES

A partir do silo de armazenamento, as raízes de mandioca são destinadas para primeira etapa do processo que consiste no descascamento e lavagem das raízes. Esta etapa geralmente é realizada em um mesmo equipamento denominado lavador-descascador. Ele possui a forma semi-cilíndrica, com pás giratórias e aspersão de água ao longo de seu comprimento (MARDER et al., 1996; VILPOUX, 2003). É pelo atrito entre as raízes e as pás de eixo, junto com a água adicionada ao processo, que as sujidades presentes e as cascas são retiradas (LIMA, 2001). A Figura 21 ilustra um lavador-descascador utilizado por feccularias.

**Figura 21 – Lavador-descascador de raízes de mandioca.**



Fonte: Paranaíba Máquinas Industriais LTDA (2011).

Na Tailândia, há uma pré- etapa de lavagem a seco que consiste em submeter as raízes de mandioca a um tambor-peneira giratório (*sand removal drum*) que, operando com baixa rotação, permite que terra, areia, pedaços de cascas quebrados e impurezas passem através da peneira (SRIROTH et al., 2000b). A Figura 22 ilustra a sequência de lavagem seca e úmida.

**Figura 22 – Tambor-peneira giratório e lavador-descascador de mandioca.**



Fonte: Breuninger, Piyachomkwan e Sriroth (2009)

A lavagem a seco facilita a recuperação da terra e de parte das cascas sem que sejam misturadas à água, ao contrário do que ocorreria em um descascamento úmido. No Brasil, quando a lavagem a seco é realizada, ela é incluída na primeira parte do lavador-descascador (VILPOUX; 2003). Segundo Lima (1982) citado por Cereda (2005), uma vez que o descascamento ocorre pelo atrito entre as raízes, é recomendável que metade do comprimento total do equipamento seja deixado seco para raízes cultivadas em solos arenosos. Caso as raízes sejam provenientes de solos argilosos, recomenda-se o uso de dois terços do comprimento para este fim.

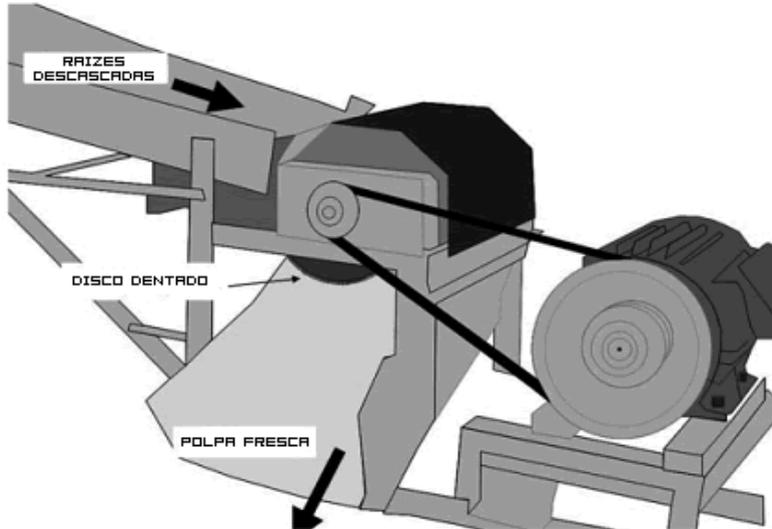
#### 4.2 DESINTEGRAÇÃO OU RALAÇÃO DA MANDIOCA

A desintegração é uma das principais etapas do processo. O objetivo é romper os tecidos das raízes para facilitar a liberação dos grânulos. Trata-se, portanto, de uma etapa que influencia no rendimento do processo (LEONEL; CEREDA, 2000; LIMA, 2001; VILPOUX, 2003; DA et al., 2008).

A operação de desintegração é realizada em um equipamento comumente conhecido como cevadeira. Trata-se de um equipamento

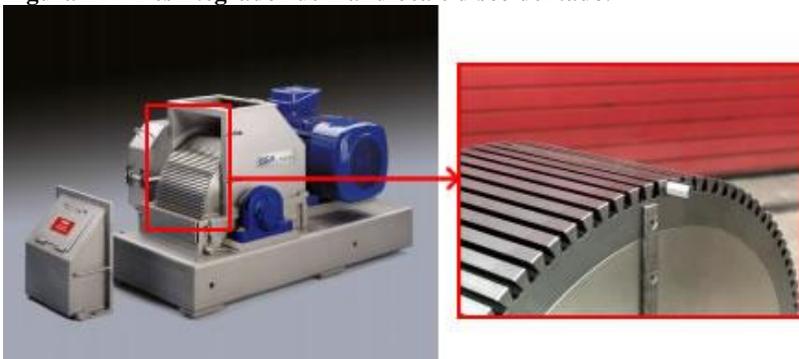
com disco giratório de alta rotação com lâminas cravadas na superfície, formando um raspador dentado (MARDER et al., 1996; SRIROTH et al., 2000b). O esquema do processo e a ilustração de uma cevadeira estão apresentados nas Figura 23 e Figura 24, respectivamente.

**Figura 23 – Esquema de um desintegrador de mandioca.**



Fonte: Da et al. (2008)

**Figura 24 – Desintegrador de mandioca e disco dentado.**



Fonte: GEA HOVEX (2008).

Outra conformação possível para o disco giratório da cevadeira é o formato de martelo, conforme está mostrado na Figura 25.

**Figura 25 – Disco giratório para cevadeira na configuração de martelo.**



Fonte: Paranaíba Máquinas Industriais LTDA (2011).

O contato direto das raízes contra a superfície rugosa e cortante do disco é responsável pelo rompimento das células do tecido das raízes com consequente liberação dos grânulos. Durante a desintegração, faz-se uso de aspersão de água para lavar os elementos cortantes e formar uma massa aquosa que facilita sua transferência para etapa seguinte do processo. Portanto, trata-se de processo por via úmida (DUFOR; ALÁRCON, 1998).

A energia necessária para romper as raízes é função da velocidade da superfície do giro do disco. É necessário que haja um mínimo de energia cinética para que se tenha alguma liberação de grânulo, esta liberação é conhecida como *rasping effect*<sup>16</sup>. Acima de uma certa rotação, entretanto, é esperado que não seja obtido aumento considerável do *rasping effect*. Há, então, uma velocidade ótima de operação de modo a se obter o maior *rasping effect* possível junto a uma economia de energia da operação (GRACE, 1977).

Segundo Vilpoux (2003), a eficiência da desintegração (*rasping effect*) depende de parâmetros como a velocidade de rotação, número de dentes por polegadas nas serras, espaçamento entre serras e o diâmetro dos furos da peneira de saída dos raladores, que variam de 1mm a 2mm.

Em instalações de grande capacidade, antes de submeter as raízes descascadas ao desintegrador, faz-se uso de um picador. Os picadores cortam as raízes de mandioca em pedaços de 3 a 5 cm, facilitando a

---

<sup>16</sup> O *rasping effect* representa a percentagem de grânulos liberados no processo de desintegração.

desintegração (SRIROTH et al., 2000b; VILPOUX, 2003; CEREDA, 2007; ARIEIRA et al., 2009).

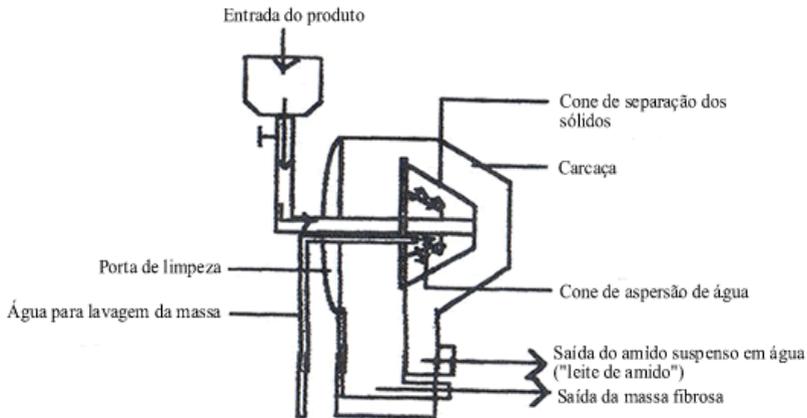
#### 4.3 EXTRAÇÃO DO AMIDO E SEPARAÇÃO DAS FIBRAS

Além da desintegração, o rendimento do processo depende da extração. O princípio desta etapa consiste em lavar a massa desintegrada para separar o amido da massa fibrosa. Durante esta separação, ocorre saída de uma suspensão branca de amido comumente chamada de leite de amido (MARDER et al., 1996; VILPOUX, 2003; CEREDA, 2007; KUCZMAN, 2007).

No Brasil, o extrator mais comum é a peneira cônica rotativa, também chamada de GL (oriunda das iniciais de Gustaf Larssen, criador do equipamento). Este extrator consiste, basicamente, de um cone rotativo provido de tela com crivos de 125 - 250  $\mu\text{m}$  de abertura. A massa desintegrada é então alimentada para o equipamento onde recebe jatos de água enquanto percorre a extensão do cone (CEREDA, 2005; KUCZMAN, 2007).

O esquema de uma GL está apresentado na Figura 26. Devido à injeção contínua e ao rápido movimento rotativo da GL, a massa é deslocada do fundo para fora. Enquanto isso, uma forte injeção de água por meio de um distribuidor coaxial lava intensamente esta massa. O leite de amido e a massa fibrosa são retirados tangencialmente (CEREDA, 2007). Na Figura 27, estão ilustradas duas GLs em série.

**Figura 26 – Esquema de uma peneira cônica rotativa horizontal.**



Fonte: Lima (2001).

**Figura 27 – Duas peneiras cônicas rotativas horizontais (GLs) em série.**



Fonte: acervo do autor.

A massa fibrosa pode ser encaminhada para outros extratores em série para extrair amidos ainda retidos. O leite de amido obtido passa para outra bateria de extratores com peneiras de 50 a 80  $\mu\text{m}$  para extrair mais amido e retirar mais fibras (LIMA, 2001; CEREDA; 2007). Algumas indústrias podem fazer uso de peneiras planas vibratórias de 63 - 106  $\mu\text{m}$  de abertura em associação com as GLs a fim de separar as fibras que não foram retiradas pelas GLs (SRIROTH et al., 2000b; LIMA, 2001). Diniz (2006) verificou que quanto maior a bateria de extração, maior a pureza do amido obtido.

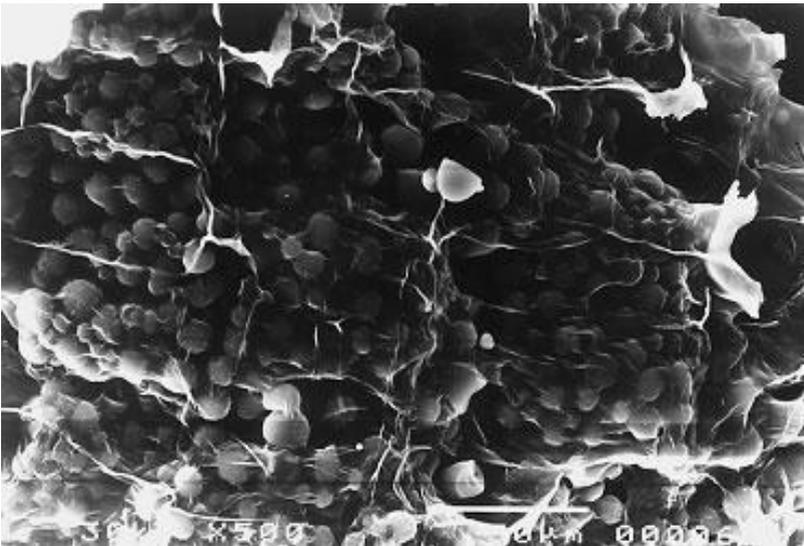
Resíduo sólido da etapa da extração, a massa fibrosa também pode ser reportada na literatura como bagaço, farelo ou polpa. Referente à sua composição, Sriroth et al. (2000a) encontraram teores de 68,89% de amido (base seca), 27,75% de fibras (base seca) e umidade de 72,00%. Leonel e Cereda (2000) obtiveram resultados que remetem a um processo que foi menos eficiente com 83,06% de amido (base seca), 11,76% (base seca) de fibras e umidade de 81,28%.

A alta fração de amido do bagaço indica que a extração de amido da raiz não é completa. Isso ocorre devido ao fato de grânulos estarem ligados ao tecido fibroso. Nas células vegetais, as paredes celulares consistem de uma microestrutura composta de celulose que está incorporada em uma matriz proteica e polissacarídica cercada por uma

camada externa composta principalmente de material pectico. Grânulos que estão contidos nesta complexa matriz polimérica são de difícil liberação (SRIROTH et al., 2000a; JOHN, 2009).

Na Figura 28, é possível visualizar os grânulos de amido que retidos no bagaço. Teoricamente, uma desintegração mais fina resultaria no aumento de rendimento do processo industrial, entretanto Leonel e Cereda (2000) relataram que esta alternativa já foi testada por algumas indústrias, mas não foram verificados efeitos significativos no rendimento. Resultado semelhante também foi observado por Da et al. (2008). Esta suposta contradição pode ser explicada pela observação de que a desintegração mais fina liberou grânulos de baixa densidade, podendo ser notado pelo maior teor de sólidos obtido na água residual (manipueira) da sedimentação.

**Figura 28 – Microscopia eletrônica de varredura do bagaço da mandioca a 500x de aumento.**



Fonte: Sriroth et al. (2000a).

O uso de soluções para aumentar a eficiência da extração foi abordado por Leonel e Cereda (2000). Soluções de NaOH 0,2% v/v, solução água-álcool 10% v/v e solução água-Tween 80 0,002% v/v foram testadas. O estudo constatou que não houve aumento no rendimento da extração. Foi observado, contudo, que uma nova extração

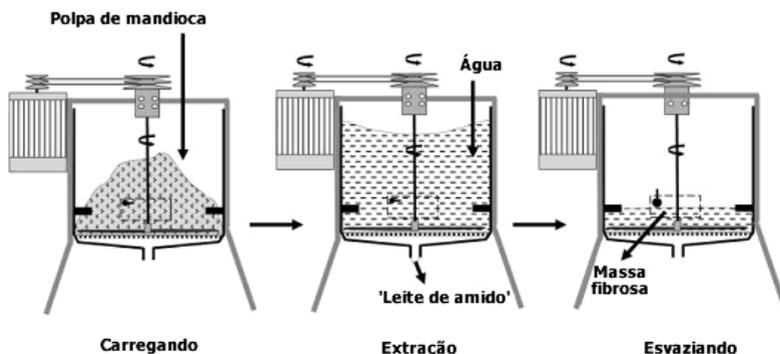
com o bagaço resultaria em uma redução de aproximadamente 20% do amido retido neste resíduo.

A justificativa para a retenção de amido em presença de solução alcalina pode ser atribuída ao efeito do alto pH sobre a estrutura da celulose e hemicelulose e também do amido, o que reforça ainda mais a ligação e a retenção do amido nesta estrutura.

Outro modelo de extratores são os tanques de mistura verticais. Eles são empregados em indústrias da Tailândia e do Vietnã (SRIROTH et al., 2000b; DA et al., 2008; DA et al., 2010). Esses extratores são centrífugas verticais de mistura com uma peneira aplicada ao fundo, seu funcionamento está esquematizado na Figura 29.

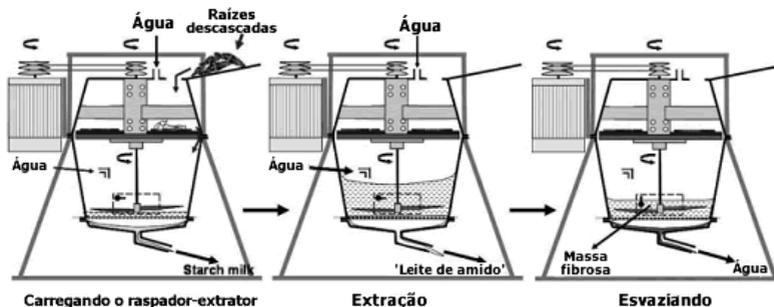
Algumas feccularias fazem uso de um equipamento denominado raspador/extrator (Figura 30). Trata-se de um moedor acoplado na parte superior de um tanque de mistura vertical. As raízes descascadas são alimentadas verticalmente do topo sendo desintegradas por um disco horizontal serrado com pequenos arames. Por conta do mesmo eixo vertical que prende os discos cortantes e as pás de mistura, a operação de desintegração e extração podem ocorrer simultaneamente no mesmo equipamento a cada batelada (DA et al., 2008).

**Figura 29 – Tanque de mistura vertical para extração de amido de mandioca.**



Fonte: Da et al. (2008).

**Figura 30 – Raspador-extrator para desintegração e extração de amido de mandioca.**



Fonte: Da et al. (2008).

Da et al. (2010) aplicaram o modelo de reator de mistura perfeita (CSTR) em série para modelagem da etapa de extração no extrator de tanque de mistura vertical e no raspador-extrator. O modelo está apresentado na Equação 5<sup>17</sup>. A variável  $C$  representa a concentração de amido (g/L),  $i$  indica o estágio da extração,  $t$  é o tempo (min), e o parâmetro  $\tau$  (min), obtido por ajuste, possui relação teórica com o tempo de residência.

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{1}{\tau} (C_{i-1}(t) - C_i) \quad (\text{Equação 5})$$

Em um sistema de mistura perfeita,  $\tau$  é calculado pela razão do volume do tanque com a vazão de alimentação, sendo chamado de tempo de residência. Com o ajuste do modelo da Equação 5 aos dados experimentais, Da et al. (2010) encontraram, para ambos os tipos de extratores, valores diferentes para  $\tau$ , que indica, segundo a teoria de misturas não ideais, a presença de zonas mortas<sup>18</sup>.

Outro tipo de extrator, denominado *brush-and-screen*, foi reportado por Marder et al. (1996). O equipamento consiste de uma superfície perfurada semicircular fixa, com um eixo rotacional

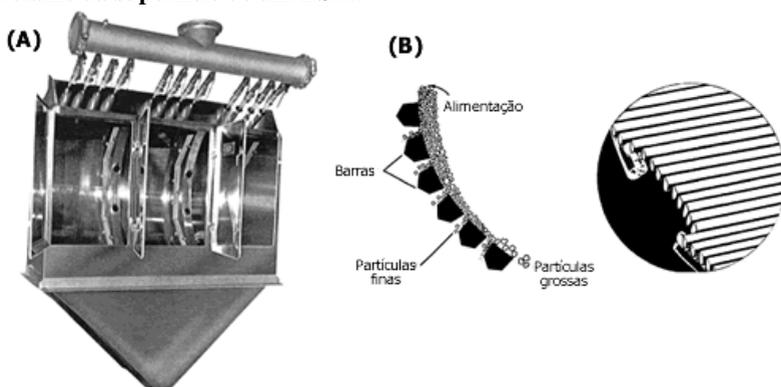
<sup>17</sup> Estudos visando a modelagem matemática do processo de extração podem contribuir para a otimização do processo em termos de melhoria do rendimento e consumo de água. Na seção 4.7 deste trabalho, o uso de água pela indústria será abordado.

<sup>18</sup> Uma vez que a densidade da massa fibrosa é maior que a suspensão de amido, é esperado, dado o movimento de rotação do extrator, que a primeira se concentre principalmente na extremidade interna do equipamento.

centralmente montado pelo qual estão fixadas escovas plásticas espaçadas em 90 mm ao longo do eixo.

Chavalparit e Ongwadee (2009) recomendaram o uso de *Dutch State Mines* (DSM) para extração de amido de mandioca. O DSM (Figura 31) consiste em um sistema de tela fixa de formato côncavo que é composto por barras dispostas de maneira a formar fendas de comprimentos que podem variar de 50 a 150  $\mu\text{m}$ , dependendo do grau da concavidade (ANDERSON, 1970; ECKHOFF; WATSON, 2009).

**Figura 31 – (A) - Foto de um modelo de *Dutch State Mines* (DSM); (B) - Detalhe da superfície de um DSM.**



Fonte: Eckhoff e Watson (2009).

O sistema do DSM faz uso de uma bomba de alta pressão para filtrar as fibras presentes na massa da mandioca desintegrada. A mistura filtrada é então armazenada em um recipiente antes de ser destinada para extração ou etapa posterior. Este tipo de extrator é altamente eficiente em termos de consumo de água, pois não necessita de adição. Também se consome menos energia, uma vez que não faz uso de movimentos rotatórios (CHAVALPARIT; ONGWADEE, 2009).

De acordo com o estudo de Chavalparit e Ongwadee (2009), a perda de amido de uma fecularia foi reduzida para 2,5 kg de amido por tonelada de mandioca ao substituir quatro extratores de tanque de mistura vertical por um conjunto de duas DSM. Analisaram também que

devido às vantagens deste equipamento, a indústria obteve o *payback* em cinco meses<sup>19</sup>.

#### 4.4 PURIFICAÇÃO DO AMIDO

Uma vez extraído, o leite de amido ainda carrega muita impureza, principalmente na forma de microfibras, proteínas e gorduras, sendo necessária a purificação desta suspensão. A centrifugação é então empregada com objetivo de purificar a suspensão e facilitar a sedimentação, que é etapa posterior do processo (LIMA, 2001; VILPOUX, 2003).

Segundo Lima (2001), a adição de centrífugas ao processo por produtores catarinenses representou uma inovação tecnológica que permitiu concorrer com os produtos do Estado do Paraná, pois estavam perdendo em qualidade. A melhora da qualidade foi verificada pelo aspecto de cor e também pelas análises físico-químicas que comprovaram a redução de impurezas.

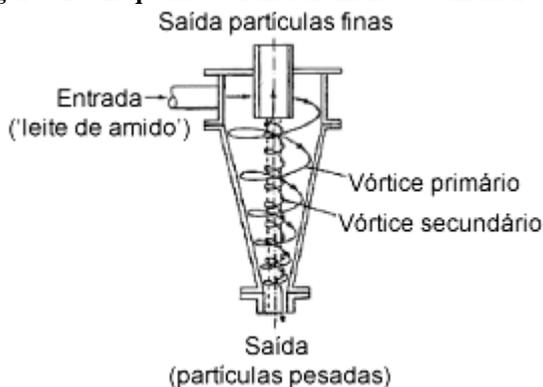
O leite de amido obtido no processo de extração chega à primeira centrífuga com uma concentração em torno de 3 °Be e a deixa com cerca de 15 a 18 °Be (VILPOUX, 2003; ARIEIRA et al., 2009). O aumento da concentração da suspensão de amido também permite trabalhar com maiores volumes de amido nos canais de sedimentação.

Outra técnica para a purificação do amido é o uso de uma bateria de hidrociclones (MARDER; GRAFFHAM; WESTBY, 1996; SRIROTH et al., 2000b). O esquema do funcionamento de um hidrociclone está apresentado na Figura 32. A entrada do leite de amido em alta velocidade gera um vórtice primário. À medida que esta corrente desce, as partículas maiores são levadas para a parede do ciclone antes de serem retiradas na parte inferior do equipamento. Ao mesmo tempo, o líquido contendo partículas menores, presente no centro, é obstruído, criando então uma contracorrente chamada de vórtice secundário que será retirada na parte superior do equipamento (*overflow*). A vantagem dos hidrociclones em relação às centrífugas está em seu menor consumo de água e maior simplicidade, com menor risco de dano ao equipamento (VILPOUX, 2003).

---

<sup>19</sup> Este estudo foi realizado em indústrias da Tailândia. No caso do Brasil, recomenda-se que seja feito um estudo sobre a viabilidade econômica para analisar o custo-benefício da modificação do processo.

**Figura 32 – Esquema de funcionamento de um hidrociclone.**



Fonte: adaptado de Vilpoux (2003).

As fecularias modernas costumam empregar duas ou três centrífugas em série ou uma bateria de hidrociclones para a concentração e purificação do amido, dispensando a necessidade de sedimentação. Entretanto, nas polvilharias de pequeno e médio porte, o mais comum é destinar a suspensão de amido ao canal de sedimentação para a purificação final.

Segundo Lima (2001), a sedimentação da suspensão de amido é feita em labirintos com pouca declividade, facilitando o escoamento da água residual. O comprimento varia de 30 a 50m, divididos em canaletas, sendo que a largura varia de 1 a 2m e a altura de 0,15 a 0,60 m (Figura 33). Dufour e Alarcón (1998), por outro lado, recomendam que não haja declive nos canais de sedimentação, já que ao sedimentar gradualmente, o amido cria naturalmente uma pequena inclinação, facilitando o fluxo da suspensão restante.

**Figura 33 – Canal de sedimentação na forma de labirinto.**



Fonte: acervo do autor.

A etapa de purificação do amido é bastante versátil, uma vez que podem ser empregadas diferentes técnicas e/ou a combinação delas. De maneira geral, os equipamentos de uma indústria estão relacionados com sua capacidade de produção. A Tabela 9 apresenta os diferentes sistemas que geralmente são aplicados nas diferentes etapas de processo em função da escala industrial.

**Tabela 9 – Etapas de extração do amido de mandioca e sistemas utilizados de acordo com a escala industrial.**

<b>Etapas de extração<sup>1</sup></b>	<b>Sistemas utilizados</b>
1. Lavagem e descascamento das raízes	a) Manual b) Lavador e descascador c) Lavador e descascador
2. Ralação ou desintegração	a) Ralador manual b) Desintegrador c) Picador e desintegrador
3. Separação do leite de amido	a) Peneira de taquara b) Peneira plana vibratória e extrator (GLs) c) Extrator (GLs)
4. Purificação do amido	a) Cocho de madeira b) Centrífuga e labirinto de sedimentação c) Centrífuga e hidrociclone
5. Secagem <sup>2</sup>	a) Ao sol, em terreiros b) Secador do tipo túnel ou jirau c) Secador pneumático ( <i>flash-dryer</i> )

a – processo rústico artesanal; b – pequenas e médias indústrias; c – grandes indústrias;

<sup>1</sup> Referente ao polvilho azedo, há ainda a etapa de fermentação que se situa entre a purificação do amido e a secagem;

<sup>2</sup> Diferentemente da produção do amido, o polvilho azedo necessita que a secagem seja feita ao sol para que sua principal propriedade, a capacidade de expansão, seja adquirida.

Fonte: adaptado de Vilela e Ferreira (1987).

Mesmo que uma indústria se equipe com o que há de mais moderno em termos tecnológicos, devido às duas etapas finais do processamento de polvilho azedo, fermentação e secagem, esta modernidade irá contrastar com técnicas artesanais, considerando o atual desenvolvimento científico e tecnológico da fermentação e da secagem do polvilho azedo.

#### 4.5 FERMENTAÇÃO

Purificado, o amido é transferido aos tanques de fermentação (Figura 34) em períodos que podem variar de 20 a 90 dias. A fermentação é feita sob uma camada de 10 a 20 cm de água em regime semi-sólido. É característico desta etapa a formação de bolhas de gases nos primeiros dias, aumento da acidez e diminuição do pH. A produção de ácidos orgânicos, em especial o ácido láctico, está associada aos micro-organismos amilolíticos e às bactérias ácido-láticas (CEREDA, 1987; ASCHERI, VILELA, 1995; CARVALHO et al., 1996; LACERDA et al., 2005; MARCON, AVANCINI; AMANTE, 2007).

**Figura 34 – Tanque de fermentação do amido de mandioca.**



Fonte: Marcon, Avancini e Amante (2007).

O processo fermentativo do polvilho azedo costuma ser dividido em três fases que não são necessariamente distintas. Na primeira, uma microbiota pouco exigente, dos gêneros *Echerichia*, *Alcaligenes*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* e *Bacillus*, agem de modo a diminuir rapidamente a concentração de oxigênio dissolvido, criando um ambiente microaeróbio. Os micro-organismos microaerófilos, facultativos e anaeróbios estritos desenvolvem-se então na segunda fase e são responsáveis pelas fermentações lácticas, acéticas, propiônicas, butíricas, entre outras. Na terceira fase, surgem os micro-organismos

saprófitas e contaminantes, incluindo diversas espécies de leveduras que seriam responsáveis pela formação de compostos aromáticos (CEREDA, 1987; CEREDA; GIAJ-LEVRA, 1987; CEREDA; NUNES; VILPOUX, 1995; SILVEIRA et al., 2000).

Aguilar et al. (2012) identificaram as três fases da fermentação analisando a concentração da microbiota ácido-lática, pH e acidez. Na primeira fase, caracterizada por estabilidade na acidez e pH, observaram que o crescimento microbiano das bactérias ácido-láticas dependeram da espécie da mandioca que foi processada. Na variedade *Valencia*, houve um crescimento da microbiota ácido-lática enquanto que na variedade *Brasileña* a concentração permaneceu estável. Na fase 2, a concentração da microbiota ácido-lática foi caracterizada por estabilidade em ambas as variedades estudadas, mas houve aumento da acidez e diminuição do pH devido a produção dos ácidos orgânicos. Por último, a terceira fase foi identificada pela diminuição da microbiota ácido-lática e estabilidade do pH.

Resultados de Ampe, Sirvent e Zakhia (2001) sugerem que a fermentação do amido de mandioca é determinada pela sensibilidade dos micro-organismos à mudança de acidez que ocorre durante o processo. O estudo constatou que a fermentação foi conduzida, principalmente, por bactérias ácido-láticas das quais prevaleceram as espécies *Lactobacillus plantarum* e *Lactobacillus fermentum*. Lacerda et al. (2005), analisando duas polvilharias, também constataram a mesma prevalência.

Outros gêneros de micro-organismos têm sido identificados na fermentação, dentre eles pode-se citar *Leuconostoc* sp., *Lactococcus* sp., *Pediococcus* sp., *Streptococcus* sp., *Enterococcus* sp., *Bacillus* sp. e *Corynebacterium* sp. (CARVALHO et al., 1996, RIVERA, 1997; AMPE; SIRVENT; ZAKHIA, 2001). É também atribuído aos dois últimos gêneros uma importância por serem produtores de exoamilases que têm capacidade de quebrar longas cadeias de amilose, e as moléculas ramificadas da amilopectina (RIVERA, 1997).

#### **4.5.1 Análise do tempo de fermentação do polvilho azedo**

A fermentação é a parte do processo que mais influencia na produtividade do polvilho azedo. No sul de Santa Catarina, os produtores de polvilho azedo costumam deixar o amido fermentando nos tanques por até 90 dias, enquanto em locais onde as temperaturas são mais altas este tempo pode ser reduzido para 20 dias. O grande problema é que os produtores não sabem com segurança quando o

processo de fermentação termina. De acordo com Diniz (2006), produtores de polvilho azedo de Minas Gerais usam diferentes métodos para ter conhecimento de quando a fermentação termina. Monitoramento do pH, formação de bolhas com cheiro característico, formulação de biscoito e até mesmo análise sensorial da acidez do líquido estão entre as técnicas aplicadas.

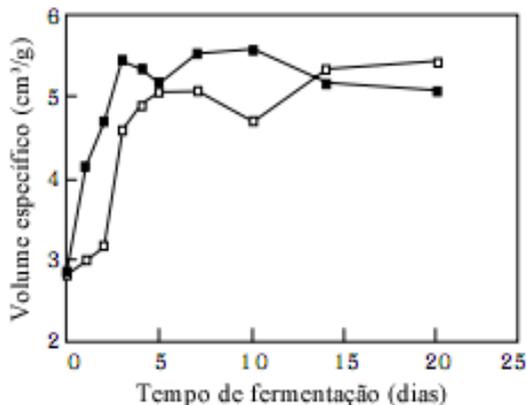
De acordo com estudos de Carvalho et al. (1996), Brabet et al. (1996) e Lacerda et al. (2005), a concentração de mesófilos durante a fermentação do amido de mandioca sofre pouca variação, tendo uma concentração na ordem de  $10^8$  UFC/mL, não sendo, portanto, um bom indicativo para determinar o fim da fermentação. Os dois últimos estudos também verificaram um comportamento similar em relação à microbiota amilolítica.

A influência da posição do amido sedimentado nos canais de sedimentação foi estudada por Tischer e Moreno (2004) e não foi evidenciada nenhuma relação da posição com o poder de expansão.

Pereira (1994), Ascheri e Vilela (1995) e Marcon et al. (2007) tentaram associar as alterações físico-químicas (temperatura de pasta, viscosidade máxima, *setback*, amido danificado, índice de solubilidade, poder de inchamento, pH, fator ácido e teor de cinzas, proteínas, lipídeos e fibras) em diferentes tempos de fermentação, contudo não conseguiram definir seguramente um parâmetro associado à capacidade de expansão para indicar o fim do processo.

Segundo Cereda (1987), é comum os produtores não realizarem a limpeza dos tanques para aproveitar o inóculo da safra anterior e diminuir o tempo de fermentação. Além disso, o uso da água sobrenadante ou a mistura com o polvilho azedo da produção anterior podem ser empregados com o mesmo objetivo. Brabet et al. (1996) compararam a fermentação industrial com e sem inóculo e observaram que o uso de inóculo permitiu a uma diminuição do tempo de fermentação (Figura 35).

**Figura 35 – Evolução da capacidade de expansão durante a fermentação do Polvilho Azedo com inóculo e sem inóculo.**



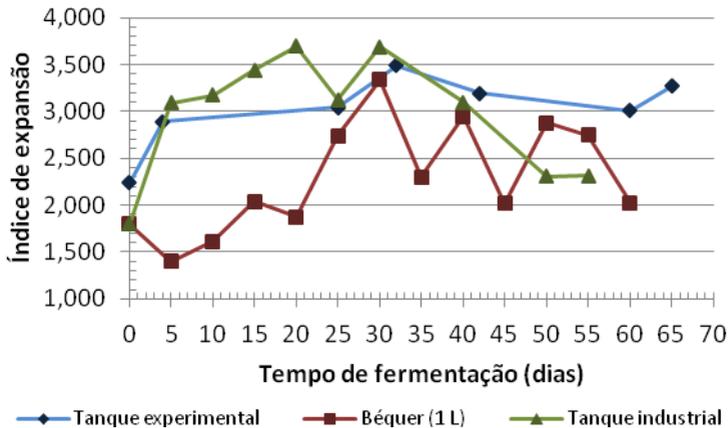
Quadrado preenchido – fermentação com inóculo;

Quadrado sem preenchimento - fermentação sem inóculo.

Fonte: Brabet et al. (1996).

Ascheri e Vilela (1995) estudaram a fermentação em tanque industrial, tanque experimental (1000 kg) e em copo Bécker (1 kg). Observaram a existência de um ponto ótimo de fermentação e que a técnica dos produtores de fazer uso de inóculo favoreceu o processo ao diminuir o tempo de fermentação e aumentar o índice de expansão na confecção de biscoitos. Os dados da Figura 36 indicam que o tempo ótimo de fermentação para o tanque industrial, experimental e em Bécker foram, respectivamente, de 15 a 20 dias, 32 dias e 30 dias.

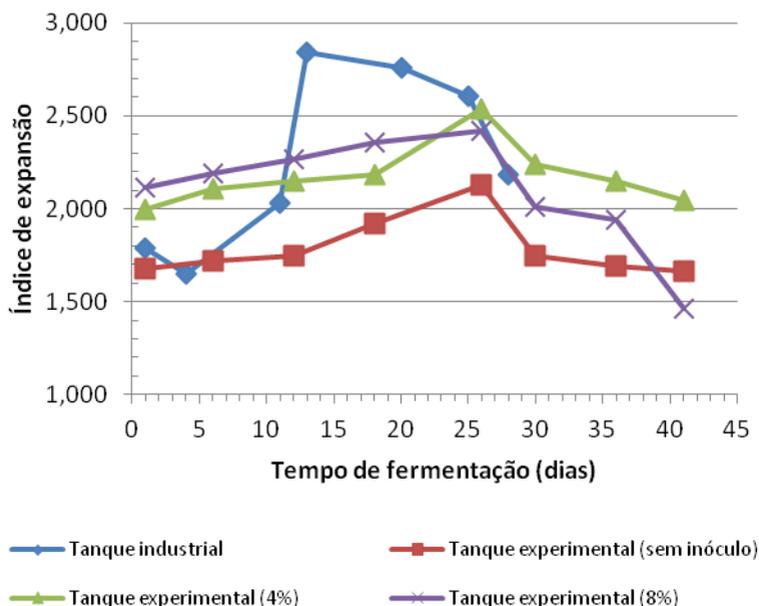
**Figura 36 – Índice de expansão de biscoitos de polvilho em diferentes tempos de fermentação em tanque industrial, experimental e Bécker.**



Fonte: Ascheri e Vilela (1995).

A aplicação de inóculo foi estudada por Pereira (1994). Além de avaliar a técnica industrial, o polvilho também foi fermentado em tanques experimentais (26 kg) com diferentes percentagens de inóculos (0, 4 e 8%). Verificou-se que o aumento de inóculo contribuiu com a propriedade de expansão (Figura 37).

**Figura 37 – Índice de expansão de biscoitos de polvilho em diferentes tempos de fermentação em tanque industrial e tanque experimental com diferentes porcentagens de inóculos.**



Fonte: Pereira (1994).

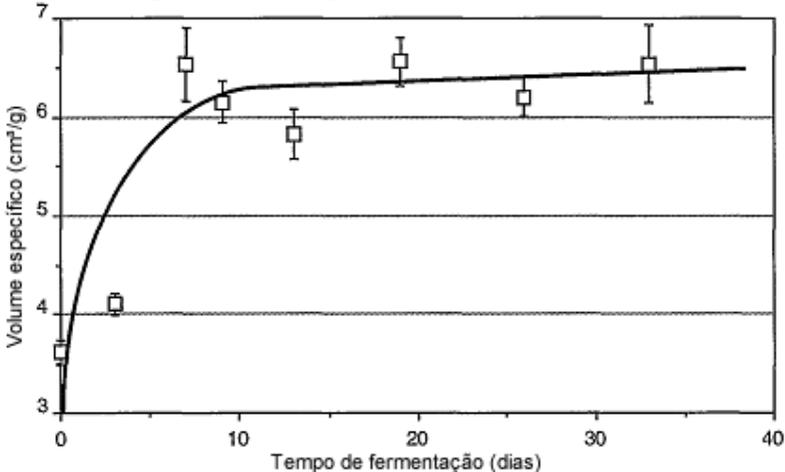
Pereira (1994) observou que a ausência de controle do processo aliado às técnicas subjetivas dos produtores para detecção do final da fermentação não garantiram a qualidade do produto para panificação. A fermentação industrial foi interrompida ao 28º dia por orientação dos próprios produtores, enquanto os resultados apontaram um período do dia 13 ao dia 20 como o mais adequado para determinar o final do processo.

Pereira (1994) também realizou ensaios em Bécker, contudo as massas obtidas não apresentaram características desejáveis para moldagem, tais como plasticidade e consistência para confecção de biscoitos, podendo indicar que a fermentação de quantidade reduzida de amido, o excesso de purificação e a proteção dos recipientes durante o processo fermentativo exercem influência no comportamento do polvilho azedo.

Dufour et al. (1995) acompanharam a expansão dos biscoitos de polvilho azedo até 33 dias de fermentação industrial, observando um

rápido aumento da expansão até o décimo dia e com expansão máxima obtida no vigésimo dia (Figura 38).

**Figura 38 – Evolução da expansão dos biscoitos de polvilho azedo em diferentes tempos de fermentação.**



Fonte: Dufout et al. (1995).

Os estudos que avaliaram a propriedade de expansão em função do tempo de fermentação anteriormente analisados, apontam para a existência de um ponto ótimo de fermentação, uma vez que, de maneira geral, foi observado um comportamento crescente da propriedade de expansão até atingir um máximo, uma zona de relativa estabilidade e seguida por um decaimento.

Também foi verificado que o aproveitamento de inóculo da fermentação anterior é uma técnica favorável à fermentação. Rivera (1997) tentou formular uma cultura *starter* com a finalidade de diminuir o tempo de fermentação, contudo, na metodologia do estudo, a secagem foi realizada em estufa a 50 °C, o que justifica a observação do autor de que suas amostras não apresentaram uma expansão tão boa quanto o polvilho azedo comercial. Neste estudo, destacou-se uma microbiota composta por *Lactobacillus* sp., *Bacillus* sp. e *Corynebacterium* sp. na proporção de 70:20:10 e outra composta por *Lactobacillus* sp e *Bacillus* sp. na de proporção 70:30.

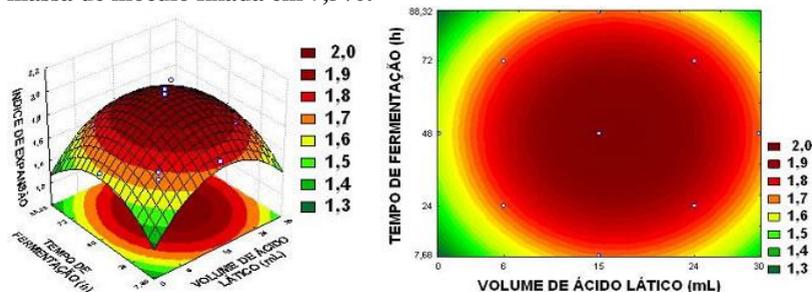
Um método modificado para fermentação foi proposto por Marcon (2004). Neste estudo, observou-se que a adição de xarope de glicose na concentração 0,5% (v/v) aumentou a intensidade da

fermentação (aumento da acidez) podendo ser útil na diminuição do tempo de fermentação.

Em comparação ao método modificado de Marcon (2004), Reginatto et al. (2009) também adicionaram cloreto de amônio nas concentrações de 0,10, 0,25 e 0,5% (p/v). A adição de fonte de nitrogênio resultou no aumento do pico de acidez e favoreceu a produção de ácido lático.

Starling (2010) propôs um método de fermentação avaliando a quantidade de inóculo e adição de ácido lático. O maior índice de expansão (2,0) foi obtido quando o inóculo foi fixado em 7,5%, abrangendo um intervalo de variação para volume de ácido lático de 0,0216 - 0,0426 mL/g de amido em um tempo de fermentação de 36 - 65,3 horas, conforme pode ser observado na Figura 39.

**Figura 39 – Índice de expansão do polvilho azedo em função do tempo de fermentação (h) e do volume de ácido lático adicionado (mL/500g), com massa de inóculo fixada em 7,5%.**



Fonte: Starling (2010).

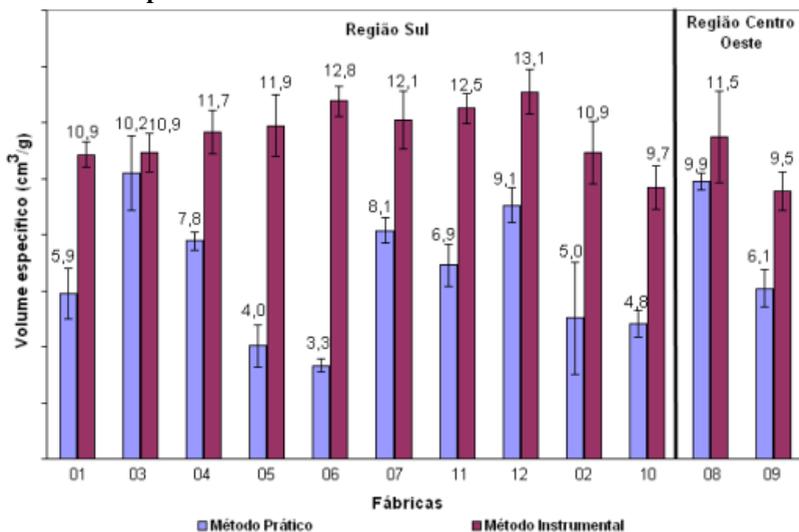
Ao avaliar a modificação da fermentação com adição de xarope de glicose, Marcon (2004) sugeriu como critério para o final da fermentação acidez em torno de 20 mL NaOH 0,1N da água sobrenadante. Este critério foi utilizado por conta de ter sido o maior valor de acidez encontrado na fermentação do amido de duas das três polvilharias do estudo. Acompanhando diariamente as características da água sobrenadante da fermentação, Aquino et al. (2013) confirmaram este critério. É preciso, contudo, avaliá-lo em escala industrial.

Em relação à avaliação da expansão do polvilho azedo, Starling (2010) fez uso do método prático, confeccionando os biscoitos com polvilho azedo e água (MAEDA; CEREDA, 2001). Pereira (1994) e Ascheri e Vilela (1995) confeccionaram os biscoitos adicionando também gordura vegetal hidrogenada e sal à formulação, mesmo assim,

embora com métodos similares, apresentaram pequenas diferenças quanto ao tempo, temperatura do forno e à quantidade de aplicação dos ingredientes.

Em seu estudo de caracterização de amido, Diniz (2006) fez uso de duas metodologias. Em ambas, formulou os biscoitos usando apenas polvilho azedo e água. A diferença foi que em uma metodologia a massa foi misturada em um farinógrafo (instrumental) e na outra a mistura foi feita à mão (prático). Ao comparar os resultados entre os polvilhos de diferentes empresas, verificou que o método instrumental proporcionou expansões maiores e que o método prático apresentou, em alguns casos, valores discrepantes, conforme mostra a Figura 40.

**Figura 40 – Comparação entre o método instrumental e prático na avaliação da propriedade de expansão de polvilhos azedos provenientes de diferentes empresas de Minas Gerais.**



Fonte: Diniz (2006).

As diferenças entre metodologias dificultam a comparação quantitativa entre diferentes estudos. Além disso, existe o fato de que a fermentação ocorre naturalmente, sem controle, motivo que contribui para justificar a falta de padronização do produto. Apesar dos esforços de estudos que visam diminuir o tempo de fermentação, ainda é um campo amplo para proposta de modificação, controle e padronização.

#### 4.6 SECAGEM

O amido fermentado deixa os tanques de fermentação com umidade próxima a 50% (base úmida) e precisa ser seco ao sol para que o polvilho adquira capacidade de expansão, que é sua principal característica. A secagem é feita sobre jiraus de bambu trançado ou arames, sobre os quais são estendidos panos, plásticos ou lonas. Também pode ser acomodado ao chão, sob proteção de uma plataforma móvel que é deslocada para descobrir o polvilho quando há condições próprias para secagem. O tempo de secagem é dependente das condições climáticas, podendo variar de 7 a 16 horas, o que pode corresponder a 1 ou 2 dias de secagem. Em geral, a umidade final do produto é próxima a 14% (MARDER et al., 1996; PLATA-OVIEDO, 1998; DINIZ, 2006; CEREDA, 2007). A Figura 41 ilustra as duas maneiras de secar o polvilho azedo utilizadas pelos produtores.

**Figura 41 – Jiraus (A) e plataformas móveis de abrigo (B) para secagem do polvilho azedo.**



Fonte: acervo do autor.

O processo de secagem ao sol é um fator limitante da produção, pois requer grandes áreas de secagem. Plata-Oviedo (1998) relata que uma área de 1,5 hectares foi insuficiente para a secagem de todo o produto fermentado de uma safra que processou 100-120 toneladas de raízes/dia (25-30 toneladas de amido/dia).

Embora mais eficientes, os processos de secagem artificial não resultam em um produto com a mesma capacidade de expansão. Observa-se que, mais do que o calor, a radiação solar é responsável por esta propriedade (CEREDA, 1987; DUFOUR et al., 1995). Esta realidade está presente em grandes indústrias que secam artificialmente o polvilho azedo, conforme relata ABAM (2009):

Embora predomine a produção artesanal, existem algumas iniciativas no sentido de tornar a produção mais industrial. A Pinduca Indústria Alimentícia foi a primeira empresa a lançar o chamado polvilho azedo industrial - em pacotes de um quilo - cujo processo de produção é diferente do produzido artesanalmente. A diferença está na forma de secar o produto. Após a fase de “azedamento”, o polvilho passa pelo *piller* (desidratador centrífugo), e, posteriormente, pelo *flash dryer* (secador de amido).

"Neste processo de produção não se consegue atingir a mesma expansão obtida no polvilho seco ao sol", salienta o Gerente Comercial da empresa, César Fernando Paggi.

Plata-Oviedo (1998) submeteu o polvilho azedo a diferentes tempos de secagem ao sol com posterior secagem em estufa com circulação forçada a 45°C por 12 horas e obteve maior expansão com 4, 6 e 8 horas de exposição ao sol<sup>20</sup>.

Dufour et al. (1995) fermentaram o polvilho azedo de três diferentes cultivares de mandioca por 33 dias e analisaram a influência do tempo de exposição ao sol na expansão do polvilho azedo. A secagem posterior foi realizada em estufa a 40°C até as amostras adquirirem em torno de 11% de umidade. Observaram um rápido aumento da propriedade de expansão até 3 horas de exposição ao sol seguido de uma estabilidade até 8 horas de exposição. Os autores associaram este comportamento ao aumento da tendência à gelatinização, verificado pela redução da viscosidade máxima no amilograma obtido em viscoamilógrafo Brabender.

Brabet et al. (1996) alertaram para a importância da água durante a etapa de secagem ao sol. Quando o polvilho azedo foi seco em estufa a 40 °C por 8 horas, depois umidificado a 50% e então seco ao sol por 8 horas, obteve uma expansão maior (5,10 cm<sup>3</sup>/g) do que a amostra que foi submetida às mesmas condições, mas sem adição de água (3,75 cm<sup>3</sup>/g). O melhor resultado obtido pelos autores foi quando o polvilho azedo foi seco a 40 °C por 8 horas e depois foi seco ao sol por mais 8 horas, mas com água adicionada a cada hora durante 3 horas. Este

---

<sup>20</sup> Neste estudo, a expansão foi avaliada em 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14 horas de exposição ao sol.

procedimento resultou em uma expansão de 7,4 cm<sup>3</sup>/g, maior do que a secagem direta ao sol por 8 horas, que foi de 5,03 cm<sup>3</sup>/g.

A principal justificativa para análise do processo de produção do polvilho azedo reside na necessidade de definir parâmetros de controle de processo que permitam a padronização do polvilho azedo, abrindo a perspectiva da comercialização deste produto nacional para os mercados mais exigentes, além de facilitar o emprego do polvilho azedo pelos panificadores que esperam um produto regular (BRABET et al., 1996; VILPOUX, 2003, MARCON et al., 2009).

#### 4.7 USO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE POLVILHO AZEDO

O processo agroindustrial está tradicionalmente relacionado ao consumo de água e também à produção de efluentes com elevada carga orgânica. São inúmeros os trabalhos comprovando esta realidade (SRIROTH et al., 2000b; BARANA, 2001; LIMA, 2001; DA et al., 2010). Por sua vez, o processamento de alimentos também envolve produtos regionais, segundo a disponibilidade de matérias primas de ocorrência em países de clima tropical, por exemplo, a raiz de mandioca e seus produtos. A farinha de mandioca, o amido de mandioca e o polvilho azedo são os principais produtos da mandioca, no entanto, as águas empregadas no processamento e também os efluentes gerados, têm sido pouco estudados, principalmente com o intuito de examinar o consumo, reduzindo como consequência, a geração de resíduos.

De acordo com River et al. (2001), o problema referente ao alto consumo de água pode ser agravado quando há escassez de água em épocas secas e quando há diminuição rápida do recurso de água da fonte (geralmente poços artesanais).

Segundo Cereda (2007), a água do processo deve ser potável e limpa, isenta de sais minerais, principalmente sais de ferro, sendo o máximo aceitável de 0,3 mg de íons de ferro por litro. A água de lavagem das raízes (etapa de lavagem, descascamento e, desintegração) pode ser bruta, contudo, a água de extração do amido (etapa de separação e purificação) e lavagem da polpa e fibras deve ser limpa e tratada a fim de evitar contaminações prejudiciais e obtenção de um produto de qualidade.

Para analisar o consumo de água nas indústrias produtoras de polvilho azedo, foi feita consulta à literatura de estudos que realizaram balanços de massa de entrada de água, de saída de resíduos e de amido em plantas industriais e que também apresentaram os equipamentos

envolvidos no processo<sup>21</sup>. As indústrias e características de operação estão apresentadas na Tabela 10 e as empresas referidas nos estudos estão representadas por códigos (A, B, C, D e E).

**Tabela 10 – Plantas industriais processadoras de polvilho azedo.**

Plantas	Processo	Concentração	Referências
		inicial de amido (kg <sub>amido</sub> /kg <sub>mandioca</sub> )	
A*	LD - D - GL - GL - GL - PT - C - CS - F - S	0,3120	LIMA (2001)
B*	LD - D - GL - GL - PT - C - CS - F - S	0,3154	LIMA (2001)
C*	LD - D - GL - GL - PT - C - CS - F - S	0,3159	LIMA (2001)
D**	LD - D - GL - GL - CS - F - S	0,299	MARDER et al. (1996)
E**	LD - D - GL - BS - CS - F - S	0,324	MARDER et al. (1996)

LD - Lavador-descascador; D - Desintegrador ; GL - Peneira cônica e rotativa; PT - Peneira plana trepidante; BS - *Brush-and-screen*; C - Centrífuga; CS - Canais de sedimentação; F - Tanques de fermentação; S - Secagem ao sol.

\* Sem reciclo. Sempre foi adicionada água limpa nas etapas necessárias.<sup>22</sup>

\*\* Foi feito reciclo da suspensão de amido no último estágio de extração para entrada de líquido no desintegrador.<sup>23</sup>

### 5.7.1 Lavagem e descasque

Observa-se uma extensa falta de padronização quanto ao uso de água na operação de lavagem e descasque das raízes de mandioca. Os dados dos valores de entrada em relação à quantidade de água utilizada no lavador-descascador nos diferentes balanços de massa são apresentados na Tabela 11. A falta de padronização quanto ao uso da água nesta etapa do processo, pode ser comprovada pela ampla faixa de consumo, de 1,270 a 6,819 L de água de lavagem/kg de mandioca

<sup>21</sup> Infelizmente a literatura carece deste tipo de abordagem. Estudos voltados à comparação entre indústrias levando-se em consideração o balanço de massa, o fluxograma e seus equipamentos podem ser fontes úteis para análise crítica do processo.

<sup>22</sup> Análogo a Figura 18.

<sup>23</sup> Análogo a Figura 19.

processada, o que significa uma variabilidade de um pouco mais de 535%.

**Tabela 11 – Quantidade de água empregada para lavagem e descascamento de 1000 kg de mandiocas e percentagem de perda de amido no processo.**

	Plantas				
	A <sup>1</sup>	B <sup>1</sup>	C <sup>1</sup>	D <sup>2</sup>	E <sup>2</sup>
Água para lavagem (L)	3517	1894	6819	3550	1270
Percentagem de perda de amido	0,41	0,44	0,72	6,0	6,5

<sup>1</sup> Lima (2001).

<sup>2</sup> Marder et al. (1996).

As plantas A, B e C apresentaram perda de amido inferior a 0,8%, uma percentagem menor se comparado as plantas D e E com perda de 6,0 e 6,5%, respectivamente. Estes dois grupos de perda de amido e a comparação com a variabilidade da quantidade de água usada na lavagem sugerem que outros fatores estão associados à perda de amido.

Marder et al. (1996) constataram uma eficiência de descascamento de 95% para a Planta D e de 78 a 80% para a Planta E, sendo possível, na segunda, observar fragmentos de cascas e terras no amido sedimentado. A presença de casca aumenta o gasto energético na etapa de desintegração (GRACE, 1977). Além disso, é importante levar em consideração o processo sob o ponto de vista da higiene e qualidade do produto final.

Segundo Cereda (2007), as características do equipamento como quantidade de raízes, volume de água e tempo de operação são especificadas pelos fabricantes. De acordo com Lima (2001), alguns fabricantes de equipamentos estimam a demanda de água em 2,62 m<sup>3</sup>/tonelada de mandioca.

Nas plantas industriais de amido de mandioca, é comum, a fim de melhorar o aproveitamento de água e minimizar os resíduos, realizar reciclo com água vegetal (resíduo líquido gerado nas etapas de purificação) durante a lavagem das raízes (SRIROTH et al., 2000b; CEREDA, 2007; KUCZMAN, 2007). Kuczman (2007) relata o uso da água em três etapas durante a lavagem e o descascamento das raízes. No início do equipamento (lavador-descascador), é usada água limpa. Depois é usado cerca de 40 % do volume total de água vegetal gerada.

Ao final da operação, usa-se novamente água limpa para eliminar sólidos e demais sujidades.

### 5.7.2 Desintegração, extração e purificação

Os dados das etapas de desintegração e extração referentes à adição de água e à percentagem de perda de amido estão apresentados na Tabela 12. Em relação ao uso de água, a planta B foi a que aplicou menores quantidades, contudo a perda de amido foi menor apenas comparativamente às plantas A e E. Isso pode indicar que a idéia dos produtores de que quanto mais água usada no processo melhor, não seja necessariamente verdade.

**Tabela 12 – Quantidade de água adicionada nos processos de desintegração e extração e percentagem de perda de amido resultante destes processos.**

	Plantas				
	A <sup>1</sup>	B <sup>1</sup>	C <sup>1</sup>	D <sup>2</sup>	E <sup>2</sup>
Água para desintegração (L)*	1840	1706	4183	3500 <sup>R</sup>	4220 <sup>R</sup>
Água para extração (L)*	4434	1989	3558	3780	4500
Percentagem de perda de amido nos processos	20,04	21,53	24,49	23,84	18,48

\* Por 1000 kg de mandiocas

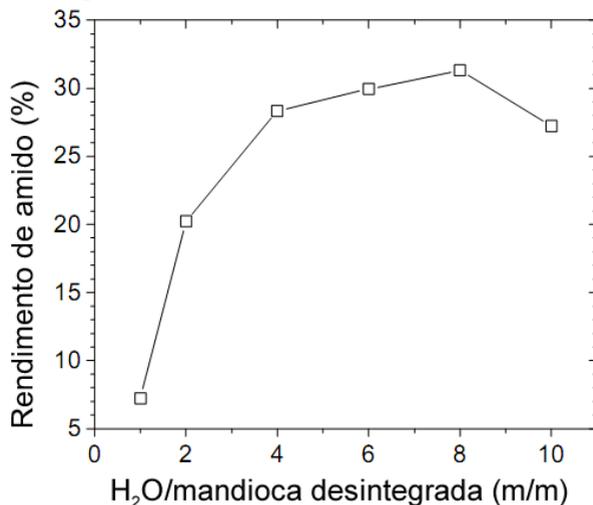
R - Proveniente do reciclo do último estágio de extração

<sup>1</sup> Lima (2001).

<sup>2</sup> Marder et al. (1996).

Barreto et al. (2005) estudaram a proporção ótima de água por massa de mandioca desintegrada para melhor extração do amido em um extrator vertical. Os autores observaram um rápido aumento no rendimento do processo na proporção (água/massa) de 1:1 (6%) até a 4:1 (29%), com leve acréscimo até 8:1 (31%) e queda do rendimento em 10:1 (26%), conforme mostra a Figura 42.

**Figura 42 – Variação do rendimento de amido com relação água/mandioca desintegrada.**



Fonte: adaptado de Barreto et al. (2005).

Embora a água tenha importância fundamental no processo de extração do amido, os dados da Tabela 12 não permitem elaborar uma relação direta entre a eficiência da extração e a quantidade de água utilizada. A eficiência da desintegração (VILPOUX, 2003; DA et al., 2008) e cultivares (MAIVES et al., 2011) são variáveis a serem consideradas.

A Planta E foi a que apresentou menor percentual de perda de amido após os processos de desintegração e extração. Nesta empresa, o amido foi separado do bagaço com a aplicação de dois equipamentos em série, sendo o primeiro um GL e o segundo um *brush-and-screen*. A Planta D também realizou duas extrações em série, mas apenas com GLs. Marder et al. (1996) descrevem que os desintegradores e as GLs de ambas as plantas eram similares, mudando apenas a taxa de alimentação de água. Deste modo permanece a dúvida se a menor perda na Planta E foi devido à quantidade de água ou à técnica empregada para extração do amido.

As Plantas A, B e C utilizaram uma série de GLs seguido de uma peneira trepidante. A primeira, que obteve menor perda de amido, fez uso de três GLs e as últimas de duas. Embora em valores absolutos a Planta A tenha usado mais água para extração de amido do que as

Plantas B e C, relativamente, a Planta A usou aproximadamente 17% menos água por GL em comparação com a Planta C.

Em relação ao uso de água por GL, a Planta C foi a que mais aplicou água na extração, mas em contrapartida foi a que teve maior perda de amido em comparação com as Plantas A e B. Conforme apontado a respeito do trabalho de Barreto et al. (2005), isso pode indicar que as GLs possuem um valor ótimo de uso de água em proporção à quantidade de massa de mandioca desintegrada.

Referente ao processo de purificação do amido, as Plantas A, B e C centrifugaram o leite de amido antes de destiná-los aos canais de sedimentação. Por outro lado, as Plantas D e E destinaram a suspensão diretamente aos canais de sedimentação. Na Tabela 13, estão apresentados os dados de adição de água na centrifugação, resíduo líquido gerado (manipueira) e percentagem de perda de amido.

**Tabela 13 – Quantidade de água adicionada, resíduo líquido gerado e percentagem de perda de amido nos processos de centrifugação e sedimentação.**

	Plantas				
	A <sup>1</sup>	B <sup>1</sup>	C <sup>1</sup>	D <sup>2</sup>	E <sup>2</sup>
<b>CENTRIFUGAÇÃO</b>					
Água adicionada (L)*	67	77	66	N.A	N.A
Resíduo líquido gerado (manipueira) (L)*	4516	3211	6177	N.A	N.A
Percentagem de perda de amido*	1,38	1,14	1,08	N.A	N.A
<b>SEDIMENTAÇÃO</b>					
Resíduo líquido gerado (manipueira) (L)	1234	497	970	3200	4060
Percentagem de perda de amido	2,09	1,67	1,46	7,01	5,67
<b>CENTRIFUGAÇÃO + SEDIMENTAÇÃO</b>					
Total de resíduo líquido gerado (L)*	5750	3708	7147	3200	4060
Percentagem de perda de amido	3,44	2,79	2,52	7,01	5,67

\* Por 1000 kg de mandiocas

N.A – Não aplicável

<sup>1</sup> Lima (2001).

<sup>2</sup> Marder et al. (1996).

As plantas A, B e C obtiveram menos perda no processo de purificação do amido do que as plantas D e E. Lima (2001) relatou que a

adição de centrífuga no processo produtivo pelas polvilharias do sul de Santa Catarina representou uma melhoria tecnológica no processo por causa da redução de impurezas no produto final.

Foi constatado por Diniz (2006) que a pureza do polvilho azedo está relacionada à etapa de extração e purificação do amido. Empresas que realizaram maior número de repetições nestas etapas apresentaram menor teor de cinzas e maior pureza do amido.

### 5.7.3 Balanço geral do processo produtivo do polvilho azedo

O consumo de água, a relação água/amido, a percentagem de recuperação e o rendimento em amido, são muito importantes para o processo produtivo. A Tabela 14 apresenta estes dados para os trabalhos que estudaram as cinco empresas processadoras de amido de mandioca e polvilho azedo.

**Tabela 14 – Quantidade total de água por 1000 kg de mandioca processada, relação água/amido produzido, percentagem de recuperação de amido e rendimento do processo.**

	Plantas				
	A <sup>1</sup>	B <sup>1</sup>	C <sup>1</sup>	D <sup>2</sup>	E <sup>2</sup>
Água adicionada ao processo (L)	9858	5666	14626	7330	5770
Água do processo/amido produzido (L/kg)	41,18	23,65	63,36	36,83	24,76
Recuperação de amido (%)	76,73	75,95	73,08	66,55	71,91
Rendimento (b.s)	23,94	23,95	23,06	20,5	24,0

<sup>1</sup> Lima (2001).

<sup>2</sup> Marder et al. (1996).

É possível observar que a Planta E obteve um rendimento similar às plantas A B e C, contudo a percentagem de recuperação de amido foi inferior. Verifica-se que o rendimento do processo está relacionado ao teor de amido inicial da mandioca, o que reforça a importância de aspectos como colheita e seleção de cultivares para processamento.

A Planta A foi a que apresentou maior percentagem de recuperação de amido, indicando ter sido o processo com a menor perda de amido. A Planta C adicionou aproximadamente 61% de água a mais no processo do que a Planta B, contudo resultou em menor percentagem de recuperação de amido e rendimento.

Analisando uma polvilharia da Colômbia que não fazia uso de reciclo no processo, Dufour e Alarcón (1998) relataram o emprego de 7100 L de água/ton de mandioca e recuperação de amido de 76,7%. Portanto, uma recuperação de amido próximo à encontrada na Planta A, mas com economia de água de aproximadamente 28%.

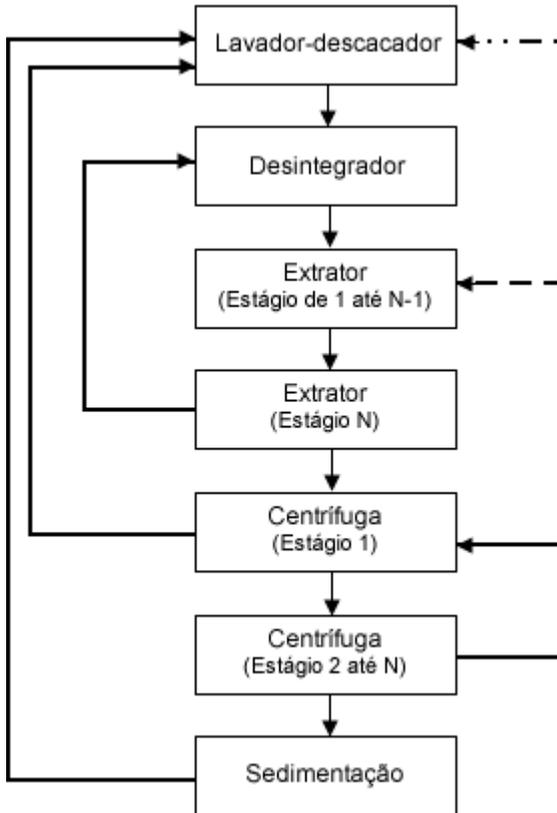
No processo de desintegração, as Plantas D e E fizeram a reciclagem da suspensão gerada na segunda etapa da extração, o que representou uma economia de mais de 30% de água caso houvesse entrada de água limpa.

#### **5.7.4 Produção do polvilho azedo visando a minimização do consumo de água**

Ao estudar diferentes indústrias de amido de mandioca na Tailândia e, apesar delas realizarem reciclo de água em alguma etapa do processo, Chavalparit e Ongwadee (2009) esquematizaram uma planta sem uso de reciclo de água na linha de produção como pior cenário a fim de mostrar o potencial do consumo de água e de geração de resíduos.

A Figura 43 esquematiza possíveis reusos e reciclos dos líquidos gerados nas diferentes etapas do processo de produção de amido. Foi levado em consideração trabalhos que, ao estudarem uma fecularia, abordaram o fluxograma do processo (LEBOURG, 1996; SRIROTH et al., 2000b; KUCZMAN, 2007; ARIEIRA et al., 2009; CHAVALPARIT; ONGWADEE, 2009).

**Figura 43 – Possíveis rotas de reuso e reciclo de líquidos no processo de produção de amido.**



As linhas tracejadas ( — — ) e pontual-tracejadas ( · · — ) representam outras opções possíveis.

O resíduo líquido gerado pela primeira centrífuga da etapa de purificação contém impurezas, sendo recomendado que o reciclo seja aproveitado para etapa de lavagem e descascamento. Nas centrífugas dos estágios posteriores, a manipueira, por estar mais pura, pode ser aproveitada para alimentar a centrífuga do estágio anterior, para uso no primeiro extrator ou para auxiliar na lavagem e descascamento (LEBOURG, 1996; ARIEIRA, 2009; CHAVALPARIT; ONGWADEE, 2009). Uma vez que a sedimentação não é um processo contínuo, é recomendado que o reuso da manipueira seja feito no lavador-descascador (KUCZMAN, 2007).

Conforme observado para os dados das Plantas D e E, também é possível economia de água ao aproveitar a suspensão do último estágio de extratores para alimentar o desintegrador.

A redução do consumo de água também pode ser obtida pela modificação do processo. Curiosamente, Da et al. (2008) estudaram o consumo de água em pequenas fecularias do norte do Vietnã e foi registrado que a desintegração em cevadeira não é realizada com adição de água. A substituição de tanques de mistura verticais por DSM foi recomendada por Chavalparit e Ongwandee (2009). Além de não necessitar de entrada de água no processo, as DSM consomem menos energia, por não precisar alimentar movimentos de rotação, e melhoraram o rendimento de extração.

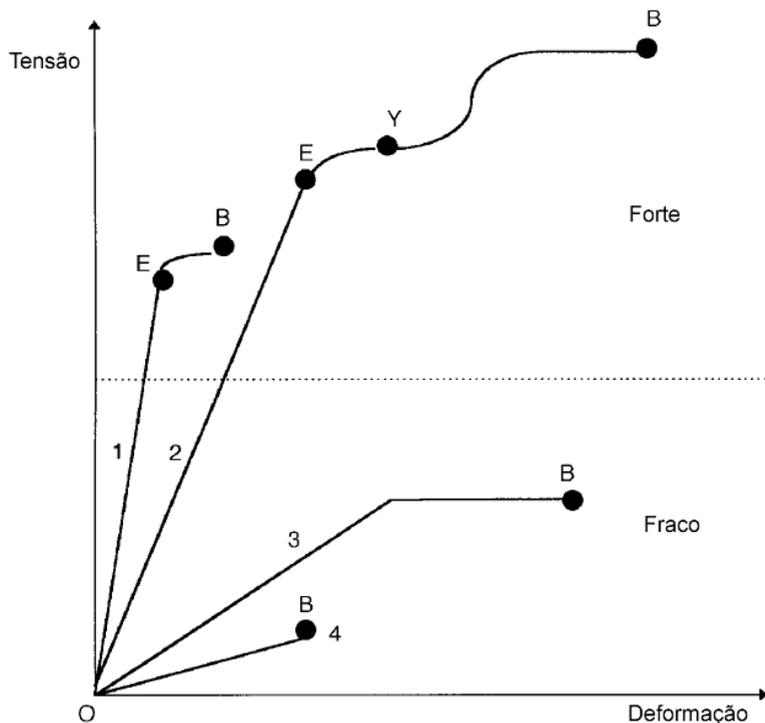
## 5 ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE TRABALHO DE BOND

O processo de ralação da mandioca, também chamado de desintegração, é uma operação unitária tratada na literatura como processo de redução de tamanho. MacCabe, Smith e Harriott (1993) explicam que o objetivo é produzir partículas menores a partir de partículas maiores. Este processo aumenta enormemente a área superficial do produto sendo que a energia necessária para produzir uma nova superfície é uma das bases para o cálculo da eficiência do processo.

Três tipos de forças são utilizados para redução de tamanho em alimentos: forças de compressão, forças de impacto e forças de cisalhamento. Elas estão presentes na maioria dos equipamentos, contudo uma costuma ser mais importante do que outras (FELLOWS, 2006).

Quando uma tensão é aplicada em um material biológico, ocorre uma mudança de volume conhecida como deformação (CORTEZ, 1989). A Figura 44 apresenta um diagrama de tensão-deformação para vários alimentos. Se a tensão for menor do que o limite elástico (E) do produto, os tecidos retornam a sua forma original. Caso seja maior do que este limite, o alimento é deformado permanentemente. Antes de atingir o ponto limite (B), que é onde o alimento se rompe através de uma linha de ruptura, existe o ponto de quebra (Y), a partir do qual o alimento começa a fluir (região dúctil) (FELLOWS, 2006).

**Figura 44 – Diagrama de tensão-deformação para diferentes características de alimentos.**



E = limite elástico; Y = ponto de quebra; B = ponto limite; O-E = região elástica; E-Y = deformação inelástica; Y-B = região dúctil; (1) = material duro, forte, quebradiço; (2) = material duro, forte, dúctil; (3) = material macio, fraco, dúctil; e (4) material macio, fraco, quebradiço.

Fonte: adaptado de Fellows (2006).

Segundo Cortez (1989), é importante a identificação do significado nos pontos do diagrama. O limite elástico pode significar o início da ruptura celular do alimento, sendo relacionado com falhas nas microestruturas, enquanto o ponto de quebra com falhas na macroestrutura.

Embora o cálculo da eficiência da operação unitária de redução de tamanho apresente imprecisões, MacCabe, Smith e Harriott (1993) citam que a eficiência da operação<sup>24</sup> está inserida em uma faixa que

<sup>24</sup> Snow et al. (1999) definem a eficiência da operação como a energia consumida comparada com a energia ideal requerida.

varia de 0,06 a 1%. Isso significa que somente uma pequena percentagem da energia fornecida ao equipamento de moagem é usada na operação de ruptura. Evidencia-se, portanto, que se trata de uma operação bastante ineficiente, talvez a mais ineficiente dentre as operações unitárias tradicionais (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005).

Barbosa-Cánovas et al. (2005) atribuem a grande perda de energia às deformações dentro dos limites elásticos da partícula e ao atrito entre as partículas. De acordo com Fellows (2006), à medida que o tamanho das partículas diminui maior é a tensão a ser aplicada para se conseguir uma nova ruptura, por conseguinte mais energia é requerida ao processo. Deste modo, a especificação do tamanho do produto é importante para evitar gastos desnecessários com tempo e energia.

O trabalho mínimo (Equação 6) para ruptura de um material pode ser obtido através de um ensaio de tensão (ou compressão) em um equipamento que mede a força e a deformação até alcançar o ponto de quebra. Plotando o gráfico da força (F) pela deformação ( $\delta$ ), a área abaixo da curva representa a energia que foi necessária para romper a partícula (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005).

$$W_{\min} = \int_0^{\delta_{\max}} F d\delta \quad (\text{Equação 6})$$

Três relações empíricas são sugeridas para o cálculo da energia necessária ao equipamento para a realização da operação de redução do tamanho. Cada modelo assume que a energia de entrada por unidade de massa  $dE$  necessária para mudar o tamanho infinitesimal  $dx$  é proporcional ao tamanho da partícula. A fórmula generalizada pode ser escrita conforme apresentado na Equação 7.

$$\frac{dE}{dx} = cx^{-n} \quad (\text{Equação 7})$$

O valor de  $n$  está relacionado à obtenção da equação, enquanto  $c$  corresponde à constante empírica da lei. Para  $n$  igual a 1, chega-se a lei de Kick;  $n$  igual 2, lei de Rittinger;  $n$  igual a 3/2, lei de Bond. Suas fórmulas são dadas, respectivamente pelas Equações 8, 9 e 10.

$$E = K_k \ln \left( \frac{x_1}{x_2} \right) \quad (\text{Equação 8})$$

$$E = K_r \left( \frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right) \quad (\text{Equação 9})$$

$$E = K_b \left( \frac{1}{\sqrt{x_2}} - \frac{1}{\sqrt{x_1}} \right) \quad (\text{Equação 10})$$

Onde E (J/kg) é a energia necessária por massa de alimentação,  $x_1$  (m) é o tamanho médio inicial dos pedaços,  $x_2$  (m) é o tamanho médio dos pedaços moídos,  $K_k$  é a constante de Kick,  $K_r$  é a constante de Rittinger e  $K_b$  é a constante Bond.

O valor das constantes é dependente do tipo de equipamento e do material a ser moído, portanto devem ser calculados empiricamente (MACCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993). Smith (2011) aponta que a unidade da constante de Kick (J/kg) é diferente da constante de Rittinger (J.m/kg), uma vez que a lei de Kick estabelece que a energia é proporcional à razão da redução de tamanho (a energia necessária para reduzir o tamanho de 1 cm para 1 mm é a mesma para reduzir 100  $\mu\text{m}$  para 10  $\mu\text{m}$ ), enquanto a Equação de Rittinger sugere que a energia é proporcional à mudança da área superficial.

O modelo empírico de Bond propõe que a energia é proporcional à raiz quadrada da relação superfície-volume do produto. Sua constante pode ser estimada pelo índice de trabalho de Bond ( $E_i$ ). Este índice é definido como a energia necessária para reduzir uma quantidade de massa de uma partícula infinita a um tamanho onde 80 % do material consegue passar por uma peneira de 100  $\mu\text{m}$  (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005; SARAVACOS; MAROULIS, 2011; SMITH, 2011).

A constante de Bond é diretamente proporcional ao índice de trabalho de Bond, conforme mostra a Equação 11. O parâmetro  $f$  da Equação 7 pode assumir diferentes valores dependendo das unidades aplicadas ao modelo, conforme mostra a Tabela 15.

$$K_b = f \times E_i \quad (\text{Equação 11})$$

**Tabela 15 – Valores do parâmetro f em função das unidades usadas no modelo de Bond.**

E	$x_1$	$x_2$	$W_i$	f
kWh/ton	mm	mm	kWh/ton	0,3162
kJ/kg	mm	mm	kJ/kg	0,3162
kWh/ton	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	kWh/ton	10
kJ/kg	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	kJ/kg	10
hp/(ton/h)	cm	cm	kWh/ton	0,134

A lei de Kick obtém melhores resultados para moagens grosseiras (aumento relativamente pequeno da área superficial por unidade de massa) e a lei de Rittinger encontra melhores resultados em moagens finas (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005). A moagem grosseira possui a razão de redução de tamanho abaixo de 8:1. Essa razão pode ser maior do que 100:1 para as moagens consideradas finas (FELLOWS, 2006). Referente à lei de Bond, seus resultados funcionam bem para uma grande variedade de materiais em moagens médias e finas.

O método da lei de Bond utilizando o conceito do índice de trabalho produz estimativas mais realistas. Outra vantagem está associada à possibilidade de levar em consideração grandes tamanhos iniciais de partículas (MACCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993). Se o tamanho inicial do material for muito maior do que o obtido após o processo de moagem, pode-se dizer que a matéria prima possui dimensões infinitas e a Equação de Bond pode ser escrita conforme a Equação 12.

$$E = \frac{10E_i}{\sqrt{x_2}} \quad (\text{Equação 12})$$

A lei de Bond foi estruturada através de testes em escala de laboratório e industrial. Ao comparar o trabalho em ambas as escalas com objetivo de se obter a mesma redução de tamanho sob condições normatizadas, conseguiu-se estabelecer um meio simples de quantificar a relativa resistência de quebra de diferentes materiais. Deste modo, o objetivo básico de aplicar a lei de Bond para projetar equipamentos é satisfazer a relação de que a potência requerida para a moagem é igual a potência a ser projetada para o equipamento (MCIVOR, 1988).

Infelizmente não há dados na literatura sobre o índice de trabalho de Bond para a mandioca. Visando a liberação dos grânulos de amido do tecido vegetal, a operação de desintegração é importante para que a extração de amido de mandioca seja eficiente.

O índice de trabalho de Bond para o processo de desintegração da mandioca será estimado com base no conhecimento prático do processo. As informações referentes à potência e capacidade de operação do desintegrador (cevadeira) foram fornecidas pela empresa Paranaíba Máquinas Industriais LTDA, especializada em equipamento para produção de amidos com mais de 12 anos de experiência no mercado<sup>25</sup>. As informações estão apresentadas na Tabela 16.

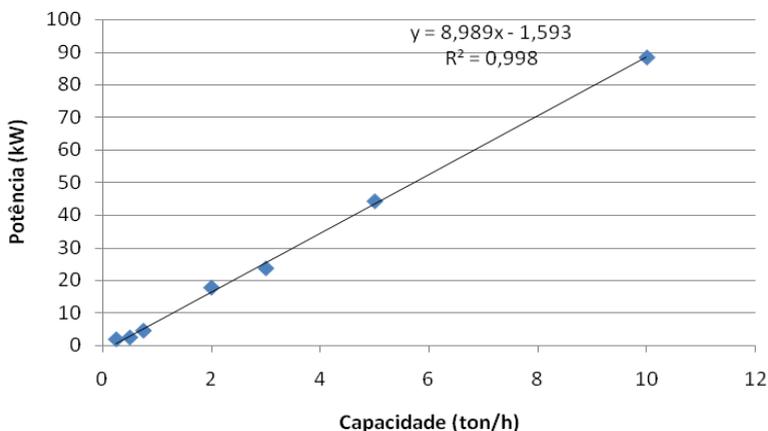
**Tabela 16 – Potência e capacidade de operação de desintegradores de mandioca.**

Potência (kW)	Capacidade (ton/h)
2,21	0,25
2,94	0,50
5,52	0,75
22,06	2,00
29,42	3,00
55,16	5,00
110,32	10,00

Fonte: Paranaíba Máquinas Industriais LTDA (2011)

Assumindo a eficiência de 80% do motor (JEKAYINFA; OLAJIDE, 2007), ao plotar o gráfico da potência pela capacidade de operação (Figura 45), tem-se pela Equação 12 que o coeficiente angular da reta resultante é igual a razão da constante de Bond ( $K_b$ ) pela raiz quadrada do tamanho final da partícula ( $x_2^{-1/2}$ ).

<sup>25</sup> Em relação aos valores da Tabela 11, foi esclarecido que foram obtidos através de testes feitos por outra empresa e também pelo recolhimento de informação diretamente de seus clientes.

**Figura 45 – Potência da operação por capacidade de operação.**

Estudo de Jacquy (1999) citado por Vilpoux (2003) relatou que a polpa da mandioca desintegrada foi reduzida a uma granulometria que variou de 325 a 500  $\mu\text{m}$  entre diferentes fecularias<sup>26</sup>. Os desintegradores de mandioca possuem uma peneira de saída, cujos furos podem variar de 1 a 2 mm de diâmetro (VILPOUX, 2003). Na extração, que é a etapa seguinte, o crivo da tela do extrator pode ter abertura até de 125 a 250  $\mu\text{m}$  (CEREDA, 2005; KUCZMAN, 2007). Uma vez que a extração objetiva a separação da polpa e do grânulo de amido<sup>27</sup>, é desejável que a polpa da massa desintegrada da mandioca tenha granulometria superior à peneira do extrator e inferior a peneira de saída do desintegrador.

Considerando um tamanho inicial ( $x_1$ ) infinito e  $x_2$  como 325 – 500  $\mu\text{m}$ , tem-se pela Equação 12 que o índice de trabalho de Bond foi estimado em uma faixa entre 58,34 e 72,36 kJ/kg<sup>28</sup>.

Ao estudar as características ótimas para moagem de pimenta preta para fins de extração de óleo, Murthy et al. (1999) assumiram como valor o índice de Trabalho de Bond de 60 kJ/kg.

Sharma et al. (2008) calcularam o índice de trabalho de Bond do arroz em três diferentes tipos de moedores. Para o arroz normal, obtiveram os valores de 712,66, 242,44, 382,91 kJ/kg para moedores de

<sup>26</sup> Foram 9 fecularias estudadas.

<sup>27</sup> Através de análise de difração de *laser*, Da et al. (2008) obtiveram um diâmetro médio de 24,15  $\mu\text{m}$  para os grânulos de amido após a desintegração.

<sup>28</sup> Trata-se de uma estimativa. Sua confirmação ou refutação depende de estudos experimentais.

pedra, mistura e coloidal, respectivamente. Em relação ao arroz parbolizado, os valores foram 1034,57, 1045,87 e 1214,40 kJ/kg, respectivamente.

A farinha, carne e grão de inhame foram objetos de estudo de Badmus, Raji e Akinoso (2013), cujos valores foram, respectivamente, 900, 1764 e 6480 kJ/kg.

Para a fibra de coco seca com 9,5% de umidade, Raghavendra et al. (2006) obtiveram um índice de trabalho de Bond de 741,6 kJ/kg.

Djantou et al. (2007) estudaram a moagem de mangas secas na forma fatiada e granulada submetidas a secagem convencional (55 °C) e a desidratação osmótica. A manga fatiada e a granulada que foram desidratadas osmoticamente tiveram como valor 392,4 e 529,2 kJ/kg, respectivamente. As mesmas secas convencionalmente tiveram como valor 1350 e 709,2 kJ/kg, respectivamente.

Velu et al. (2006) estudaram a moagem de milho submetidos a secagem em microondas, observaram que a umidade inicial e o tempo de secagem modificaram o índice de trabalho de Bond com valores que variaram de 292,0 a 1017,0 kJ/kg.

Snow et al. (1999) apresentam uma tabela com o índice de trabalho de Bond para diversos minerais, cujo valor médio, presente na tabela, é de 42,72 kJ/kg. O índice de trabalho de Bond superior para os alimentos pode ser atribuído a um maior limite elástico de modo que seja necessário aplicar mais energia para romper sua macroestrutura.

O índice de trabalho de Bond estimado para a mandioca, em comparação com outras fontes alimentícias citadas, exceto para consideração feita à pimenta preta, foi menor. Estudos experimentais são necessários para se obter uma conclusão mais precisa, mas, dado o valor estimado, a mandioca pode ter uma vantagem de ser relativamente fácil de ser desintegrada.

Estudos sobre textura podem contribuir para se ter uma melhor noção a respeito da facilidade ou dificuldade relativa da operação. Ao estudar 10 espécies de mandioca, Maieves et al. (2012) avaliaram a dureza das mandiocas cruas e cozidas. As forças de ruptura variaram de 24,88 a 42,77N para as primeiras e em torno de 5,2 a 12,1 para as segundas. Bryant, Jones e Grimm (2006) analisaram a textura do arroz cozido de duas espécies: *Koshihikari* e *Basmati*. A menor dureza obtida para cada espécie foi de 33,8 e 41,8 N, respectivamente.

A dureza superior do arroz cozido em comparação com a mandioca cozida pode indicar que o índice de trabalho de Bond é menor para a mandioca.

Embora carente de estudos na área alimentícia, em comparação com o estudo de redução de tamanho em minerais, a avaliação do índice de trabalho de Bond pode ajudar no melhoramento do processo de desintegração. O avanço tecnológico das cevadeiras pode ser facilitado ao correlacionar o índice de trabalho de Bond com diferentes variáveis do processo. Para os *rolling rolls*, por exemplo, a capacidade de operação está correlacionada com o diâmetro e largura dos discos, velocidade de rotação, distanciamento e densidade do material a ser processado (GUPTA; YAN, 2006).

Dentre os parâmetros que podem influenciar na eficiência da desintegração da mandioca (*rasping effect*), pode-se citar a estrutura e *design* do equipamento<sup>29</sup>, variedade da mandioca<sup>30</sup>, quantidade de água adicionada<sup>31</sup> e realização de uma pré-moagem<sup>32</sup> (PARANAÍ MÁQUINAS INDUSTRIAIS LTDA, 2013). Estudos experimentais de avaliação do índice de trabalho de Bond podem contribuir para a otimização e melhoria do processo.

---

<sup>29</sup> Dimensões do equipamento, transmissão de velocidade (que pode ser por acoplamento ou por conjunto de polias e correias), peneira de saída (tamanho da chapa e de seus furos) e superfície do disco giratório.

<sup>30</sup> O trabalho de MAIEVES et al. (2012) constatou diferença da dureza entre diferentes espécies de mandioca.

<sup>31</sup> O uso de água é variável. Em alguns casos a desintegração é feito a seco.

<sup>32</sup> Realizada em picadores que reduzem a raiz descascada a tamanhos que variam de 3 a 5 cm (VILPOUX, 2003).h



## 6 TEMPO DE SECAGEM AO SOL

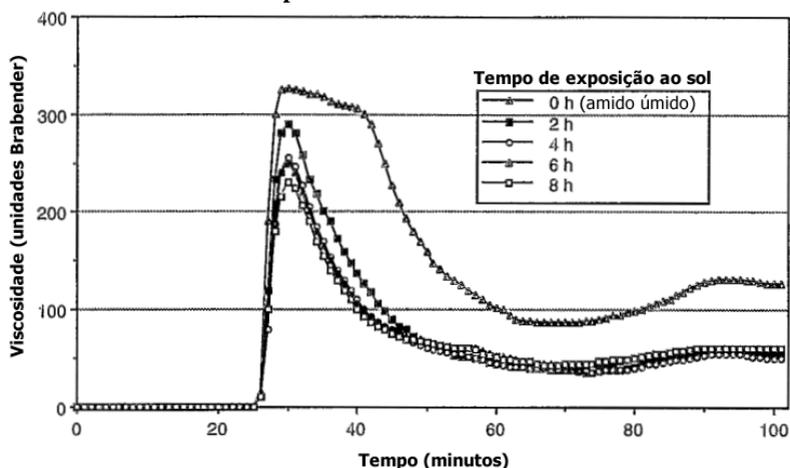
### 6.1 INTRODUÇÃO

O polvilho azedo, para adquirir sua principal propriedade, que é a capacidade de expansão, precisa ser submetido a um processo fermentativo e requer que ele seja seco ao sol. A secagem artificial, não produz polvilhos com qualidade de expansão (DUFOUR et al., 1995; BRABET et al., 1996; VATANASUCHART et al., 2005; DIAS et al., 2007; MARCON et al., 2009).

Em relação aos estudos que acompanharam a propriedade de expansão em função do tempo de fermentação, a secagem do amido fermentado é realizada integralmente ao sol, conforme a prática usual dos produtores (PEREIRA, 1994; ASHERI; VILELA, 1995).

A influência do tempo de secagem ao sol em função da propriedade de expansão, contudo, tem sido pouco estudada na literatura. Neste particular, Plata-Oviedo (1998) submeteu o amido fermentado a diferentes tempos de secagem ao sol seguido de secagem em estufa por 12 horas. Destaca-se o trabalho de Dufour et al. (1995) que, realizando um experimento similar, também avaliaram as propriedades viscoamilográficas do polvilho azedo (Figura 46).

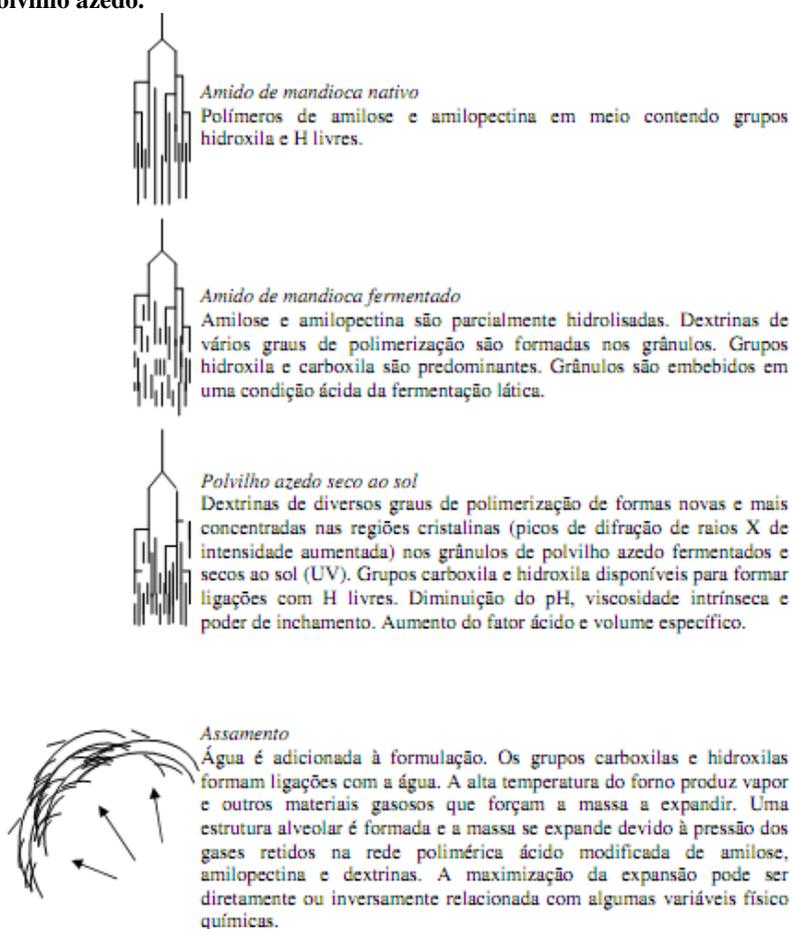
**Figura 46 – Influência da exposição ao sol na propriedade reológica do polvilho azedo fermentado por 33 dias.**



Fonte: Dufour et al. (1995).

A propriedade de expansão do polvilho azedo tem sido associada à modificação oxidativa do amido de mandioca que ocorre durante a fermentação e secagem ao sol (PLATA-OVIEDO, 1998; DEMIATE et al., 2000; TAKISAWA., 2004; FRANCO et al., 2010). Acerca disso, Marcon et al. (2009) propuseram o mecanismo que está ilustrado na Figura 47. Durante a fermentação há um ataque enzimático aos grânulos de amido, formando dextrinas com diferentes graus de polimerização e produção de ácidos orgânicos. Na secagem, as dextrinas formadas se concentram na região cristalina do grânulo, com a presença de grupos carboxilas e hidroxilas livre. Estes grupos formam ligação com a água adicionada na formulação dos biscoitos. No assamento, a alta temperatura do forno forma vapor d'água que no choque contra a rede faz a massa expandir.

**Figura 47 – Cenário estimativo do mecanismo de modificação química do polvilho azedo.**



$$\text{Max E} = f(\text{pH, DA, VI, PI, FA, VE})$$

E – Propriedade de expansão; DA - Densidade absoluta; VI - Viscosidade intrínseca; PI - Poder de inchamento; FA - Fator ácido; VE - Volume específico.  
Fonte: Marcon et al. (2009).

Sendo o vapor d'água e outros materiais gasosos os responsáveis pela expansão da massa do biscoito, Marcon (2009) propôs o método da percentagem de perda de peso, um método para avaliar a propriedade de expansão. Segundo o trabalho, um percentual de perda de peso de aproximadamente 30% correspondeu a uma expansão de baixa

performance (índice de expansão em torno de 1,4). Uma expansão de alta performance foi obtida com percentual de perda de peso próximo a 40% (índice de expansão em torno de 2). A motivação para sugestão deste método foi devido a baixa reprodutividade do método de deslocamento de semente de painço.

Sobre a perspectiva da aplicação industrial, permanece a dúvida do tempo necessário de exposição ao sol para que o polvilho azedo adquira a propriedade de expansão. Apesar dos estudos mencionados anteriormente, talvez pela pouca divulgação dos mesmos, sua aplicação não foi testada pelos produtores. De modo mais imediato, o conhecimento do tempo necessário de exposição ao sol permitiria dividir a secagem em duas etapas: secagem ao sol (lento) e secagem artificial (rápido).

Futuramente, avanços sobre a elucidação do mecanismo de modificação oxidativa que ocorre durante a secagem pode permitir com que a secagem passe a poder ser realizada integralmente de modo artificial.

Segundo os trabalhos de Dufour et al. (1995) e Plata-Oviedo (1998), quatro horas de secagem foram suficientes para o polvilho azedo adquirir a máxima propriedade de expansão. Os primeiros associaram este resultado ao aumento da tendência da capacidade de gelatinização (diminuição da viscosidade máxima observada na Figura 46).

Diante de tal cenário, este trabalho tem como objetivo estudar a capacidade de expansão do polvilho azedo em até 6 horas de exposição de secagem ao sol.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.2.1 Procedimento experimental

Amostras de polvilho doce comercial Yoki (Paranavaí, Paraná) foram fermentadas por 61, 74 e 85 dias. A primeira e a terceira fermentação foram realizadas do modo tradicional e a segunda foi proveniente da fermentação modificada com adição de 0,5% (v/v) de xarope de glicose de milho (Mix, São Paulo) (MARCON, 2004). Em cada tanque foram adicionados 10 L de água e 2,5 kg de amido comercial previamente homogeneizado em 1:4 (m/v) (amido/água).

As fermentações tiveram início no dia 18 de Novembro de 2011 e foram até Fevereiro de 2012. Todas foram realizadas sem adição de

inóculo. A temperatura do ambiente e nos tanques de fermentação foi de  $25 \pm 1$  °C.

Após a fermentação, o polvilho azedo foi colocado para secar e 200 – 300 g de polvilho foram retiradas em diferentes tempos de exposição ao sol e continuaram a secar em estufa com circulação de ar a 45 °C. O critério para o final da secagem foi o mesmo adotado por produtores, onde a massa de polvilho azedo é pressionada na mão até que não mais se perceba a formação de aglomerado.

### **6.2.2 Temperatura e umidade relativa**

A temperatura e umidade relativa do ambiente durante a secagem ao sol foram medidas com o uso de um higrômetro digital no momento da coleta das amostras.

### **6.2.3 Umidade**

A análise de umidade foi realizada colocando-se as amostras em estufa a 105 °C até atingir peso constante (AOAC, 2005).

### **6.2.4 Poder de expansão**

Biscoitos foram confeccionados segundo a metodologia prática descrita por Maeda e Cereda (2001). Ela consiste na mistura de 50 g de polvilho com 40 mL de água fervente. A massa foi modelada em biscoitos redondos de aproximadamente 10 g e foram levados ao forno elétrico termostatizado a temperatura de 200 °C por 25 minutos.

Os biscoitos depois de assados e resfriados foram pesados e avaliados pelo método de deslocamento de sementes de painço em copo de Becker, sendo o volume das sementes deslocadas medidas em proveta. O volume específico foi calculado pela razão do volume das sementes deslocadas e a massa dos biscoitos após o forneamento (PIZZINATTO; CAMPAGNOLLI, 1993).

### **6.2.5 Estatística**

Todas as análises foram realizadas em triplicata, exceto para a elaboração dos biscoitos e determinação do poder de expansão, onde foram confeccionados de cinco a oito unidades. Os resultados foram expressos como médias  $\pm$  desvio padrão, submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao

nível de 5% de probabilidade utilizando a planilha de cálculo do Centro de Ciência Agrárias da Universidade Federal de São Carlos versão 14/10/2009 (UFSCAR, 2012).

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Amidos fermentados no presente trabalho foram secos mediante diferentes tempos de exposição ao sol, os resultados da expansão dos biscoitos confeccionados com estes diferentes amidos estão apresentados nas Tabelas 17, 18 e 19, provenientes da fermentação tradicional de 61 dias (FT61), da fermentação modificada de 74 dias (FM74) e fermentação tradicional de 84 dias (FT84), respectivamente.

A maior expansão foi obtida para a amostra FT61 após 4 horas de secagem ao sol, contudo foi seguida de decréscimo em 6 horas. Na fermentação FM74, a maior expansão foi quando o polvilho foi seco inteiramente sob a radiação solar. Sob tempos parciais de exposição ao sol, tal como em FT61, apresentou um valor máximo, mas no tempo de 3 horas. A fermentação FT84 apresentou expansão destacada em 6 horas de exposição ao sol, nas demais não houve diferença significativa entre os tratamentos.

A fermentação modificada (FM61) foi a que apresentou maior diferença significativa entre as expansões. Este resultado pode ser devido à adição de glicose inicial ter tornado a fermentação mais intensa, com formação de mais dextrinas. Marcon (2004), Reginatto et al. (2009) e Aquino et al. (2013) observaram que a fermentação modificada resultou em um aumento superior da acidez na fase inicial da fermentação em comparação à tradicional. Marcon et al. (2006) observaram que a fermentação modificada favoreceu o aumento do dano aos grânulos de amido.

Por conta da possibilidade de ter sido produzida mais dextrinas na fermentação modificada, elas podem ter tido maior dificuldade para se concentrarem nas zonas cristalinas do grânulo durante a secagem ao sol<sup>33</sup>, resultando em expansões mais variadas devido à formação de diferentes redes poliméricas durante o assamento. Deste modo, a sensibilidade da expansão ao tempo de exposição pode estar associada com o padrão de cristalinidade do grânulo de polvilho azedo.

---

<sup>33</sup> Marcon et al. (2009) observaram mudança do padrão da cristalinidade do polvilho azedo após sua fermentação e secagem ao sol (Figura 47).

**Tabela 17 – Expansão por tempo de secagem ao sol em fermentação tradicional por 61 dias sem inoculo (FT61).**

Tempo de secagem ao sol	Umidade (b.s) <sup>*</sup>	Umidade final (b.s) <sup>*</sup>	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Volume específico (ml/g)	Perda de peso (%)
1 h 40 min	0,6562	0,1893	30,2	65	2,53 ± 0,27 <sup>b</sup>	24,76
2 h 20 min	0,6395	0,2054	34,3	61	2,56 ± 0,26 <sup>b</sup>	26,98
3h 35 min	0,5537	0,1572	31,4	65	2,86 ± 0,25 <sup>b</sup>	28,30
4 horas	0,4841	0,1656	32,8	72	4,46 ± 0,42 <sup>a</sup>	34,54
6 horas	0,3554	0,1547	31,2	60	3,01 ± 0,34 <sup>b</sup>	30,46
Integralmente ao sol <sup>**</sup>	0,1611	0,1611	29,5	62	2,88 ± 0,62 <sup>b</sup>	28,49

\* b.s: base seca ( $\frac{g_{\text{água}}}{g_{\text{povilho seco}}}$ ).

\*\* 9 horas de exposição ao sol

\*\*\* Média de 5 a 8 biscoitos.

\*\*\*\* Os valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 18 – Expansão por tempo de secagem ao sol em fermentação modificada de 74 dias sem inoculo (FM74).**

Tempo de secagem ao sol	Umidade (b.s)*	Umidade final (b.s)*	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Volume específico (ml/g)	Perda de peso (%)
1 hora	0,7017	0,1505	30,4	63	2,59 ± 0,51 <sup>d</sup>	28,79
2 horas	0,6500	0,1557	33,3	49	2,34 ± 0,31 <sup>d</sup>	28,66
3 horas	0,5617	0,1609	32,1	60	4,18 ± 0,33 <sup>b</sup>	38,51
4 horas	0,5141	0,1659	33,4	55	3,45 ± 0,26 <sup>c</sup>	29,00
5 horas	0,3898	0,1721	36,0	54	3,39 ± 0,17 <sup>c</sup>	29,73
6 horas	0,3198	0,1655	34,8	55	3,49 ± 0,53 <sup>c</sup>	30,22
Integralmente ao sol**	0,1605	0,1605	31,2	57	6,27 ± 0,66 <sup>a</sup>	37,05

\* b.s: base seca ( $\frac{g_{\text{água}}}{g_{\text{povinho seco}}}$ ).

\*\* 9 horas de exposição ao sol

\*\*\* Média de 5 a 8 biscoitos.

\*\*\*\* Os valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 19 – Expansão por tempo de secagem ao sol em fermentação tradicional de 84 dias sem inoculo (FT84).**

Tempo de secagem ao sol	Umidade (b.s)*	Umidade final (b.s)*	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Volume específico (ml/g)	Perda de peso (%)
1 hora	0,7832	0,1783	32,4	64	3,13 ± 0,26b	37,58
2 horas	0,7010	0,1594	39,0	56	3,46 ± 0,33ab	40,20
3 horas	0,6576	0,1735	31,8	48	3,16 ± 0,26b	36,75
4 horas	0,5559	0,1688	33,5	55	3,39 ± 0,30b	28,75
5 horas	0,4724	0,1663	32,3	59	2,99 ± 0,29b	30,39
6 horas	0,3997	0,1639	30,8	53	3,93 ± 0,35a	31,06
Integralmente ao sol**	0,1563	0,1563	28,4	55	3,15 ± 0,26b	27,52

\* b.s: base seca ( $\frac{g_{\text{água}}}{g_{\text{povilho seco}}}$ ).

\*\*11 horas de exposição ao sol

\*\*\*Média de 5 a 8 biscoitos.

\*\*\*\* Os valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na Tabelas 20, 21 e 22 são apresentados os resultados das propriedades viscoamilográficas de FT61, FM74 e FT84, respectivamente. A temperatura de gelatinização nas três fermentações ficou em torno de 70°C, não sendo afetada pelo tempo de exposição ao sol. Exceto pela FT84, a viscosidade máxima e a quebra apresentaram tendência de aumento conforme o tempo de exposição ao sol, comportamento oposto ao obtido por Dufour et al. (1995). O *setback*, que representa a tendência de retrogradação, com exceção da FT84, não apresentou diferença significativa em relação ao tempo de exposição ao sol.

A tendência do aumento da viscosidade máxima que foi observada durante a secagem ao sol pode estar associada a um ataque preferencial à amilose durante a fermentação, aumentando a proporção entre região cristalina e amorfa do grânulo durante a secagem ao sol. A viscosidade máxima está relacionada com a tendência à gelatinização. Segundo Rocha, Demiate e Franco (2008), uma maior proporção das regiões amorfas contribui para a diminuição da resistência à gelatinização, pois ocorre a diminuição do ponto de fusão das regiões cristalinas. Os resultados deste trabalho sugerem que pode ter ocorrido o oposto.

Seguindo o mesmo raciocínio, na fermentação de Dufour et al. (1995), o resultado pode ter sido o inverso: ataque preferencial à amilopectina com aumento da proporção entre as regiões amorfas e cristalinas do grânulo<sup>34</sup>. Em ambos os trabalhos, o *setback* não sofreu mudanças significativas. O aumento do *setback* está relacionado com a maior proporção de amilose (SINGH et al., 2003; PERONI; ROCHA; FRANCO, 2006), podendo indicar que a modificação oxidativa durante a secagem do polvilho azedo ocorre preferencialmente na região cristalina do grânulo, conforme sugere o modelo de Marcon et al. (2009).

---

<sup>34</sup> Talvez por ter sido um trabalho pioneiro na abordagem da influência do tempo de exposição ao sol, os autores apenas constataram a diminuição da viscosidade máxima em função do aumento do tempo de exposição. Não apresentaram hipóteses na discussão para justificar o comportamento obtido.

**Tabela 20 – Propriedades da pasta em fermentação tradicional de 61 dias (FT61) sem inoculo em diferentes tempos de exposição ao sol.**

Tempo de exposição ao sol	Viscosidade máxima (cP)	Quebra (cP)	Setback (cP)	Temperatura de gelatinização (°C)
1h 40 min	2456,0 <sup>c</sup> ± 18,4	1540,5 <sup>c</sup> ± 20,5	365,0 <sup>a</sup> ± 1,4	70,53 <sup>a</sup> ± 0,04
2h 20 min	2445,0 <sup>c</sup> ± 11,3	1540,5 <sup>c</sup> ± 9,2	352,0 <sup>a</sup> ± 4,2	70,10 <sup>a</sup> ± 0,57
3h 35 min	2521,5 <sup>b</sup> ± 21,9	1597,0 <sup>b</sup> ± 18,4	359,5 <sup>a</sup> ± 2,1	70,15 <sup>a</sup> ± 0,64
4 horas	2585,0 <sup>a</sup> ± 7,1	1647,0 <sup>ab</sup> ± 5,7	351,0 <sup>a</sup> ± 7,1	70,50 <sup>a</sup>
6 horas	2615,0 <sup>a</sup> ± 1,4	1677,0 <sup>a</sup> ± 4,2	364,5 <sup>a</sup> ± 7,8	70,55 <sup>a</sup> ± 0,07

\* Os valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 21 – Propriedades da pasta em fermentação modificada de 74 dias sem inoculo (FM64) em diferentes tempos de exposição ao sol.**

Tempo de exposição ao sol	Viscosidade máxima (cP)	Quebra (cP)	Setback (cP)	Temperatura de gelatinização (°C)
1 hora	2410,0 <sup>cd</sup> ± 4,2	1550,5 <sup>bc</sup> ± 10,6	367,0 <sup>a</sup> ± 7,8	70,50 <sup>a</sup>
2 horas	2401,0 <sup>d</sup> ± 31,1	1521,5 <sup>c</sup> ± 20,5	358,0 <sup>a</sup> ± 2,8	70,50 <sup>a</sup> ± 0,07
3 horas	2466,0 <sup>bc</sup> ± 4,2	1571,0 <sup>b</sup> ± 8,5	348,0 <sup>a</sup> ± 8,5	70,15 <sup>a</sup> ± 0,64
4 horas	2473,0 <sup>b</sup> ± 9,9	1564,5 <sup>b</sup> ± 6,4	343,5 <sup>a</sup> ± 3,5	70,08 <sup>a</sup> ± 0,60
5 horas	2472,5 <sup>b</sup> ± 13,4	1567,0 <sup>b</sup> ± 1,4	336,5 <sup>a</sup> ± 13,4	70,10 <sup>a</sup> ± 0,71
6 horas	2540,0 <sup>a</sup> ± 9,9	1634,5 <sup>a</sup> ± 4,9	373,5 <sup>a</sup> ± 0,7	70,60 <sup>a</sup> ± 0,07

\* Os valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 22 – Propriedades da pasta em fermentação tradicional de 84 dias sem inoculo (FT84) em diferentes tempos de exposição ao sol.**

Tempo de exposição ao sol	Viscosidade máxima (cP)	Quebra (cP)	Setback (cP)	Temperatura de gelatinização (°C)
1 hora	1843,5 <sup>d</sup> ± 17,7	1109,0 <sup>e</sup> ± 17,0	305,5 <sup>bc</sup> ± 7,8	70,68 <sup>a</sup> ± 0,04
2 horas	2272,0 <sup>b</sup> ± 12,7	1488,0 <sup>c</sup> ± 9,9	314,0 <sup>abc</sup> ± 2,8	70,60 <sup>a</sup> ± 0,07
3 horas	1530,0 <sup>e</sup> ± 31,1	995,0 <sup>f</sup> ± 15,6	213,0 <sup>d</sup> ± 8,5	70,60 <sup>a</sup>
4 horas	2031,0 <sup>c</sup> ± 25,5	1253,0 <sup>d</sup> ± 8,5	297,5 <sup>c</sup> ± 3,5	70,50 <sup>a</sup>
5 horas	2390,5 <sup>a</sup> ± 20,5	1569,0 <sup>b</sup> ± 2,8	330,5 <sup>ab</sup> ± 13,4	70,50 <sup>a</sup> ± 0,14
6 horas	2451,5 <sup>a</sup> ± 17,7	1627,0 <sup>a</sup> ± 1,4	342,5 <sup>a</sup> ± 0,7	70,48 <sup>a</sup> ± 1,31

\* Os valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O comportamento peculiar das propriedades viscoamilográficas que foi observado na FT84 pode estar relacionado com o tempo longo da fermentação. Permanecendo mais tempo no meio ácido (fase 3), os micro-organismos resistentes diminuíram sua atividade amilolítica, consumindo preferencialmente as dextrinas já presentes no meio, resultando em um meio com dextrinas de baixo grau de polimerização. Isso pode não ter afetado a propriedade de expansão, mas modificou as propriedades viscoamilográficas do polvilho em função do tempo de exposição ao sol.

Em todas as fermentações, as propriedades viscoamilográficas não comprometeram a capacidade de expansão do polvilho azedo, o que também foi verificado por Pereira (1994), Ascheri e Vilela (1995) e Marcon et al. (2007).

A percentagem de perda de peso foi calculada como critério qualitativo da expansão. Os resultados das Tabelas 17 e 18 parecem comportar uma relação qualitativa entre expansão e perda de peso, contudo o mesmo não se observa em relação à Tabela 19. Na FT84, as expansões sem diferença significativa apresentaram um percentual de perda de peso que variou de 27,52 a 40,20%. Isso pode ter relação com o comportamento verificado nas propriedades viscoamilográficas da Tabela 22.

A lógica do método do percentual da perda de peso é que a água adicionada para a confecção dos biscoitos de polvilho vaporiza e expande o biscoito ao se chocar com a rede formada no assamento. Deste modo, quanto maior a perda de peso, mais água foi vaporizada e maior a expansão do biscoito. Na FT84, contudo, a estrutura do grânulo de alguma forma foi afetada. A expansão ocorreu, mas parte da água desprendida pode ter estado fracamente ligada (“livre”), sendo liberada antes da rede sido formada no assamento. O oposto parece ter ocorrido também: pouca água foi vaporizada, mas, talvez devido a uma rede mais frágil, foi suficiente para expandir de modo semelhante às anteriores.

Sendo assim, o desvio do comportamento esperado pode, em um caso, estar relacionado com a hipótese de que nem toda água desprendida tenha contribuído para a expansão da rede formada pela massa do biscoito. Por outro lado, pode ter ocorrido pouca perda de peso, mas a água desprendida foi suficiente para expandir a rede, devido a uma maior fragilidade. Os resultados deste trabalho sugerem que o percentual de perda de peso pode não ser um método confiável em fermentações longas.

Os resultados deste trabalho indicam que o tempo ótimo de exposição ao sol foi influenciado pela fermentação. Dufour et al. (1995)

e Plata-Oviedo (1998) obtiveram resultados diferentes: rápido aumento da propriedade de expansão até quatro horas, seguido de estabilidade até oito horas. Vale observar que em ambos os estudos, as amostras de polvilho azedo foram provenientes de uma indústria, enquanto as fermentações FT61, FM74 e FT 84 foram realizadas em escala laboratorial e com uso de polvilho doce comercial, podendo ser esta uma das causas da diferença.

Outro método de secagem do polvilho azedo que tem sido estudado é através da substituição da radiação solar por secagem com uso de lâmpadas ultravioleta em estufas. Ao analisar a secagem com UVA e UVC, Plata-Oviedo (1998) obteve expansão inferior ao polvilho azedo seco ao sol. Machado et al. (2012) testaram a secagem com UVB e UVC e não obtiveram diferença significativa na expansão do polvilho azedo seco ao sol e em UVB, entretanto os polvilhos secos artificialmente tiveram uma grande redução da sua acidez, o que provavelmente modificaria sua qualidade em uma análise sensorial.

Um detalhe importante a ser observado nos estudos de Plata-Oviedo (1998) e Machado et al. (2012) é que o polvilho azedo foi seco por 12 e 8 horas, respectivamente. Na modificação química do amido de mandioca com ácido láctico seguido de secagem artificial com lâmpadas ultravioleta, Vatanasuchart et al. (2005) obtiveram as maiores expansões com 7 e 9 horas com decaimento em 11 e 15 horas de secagem em lâmpada UVB e UVC. Devido ao tempo de processo, esta alternativa pode não ser viável de ser aplicada em escala industrial. Neste sentido, a metodologia de Franco et al. (2010) pode ser alvo para estudos futuros. Os amidos (mandioca e milho) acidificados com ácido láctico foram distribuídos em uma mesa de 0,4 m<sup>2</sup>, em 5 cm de espessura. Acima desta mesa, com 8 cm de altura para o material, lâmpadas UV foram fixadas. As lâmpadas funcionaram durante 10 minutos dissipando 90 kJ/0,4 m<sup>2</sup> de energia no total. Depois deste tratamento, os amidos foram secos em um *flash drier* piloto por 5 segundos deixando o secador com umidade de 12%.

Os jiras para secagem do polvilho azedo ao sol ocupam grandes áreas. Além disso o tempo de secagem, dependendo das condições climáticas, pode variar de 7 a 16 horas, o que pode corresponder a 1 ou 2 dias de secagem (PLATA OVIEDO, 1998; DINIZ, 2006). Deste modo, a diminuição do tempo de secagem do polvilho azedo sem a perda da qualidade do produto pode contribuir para a melhoria do processo.

## 6.4 CONCLUSÃO

A expansão dos biscoitos de polvilho foram influenciadas pela fermentação e tempo de exposição ao sol.

A percentagem de perda de peso como método qualitativo para avaliar a propriedade de expansão não se mostrou suficiente na fermentação tradicional de 84 dias.

Os motivos para as mudanças das propriedades viscoamilográficas e da propriedade de expansão em função do tempo de exposição ao sol permanecem indefinidas, sendo necessários estudos futuros com objetivo de realizar investigações mais apuradas.

## 7 CONCLUSÃO GERAL

As características artesanais não representam justificativa para a falta de padrão em produtos agroindustriais; embora o processamento do amido, desde a natureza diversa dos seus grânulos, inclusive para uma mesma origem, constitua um grande desafio.

Sendo a origem do grânulo um fator importante, as agroindústrias devem seguir as indicações agrônômicas para o plantio das raízes. As raízes com maior quantidade de amido e com facilidade de extração são mais recomendadas ao processo industrial.

As questões ambientais e o elevado uso de água são problemas recorrentes principalmente de pequenos e médios produtores. Este problema pode ser minimizado com a otimização do uso de água no processo, sem comprometer a qualidade do amido extraído. Com esta finalidade estudos para otimização de parâmetros operacionais fazem-se necessários.

Sendo o polvilho azedo um amido fermentado, os métodos de fermentação modificados (adição de xarope de glicose ou xarope de glicose e cloreto de amônio ou ácido láctico) bem como o emprego de inóculo podem ser instrumentos para melhorar o padrão e produtividade do processo, tendo em vista que a fermentação é a etapa mais longa do processo de produção do polvilho azedo.

Os estudos que acompanharam a propriedade de expansão em função do tempo da fermentação industrial apontam para a existência de três períodos. O primeiro caracterizado pelo rápido crescimento da propriedade de expansão. No segundo, a propriedade de expansão permanece relativamente estável. Por último, ocorre um decréscimo da propriedade. Deste modo, é prudente que o polvilho seja retirado na fase de estabilidade. Permanece, contudo, a dificuldade de parâmetros para determinar o fim da fermentação. Neste sentido, a técnica de acompanhar a acidez titulável da água sobrenadante tem se mostrado promissora.

A estimativa do índice de trabalho de Bond não teve a intenção primária de obter um valor concreto e universal. Entretanto, uma vez que o processo de desintegração tem influência sobre o rendimento do processo e que são diversos os parâmetros e variáveis que podem influenciar nesta etapa de processo, o índice de trabalho de Bond pode servir para auxiliar na investigação das condições ótimas da desintegração, visando o menor consumo energético junto a maior liberação de grânulos de amido.

A julgar pelo valor índice de trabalho de Bond estimado e comparando-o os de outros alimentos, a mandioca parece ser relativamente econômica de ser desintegrada. Contudo, são necessários estudos experimentais para confirmar ou refutar a estimativa realizada neste trabalho.

Contrastando com estudos anteriores que apontaram quatro horas de exposição ao sol como suficiente para que o polvilho azedo adquirisse expansão máxima, os resultados deste trabalho mostraram que o tempo ótimo de exposição foi dependente da fermentação. Os motivos para divergência possivelmente estão relacionados com a complexidade do mecanismo de expansão do polvilho azedo, cujo processo engloba as transformações dos grânulos de amido na fermentação e secagem com irradiação ultravioleta e as mudanças que ocorrem no forno durante o assamento.

A secagem do polvilho azedo, principalmente devido às grandes áreas requeridas, representa uma grande barreira no processo produtivo, fazendo necessário que estudos futuros sejam feitos a fim de sanar esta dificuldade.

Toda a revisão presente neste trabalho tenta chamar a atenção para necessidade de estudos que visem auxiliar o processo produtivo do polvilho azedo. O polvilho azedo é um produto de característica artesanal e que sofre da falta de padronização. Atualmente, não recebe definição adequada na legislação brasileira.

É evidente a necessidade de profissionalização do setor, que poderá ser organizado em cooperativas ou associações, cujas ações integradas poderão subsidiar a criação de laboratório e a contratação de pessoal especializado.

## REFERÊNCIAS

ABAM. Pão de Queijo expande mercado de Polvilho Azedo. **Revista ABAM**, São Paulo, v. 7, n. 15, p. 4-7, maio/junho 2009.

AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.297-307, 2004.

AGUILAR, P. V.; QUESADA, Y. A.; MARÍN, R. L.; LEIVA, R. B. Características de calidad y digestibilidad in vitro del almidón agrio de yuca (*Manihot esculenta*) producido en Costa Rica. **Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, v.3, n.1, p. 1-13, 2012.

ALVEZ, L. R.; FELIPE, F. I. **Produção é a menor em 7 anos, mas valor bruto da produção é o 2º maior da história**. São Paulo: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada; 2012 Mai. 9p. Disponível em: <[http://cepea.esalq.usp.br/pdf/Fecula\\_Mand\\_Producao\\_2011\\_2012.pdf](http://cepea.esalq.usp.br/pdf/Fecula_Mand_Producao_2011_2012.pdf)> . Acesso em 25 de junho de 2012.

AMANTE, E. R. **Caracterização de amido de variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e de batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 1986. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

AMPE, F.; SIRVENT, A.; ZAKHIA, N. Dynamics of microbial community responsible of traditional sour cassava starch fermentation studied by denaturing gradient gel electrophoresis and quantitative rRNA hybridization. **International Journal of Food Microbiology**, v. 65, p. 45-54, 2001.

ANDERSON, R. A. Corn wet milling industry. In: INGLET, G. E. **Corn: culture, processing, products**. Westport: AVI Publishing Company, 1970. p. 151-170.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18. ed. Gaithersburg: AOAC, 2005.

AQUINO, A. C. M. DE S.; PEREIRA, J. M.; WATANABE, L. B.; AMANTE, E. R. Standardization of the sour cassava starch reducing the processing time by fermentation water monitoring. **International Journal of Food Science and Technology**, artigo aceito para publicação, 2013.

ARIEIRA, J.A.; DIAS-ARIEIRA, C.R.; FUSCO, J.P.A.; SACOMANO, J.B. Cadeia de produção do amido de mandioca (*Manihot sculenta*): um estudo dos relacionamentos e da coordenação da C-Vale Terra Roxa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXIX, 2009, Salvador. **Anais...** Salvador ABEBRO, 2009.

ASCHERI, D. P. R; VILELA, E. R. Alterações do Polvilho de Mandioca pela Fermentação no Fabrico de Biscoitos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 269-279, 1995.

ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. S.; ASCHERI, J. L. R.; FREITAS JUNIOR, E. A. Propriedades termodinâmicas de adsorção de água do amido de rizoma do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.2, p.454-462, 2009.

AVANCINI, S. R. P. **Caracterização físico-química, microbiológica e toxicológica das águas de fermentação do amido de mandioca na produção do polvilho azedo**. 2007. Tese de Doutorado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

BADMUS, A. A.; RAJI, A. O.; AKINOSO, R. Effect of Process Parameters on Work Index, Milling Efficiency and Some Technological Properties of Yam Flour Using Attrition Mill. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 1, p. 160-168, 2013.

BAILEY, K. **Studies on the amylolytic breakdown of damaged starch in cereal and non-cereal flours**. 1999. Thesis (Masters in Philosophy). Dublin Institute of Technology, Dublin, 1999.

BALL, S. G.; VAN DE WAL, M. H. B. J.; VISSER, R. G. F. Progress in understanding the biosynthesis of amylose. **Trends in Plant Science**, v.3, n.12, p.462-467, 1998.

BELEIA, A.; BUTARELO, S. S.; SILVA, R. S. F. Modeling of starch gelatinization during cooking of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Food Science and Technology**, v.39, n.4, p.400-405, 2006.

BANCO CENTRAL. **Calculadora do Cidadão**: correção de valores (IPCA-E/IBGE). Disponível em: <www.bcb.gov.br>. Acesso 01 mai. 2013.

BARANA, A. C. Digestão Anaeróbia de Manipueira. In: CEREDA, M. P. **Manejo, Uso e Tratamento de Subprodutos da industrialização da Mandioca**. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. v.4, cap.11, p.151-169.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; ORTEGA-RIVAS, E.; JULIANO, P.; YAN, H. **Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality**. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2005.

BARRETO, R. J. R.; FARIAS, R. O.; DE SOUZA, C. S.; DOS SANTOS, A. A.; MARQUES, J. J.; RAMOS, A. L. D. Otimização da Relação Água/Massa Utilizada para Produção de Fécula de Mandioca. In: XI Congresso Brasileiro de Mandioca, 2005, Campo Grande - MS. **Anais... Ciência e Tecnologia para a raiz do Brasil**, 2005. v. 1. p. 1-2.

BIAZOTTO, L. M. **Utilização das águas da fermentação do polvilho azedo na elaboração de uma nova bebida**. 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1995. 223 p.

BRABET, C.; CHUZEL, G.; DUFOUR, D.; RAIMBAULT, M., GIRAUD, J. Improving cassava sour starch quality in Colombia. In: DUFOUR, D.; O'BRIEN, G. M.; BEST, R. **Cassava flour and starch: progress in research and development**. Cali: CIRAD/CIAT, 1996. Cap. 27, p. 241-246.

BREUNINGER, W. F.; PIYACHOMKWAN, K.; SRIROTH, K. Tapioca/cassava starch: production and use. In: BEMILLER, J.; WHISTLER, R. **Starch: Chemistry and Technology**. 3. ed. New York: Academic Press, 2009, p.541-568.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 23, de 14 de dezembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico dos produtos amiláceos derivados da raiz de mandioca, definindo os seus POCs com os requisitos de identidade e qualidade, amostragem, modo de apresentação e a marcação ou rotulagem. **Diário Oficial da União**, 15 dez., 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução nº 12 de Julho de 1978 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Aprova as normas técnicas especiais do estado de São Paulo, revistas pelo CNNPA, relativas a alimentos e bebidas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1978.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução nº 263 de Setembro de 2005 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2005.

BRYANT, R. J.; JONES, G.; GRIMM, C. Texture profile and volatile compound analyses of *Koshihikari* and *Basmati* rice prepared in different rice cookers. In: WELLS, B. R. **Rice Research Series 2006**. Arkansas Agricultural Experiment Station Research Series 550, 2006. p.370-376.

BULEÓN, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.23, p.82-112, 1998.

BUTOLO J. E. **Qualidade dos ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2002. 430p.

CARVALHO, E. P.; CANHOS, V. P.; RIBEIRO, V. E.; CARVALHO, H. P. Polvilho azedo: aspectos físicos, químicos e microbiológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 31, n. 2, p. 129-137, 1996.

CÁRDENAS, O. S.; BUCKLE, T.S. Sour cassava starch production:A preliminary study. **Journal of Food Science**, v. 45, n.6, p.1509–1512, 1980.

CEPEA. Análise econômica mensal sobre o setor de mandioca e derivados no Brasil: dezembro/2011. **Indicadores de preços – mandioca**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, [data desconhecida].

CEREDA, M. P. **Caracterização, usos e tratamentos de resíduos da industrialização da mandioca**. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, UNESP, 1996. 56p.

CEREDA, M. P. Padronização para ensaios de qualidade da fécula de mandioca fermentada (polvilho azedo). I. Formulação e preparo de biscoito. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.17, n.3, p.287-295, 1983.

CEREDA, M. P. **Processamento de Mandioca**. Viçosa: CPT, 2007. 222 p.

CEREDA, M. P. Produtos e subprodutos. In: EMBRAPA. **Processamento e utilização da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2005. p.17-60.

CEREDA, M. P. Tecnologia e qualidade do polvilho azedo. **Informe Agropecuário**, v. 13, n.145, p. 63-68, 1987.

CEREDA, M. P.; GIAJ-LEVRA, L.A. Constatação de bactérias não simbióticas fixadoras de nitrogênio em fermentação natural de fécula de mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**. v.6, n.1, p.29-33, 1987.

CEREDA, M. P.; NUNES, O. L. G; VILPOUX, O. **Tecnologia da produção de polvilho azedo**. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais – Universidade Estadual Paulista, 1995.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. Polvilho azedo, critérios de qualidade para uso em produtos alimentares. In: CEREDA, M. P. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. Campinas: Fundação Cargill, 2003. p. 333-354.

CHAPLIN, M. **Starch**. London South Bank University, 2012. Disponível em <<http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>>. Acesso em 15 fevereiro 2012.

CHAVALPARIT, O.; ONGWANDEE, M. Clean technology for the tapioca starch industry in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 105-110, 2009.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O.; MATHIAS, E. A.; OLIVEIRA, S. S. Quantificação de cianeto total nas etapas de processamento das farinhas de mandioca dos grupos seca e d'água. **Acta Amazonica**, v.40, n.1, p.221-226, 2010.

CORTEZ, L. A. B. **Modeling Optimal Alcohol Production from Various Agricultural Crops**. Dissertação Interdisciplinar de Engenharia. Texas Tech University, 1989.

COULTATE, T. P. **Food - The Chemistry of its Componentes**. 3. ed. London: Royal Society of Chemistry, 2002. p.389-408.

DA, G.; DUFOUR, D.; MAROUZÉ, C.; THANH, M. L.; MARÉCHAL, P. A. Cassava starch processing at small scale in north Vietnam. **Starch/Stärke**, v.60, p.358-372, 2008.

DA, G.; FERRET, E.; MARECHAL, P. A.; THANH, M. L.; MAROUZE, C.; DUFOUR, D. Modeling small-scale cassava starch extraction. Simulation of the reduction of water consumption through a recycling process. **Process Biochemistry**, v.45, p.1837-1842, 2010.

DE OLIVEIRA, D. C. **Caracterização e potencial tecnológico de amidos de diferentes cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2011.

DEMIATE, I.M.; DUPUY, N.; HUVENNE, J.P.; CEREDA, M.P.; WOSIACKI, G. Relationship between baking behavior of modified cassava starches and starch chemical structure determined by FTIR spectroscopy. **Carbohydrate Polymers**, n.42, p.149-158, 2000.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v.39, p.945-954, 2009.

DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; HELBIG, E. Oxidação dos amidos de mandioca e de milho comum fermentados: desenvolvimento da propriedade de expansão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.4, p.794-799, 2007.

DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. R.; ELIAS, M. C.; HELBIG, E.; DA SILVA, D. O; CIACCO, C. F. Pasting, expansion and textural properties of fermented cassava starch oxidised with sodium hypochlorite. **Carbohydrate Polymers**, v.84, n.1, p.268-275, 2011.

DINIZ, I. P. **Caracterização tecnológica do polvilho azedo produzido em diferentes regiões do estado de Minas Gerais**. 2006. 103f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.

DJANTOU, E. B.; MBOFUNG, C. M.; SCHER, J.; DESOBRY, S. A modelling approach to determine the effect of pre-treatment on the grinding ability of dried mangoes for powder production (*Mangifera indica* var *Kent*). **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 668-677, 2007.

DONALD, A. M. Understanding starch structure and functionality. In: ELIASSON, A.-C. **Starch in Food**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2004.

DUFOUR, D.; ALARCÓN, F. M.; **Almidón Agrio de Yuca en Colombia**: producción y recomendaciones. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1998. 35 p.

DUFOUR D.; BRABET C.; ZAKHIA N., CHUZEL G. Influence de la fermentation et du séchage solaire sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre de manioc = Influence of fermentation and sun-drying on the breadmaking capacity of cassava sour starch. In: AGBOR, E, T.; BRAUMAN. A.; GRIFFON, D.; TRÈCHE, S. **Transformation alimentaire du manioc = Cassava food processing**. Paris: ORSTOM, 1995. p. 399-416.

DUOC LIEU. White Clover - *Trifolium repens* - Poisonous plant-bai che zhou cao (Linamarin, lotaustralin). **Pharmacognosy**, maio 2012. Disponível em: <<http://www.epharmacognosy.com/2012/05/white-clover-trifolium-repens-poisonous.html>>. Acesso em 03 junho de 2013.

ECKHOFF, S. R.; WATSON, S. A. Corn and Sorghum starches: production. In: NIGAM, P. S.; PANDEY, A. **Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation**. Springer Science; 2009, p.374-439.

EMBRAPA. **Produtos da fécula de mandioca é tema do Prosa Rural**. Brasília: EMBRAPA; 2007, jul 11. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2007/julho/foldernoticia.2007-07-05.5605721790/noticia.2007-07-11.3772688973>>. Acesso em 9 de fevereiro de 2012.

FAO/WHO. **Joint FAO/WHO food standards programme**, Rome: Codex 267 Alimentarius Commission XII, Supplement 4, FAO, 1991.

FELIPE, F. I; ALVEZ, L. R. A.; VIEIRA, R. M. Produção na Tailândia "versus" Brasil. **Agroanalysis**, v.82, p.28, março 2013.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FENIMAN, C. M. **Caracterização de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita**. 2004. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2004.

FRANCO, C. M. L.; OGAWA, C.; RABACHINI, T.; ROCHA, T. S.; CEREDA, M. P.; JANE, J. Effect of lactic acid and UV irradiation on the cassava and corn starches. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.53, n.2, p.443-454, 2010.

FRANCO, C. M. C.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. **Propriedades Gerais do Amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001.

FRANCO, C. M. L.; OGAWA, C.; RABACHINI, T.; ROCHA, T. S.; CEREDA, M. P.; JANE, J. Effect of lactic acid and UV irradiation on cassava and corn starches. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, n. 2, p. 443-454, 2010.

GALDEANO, C. M.; GROSSMANN, M. V. E.; MALI, S.; BELLO-PEREZ, L. A. Propriedades físico-químicas do amido de aveia da variedade brasileira IAC 7. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.4, 2009.

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

GEA HOVEX. **Hovex Rasper**: HRD 300 / 400 / 500 / 600. Hovex B.V: Catálogo, 2008.

GOMES, J. C.; LEAL, E. C. Cultivo da Mandioca para a Região dos Tabuleiros Costeiros. **Embrapa Mandioca e Fruticultura**. Sistemas de Produção, 11, ISSN 1678-8796 Versão eletrônica, Janeiro de 2003. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca\\_tabcosteiros/colheita.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_tabcosteiros/colheita.htm)>. Acesso em 28 setembro 2011.

GRACE. M.R. Cassava Processing. In: FAO. **Plant Production Series. No 3**. Rome: FAO, 1977.

GUPTA, A.; YAN, D. Roll Crushers. In: **Mineral Processing Design and Operations: an introduction**. Elsevier, 2006. p. 142-160.

IBGE. **Indicadores IBGE**: Estatística da Produção Agrícola. Março de 2012.

JANE, J. Structural Features of Starch Granules II. In: BEMILLER, J.; WHISTLER, R. **Starch: Chemistry and Technology**. 3. ed. San Diego, 2009. p.193-236.

JANE, J.; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; MCPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M.; KASEMSUWAN, T. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v.76, p.629–637, 1999.

JEKAYINFA, S. O.; OLAJIDE, J. O. Analysis of energy usage in the production of three selected cassava-based foods in Nigeria. **Journal of Food Engineering**, v.82, p.217-226, 2007.

JOHN, R. P. Biotechnological potentials of cassava bagasse. In: NIGAM, P. S.; PANDEY, A. **Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation**. Springer Science, 2009, p.225-237.

KOHYAMA K.; MATSUKI, J.; YASUI, T.; SASAKI, T. A differential thermal analysis of gelatinization and retrogradation of wheat starches with different amylopectin chain lengths. **Carbohydrate Polymers**, v.28, n.1, p. 71-77, 2004.

KUCZMAN, O. **Tratamento anaeróbio de efluente de fecularia em reator horizontal de uma fase**. 2007. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2007.

LABUZA, T. P. **Moisture Sorption: Practical aspects of isotherm measurement and use**. Minneapolis, American Association of Cereal Chemists, 1984.

LACERDA, C. A. I.; MIRANDA, R. L.; BORELLI, B. M.; NUNES, A. C.; NARDI, R. M. D.; LACHANCE, M.; ROSA, C. A. Lactic acid bacteria and yeasts associated with spontaneous fermentations during the production of sour cassava starch in Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, v. 105, p. 213-219, 2005.

LAI, L. S.; KOKINI, J. L. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (a review). **Biotechnology Progress**. v.7, p.251-266, 1991.

LEBOURG, C. **Brasamide et la fécula: une histoire d' amour**. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, 1996. 59p.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulo de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.3, p.579-588, 2007.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, p.122-127, 2000.

LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M. P. 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.

LIDE, R. D. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 89. Ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis, 2009.

LIMA, J.W.C. **Análise ambiental do processo produtivo de polvilho em indústrias do Extremo Sul de Santa Catarina**. 2000. Dissertação como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

LIMA, U. A. **Manual técnico de beneficiamento e industrialização da mandioca**. São Paulo: Secretaria de Ciência e Tecnologia, 1982. v.2. 56p.

MAEDA, K, C.; CEREDA, M. P. Avaliação de duas metodologias de expansão ao forno do polvilho azedo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.2, p.139-143, 2001.

MAIEVES, H. A.; DE OLIVEIRA, D. C.; BERNARDO, C.; MULLER, C. M. O.; AMANTE, E. R. Microscopy and texture of raw and cooked cassava (*Manihot sculenta* Crantz) roots. **Journal of Texture Studies**, v.43, p.164-173, 2012.

MAIEVES, H. A.; DE OLIVEIRA, D. C.; FRESCURA; J. R.; AMANTE, E. R. Selection of cultivars for minimization of waste and of water consumption in cassava starch production. **Industrial Crops and Products**, v.33, p.224-228, 2011.

MARCON, M. J. A. **Efeito do processo fermentativo pelo método tradicional e com adição de glicose, sobre a qualidade do polvilho azedo**. 2004. Dissertação (Mestre em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MARCON, M. J. A. **Proposta para o mecanismo de expansão do polvilho azedo com base nas características físico químicas**. 2009. Tese (Doutor em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

- MARCON, M. J. A.; AVANCINI, S. R. P.; AMANTE, E. R. **Propriedades químicas e tecnológicas do amido de mandioca e do polvilho azedo**. Florianópolis: Editora UFSC, 2007. 101 p.
- MARCON, M. J. A.; KURTZ, D. J.; RAGUZZONI, J. C.; DELGADILLO, I.; MARASCHIN, M.; SOLDI, V., REGINATTO, V.; AMANTE, E. R. Expansion Properties of Sour Cassava Starch (Polvilho Azedo): Variables Related to its Practical Application in Bakery. **Starch - Stärke**, v. 61, p. 716–726, 2009.
- MARCON, M. J. A.; VIEIRA, G. C. N.; SIMAS, K. N.; SANTOS, K.; VIEIRA, M. A.; CASTANHO, R. D. M.; AMANTE, E. R. Effect of the improved fermentation on physicochemical properties and sensorial acceptability of sour cassava starch. **Brazilian Archives Biology and Technology**, v. 50, n. 6, p.1073-1081, 2007.
- MARCON, M. J. A.; VIEIRA, G. C. N.; SIMAS, K. N.; SANTOS, K.; VIEIRA, M. A.; CASTANHO, R. D. M.; AMANTE, E. R. The effect of fermentation on cassava starch microstructure. **Journal of Food Process Engineering**, v.29, n.4, p.362-372, 2006.
- MARDER, R. C.; ARAUJO CRUZ, R.; MORENO, M. A.; CURRAN, A.; TRIM, D.S. Investigating sour starch production in Brazil. In: DUFOUR, D.; O'BRIEN, G. M.; BEST, R. **Cassava flour and starch: progress in research and development**. Cali: CIRAD/CIAT, 1996. Cap. 28, p. 247-258.
- MARDER, R.C.; GRAFFHAM, A.J.; WESTBY, A. DFID Crop Post Harvest Programme. **Project R6316: final technical report**. Chatham: Natural Resources Institute, 1996. 118 p.
- MARTIN, C., SMITH, A. M. Starch Biosynthesis. **The Plant Cell**, v.7, p.971-985, 1995.
- MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. Size Reduction. In: **Unit Operations of Chemical Engineering**. 5. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1993. p. 960-993.
- MCIVOR, R. E. **Technoeconomic analysis of plant grinding operations**. 1988. Tese (Doutor em Filosofia) - McGill University, Montreal, 1988.

MENDES DA SILVA, C. E.; FAÇANHA, S. H. F.; GOMES DA SILVA, M. G. Efeito do teor de água, amilose, amilopectina e grau de gelatinização no crescimento do biscoito de amido de mandioca obtido por fermentação natural. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.18, n.1, p.60-62, 1998.

MORRISON, W. R.; TESTER, R. F. Properties of damage starch granules. II. Crystallinity, molecular order and gelatinisation of ball-milled starches. **Journal of Cereal Science**, v.19, n.2, p.209-217, 1994.

MOYNA, G. **Lecture 32**. Department of Chemistry & Biochemistry, University of the Sciences in Philadelphia, 1999. Disponível em: <<http://tonga.usip.edu/gmoyna/biochem341/lecture34.html>>. Acesso em 17 de maio 2012.

MUJUMDAR, A. S. Principles, classification and selection of dryers. In: **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. New York: CRC Press/Taylor and Francis, 2007. p. 3-32.

MURTHY, C.T.; RANI, MEENAKSHI; RAO, P.N. SRINIVASA. Optimal grinding characteristics of black pepper for essential oil yield. **Journal of Food Process Engineering**, v. 22, n. 2, p. 161-173, 1999.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger Principles of Biochemistry**. 5. ed. Gordonsville: W.H. Freeman. 2008. 1013p.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Rapid Visco Analyser RVA Super 4: Installation and Operation Manual**. Warriewood: Perten Instruments of Australia, 2010. 65 p.

OLIVEIRA FILHO, J. H.; MANCIN, A. C. Aditivos e ingredientes e seus reflexos sobre as propriedades viscoamilográficas de amido de milho. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.11, p.78-84, 2009.

PARK, K. J. B.; PARK, J. K.; CORNEJO, P. E. F.; FABBRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n.1, p.83-94, 2008.

PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V. T.; VANDENBERGHE, L. P. S.; MOHAN, R. Biotechnological potencial

of agro-industrial residues. II- Cassava bagasse - Review paper. **Bioresource Technology**, v.74, p.81-87, 2000.

PARANAÍ MÁQUINAS INDUSTRIAIS LTDA. **Cevadeira** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <augustopola@hotmail.com> em 22 de novembro 2011.

PARANAÍ MÁQUINAS INDUSTRIAIS LTDA. **Cevadeira** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <augustopola@hotmail.com> em 19 de junho 2013.

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

PEREIRA, J.; CIACCO, C. F.; VILELA, E. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Função dos ingredientes na consistência da massa e nas características do pão de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.4, 2004.

PEREIRA, J.; CIACCO, C. F.; VILELA, E. R.; TEIXEIRA, L. S. Féculas fermentadas na fabricação de biscoitos: estudo de fontes alternativas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.2, p.287-293, 1999.

PEREIRA, R. G. F. A. **Avaliação da qualidade do polvilho durante a fermentação em diferentes meios, com e sem adição de inóculos**. 1994. Universidade Federal de Lavras, 1994.

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

PIYACHOMKWAN, K.; WANLAPATIT, S.; CHOTINEERANAT, S.; SRIROTH, K. Transformation and balance of cyanogenic compounds in the cassava starch manufacturing process. **Starch**, v.57, p.71-78, 2005.

PIZZINATTO, A.; CAMPAGNOLLI, D.M.F. Avaliação tecnológica de produtos derivados da farinha de trigo (pão, macarrão, biscoitos). **Boletim ITAL**. 1993.

PLATA-OVIEDO, M. S. V. **Secagem do amido fermentado de mandioca: modificação química relacionada com a propriedade de expansão e características físico-químicas.** 1998. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1998.

PREISS, J. Plant starch synthesis. In: ELIASSON, A.-C. **Starch in Food.** Boca Raton, FL: CRC Press, 2004. p.3-56.

RAGHAVENDRA, S. N.; RAMACHANDRA SWAMU, S. R.; RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; SOURAV KUMAR; THARANATHAN, R. N. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 281-286, 2006.

RIVERA, H. H. P. **Fermentação do amido de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz): Avaliação e caracterização do polvilho azedo.** 1997. Tese (Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1997.

ROCHA, T. S.; DEMIATE, I. M.; FRANCO, C. M. L. Características estruturais e físico químicas de amidos de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.3, p.620-628, 2008.

SANDSTEDT, R. M.; MATTERN, P. J. Damaged starch. Quantitative determination in flour. **Cereal Chemistry**, v.37, n.3, p.379-390, 1960.

SARAVACOS, G. D.; MAROULIS, Z. B. **Food Process Engineering Operations.** Boca Raton, FL: CRC Press, 2011.

SHARMA, P.; CHAKKARAVARTHI, A.; SINGH, V.; SUBRAMANIAN, R. Grinding characteristics and batter quality of rice in different wet grinding systems. **Journal of Food Engineering**, v.88, p.499-506, 2008.

SILVEIRA, I. A.; CARVALHO, E. P.; SCHWAN, R. I.; PILON, L. Aspectos gerais e microbiológicos da fermentação de fécula de mandioca para a produção de polvilho azedo. **Higiene Alimentar**, v.14, n.68/69, p.26-31, 2000.

SMITH, P. G. **Introduction to Food Process Engineering**. 2. ed. New York: Springer, 2011.

SINGH, N.; ECKHOFF, S. R. Wet milling of corn - A review of laboratory-scale and pilot-scale procedures. **Cereal Chemistry**, v.73, n.6, p.659-667, 1998.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, p.219-231, 2003.

SNOW, R. H.; ALLEN, T.; ENNIS, B. J.; LITSTER, J. D. Size Reduction and Size Enlargement. In: PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. New York: McGraw-Hill, 1999.

SOARES, R. M. D. **Caracterização parcial de amido em cultivares brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare* L.)**. 2003. 127f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Curso de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos Processos de Gelatinização e Extrusão de Amido de Milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.10, n.1, p.24-30, 2000.

SRIROTH, K.; CHOLLAKUP, R.; CHOTINEERANAT, S.; PIYACHOMKWAN, K.; OATES, C. G. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. **Bioresource Technology**, v. 71, p. 63-69, 2000a.

SRIROTH, K.; PIYACHOMKWAN, K.; WANLAPATIT, S.; OATES, C. G. Cassava starch technology: the Thai experience. **Starch/Stärke**, v. 52, p. 439-449, 2000b.

STARLING, C. A. **Otimização dos parâmetros de produção do amido de mandioca fermentado**. 2010. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

TAKIZAWA, F.F.; SILVA, G. de O. da; KONKEL, F.E.; DEMIATE, I.M. Characterization of tropical starches modified with potassium permanganate and lactic acid. **Brazilian Journal of Biology and Technology**, v.47, n.6, p.921-931, 2004.

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

TETCHI, F. A.; ROLLAND-SABATÉ, A.; AMANI, G. N. G.; COLONNA, P. Molecular and physicochemical characterization of starches from yam, cocoyam, cassava, sweet potato and ginger produced in Ivory Coast. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.87, p.1906-1916, 2007.

TISCHER, I.; MORENO, M. Influencia de la localización del almidón nativo de yuca en el canal de sedimentación sobre la calidad del almidón agro. **Ingeniería y Competitividad**, v. 6, n. 1, p. 26-34, 2004.

UFSCAR - Centro de Ciências Agrárias. **Teste de Tukey**. Disponível em <http://www.cca.ufscar.br/servicos/teste-de-tukey/>. Acesso em 18/07/2012.

VATANASUCHART, N.; NAIVIKUL, O.; CHAROENREIN, S.; SRIROTH, K. Molecular properties of cassava starch modified with different UV irradiations to enhance baking expansion. **Carbohydrate Polymers**, v. 61, p. 80-87, 2005.

VELU, V.; NAGENDER, A.; PRABHAKARA RAO, P. G.; RAO, D. G. Dry milling characteristics of microwave dried maize grains (*Zea mays* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 74, p. 30-36, 2006.

VIEIRA, L. M.; PAUL, J. M.; REITER, J. M. W.; BORCHARDT, I.; ALTMANN, R.; PEREIRA, L. K.; COSTA, D. M. M. **Fatores que afetam a competitividade das farinheiras e povilheiras na agricultura familiar catarinense**. Florianópolis: Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina, 2002.

VILELA, E. R.; FERREIRA, M. G. Tecnologia de produção e industrialização do amido de mandioca. **Informe Agropecuário**, v. 13, n. 145, p. 69-73, 1987.

VILPOUX, O. F. Processos de produção de fécula de mandioca: comparação Brasil, Tailândia e China. In CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologia, Usos e Potencialidades de Tuberosas Amiláceas Sul Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. p.143–175.

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

WHISTLER, R. L.; DANIEL, J. R.; Starch. In: **Encyclopedia of Chemical Technology**. New York: Kirk Othmer, v.22, p.345-349, 1997.

ZOBEL, H. J. Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes. In: WHISTLER, R.; BEMILLER, J.; PASCHALL, E. F. **Starch: Chemistry and Technology**. 2. ed. London: Academic Press, 1984. p.285-310.