



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**PRISCILLA ANDRADE SILVA**

**ESTUDO DO PROCESSAMENTO E DA QUALIDADE FÍSICA,  
FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DA FARINHA DE TAPIOCA**

**BELÉM**  
**2011**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**PRISCILLA ANDRADE SILVA**

**ESTUDO DO PROCESSAMENTO E DA QUALIDADE FÍSICA,  
FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DA FARINHA DE TAPIOCA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena (Orientador)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alessandra Santos Lopes (Co-orientador)

**BELÉM**

**2011**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**PRISCILLA ANDRADE SILVA**

**ESTUDO DO PROCESSAMENTO E DA QUALIDADE FÍSICA,  
FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DA FARINHA DE TAPIOCA**

BANCA EXAMINADORA:

---

**Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena**  
(FEA/ITEC/UFPA – Orientador)

---

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Alessandra Santos Lopes**  
(FEA/ITEC/UFPA – Co-orientador)

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lúcia de Fátima H. Lourenço**  
(FEA/ITEC/UFPA – Membro)

---

**Dr<sup>a</sup>. Ana Vânia Carvalho**  
(EMBRAPA CPATU – Membro)

---

**Prof. Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues**  
(FEA/ITEC/UFPA – Suplente)

## **DEDICATÓRIA**

**Á Jesus meu amor maior! sem a Sua ajuda nunca chagaria até aqui!**

**Aos meus pais Enilde, Raimundo e Fernando, pelo amor, incentivo e apoio eternos. À minha irmã Kelly e sobrinha Yasmin por me fazerem muito feliz.**

**Ao amor da minha vida Orlando, pelo amor e dedicação incondicionais. Te amo Tén-Tén!!!**

**Aos meus amigos Paula, Christine, Wellington, Fábio, Paulinha, Liana e Milene pelo total apoio para concluir mais esta etapa da minha vida. Amo vocês!**

## AGRADECIMENTOS

À Jesus Maravilhoso, pelas bênçãos sem medidas e, a realização de mais este trabalho é para engrandecer Seu santo nome, graças a Ti Jesus!

Aos meus amados pais (Enilde, Raimundo e Fernando), em especial a minha maravilhosa mãe, pelo amor e apoio incondicionais, por fazer tudo por mim sem medir esforços e por também sonhar junto comigo. Te amo mãezinha! Às minhas irmã e sobrinha, preferidas, Kelly e Yasmin (Pipinha!), pelos milhares de beijinhos, os quais me regam de amor todos os dias, Lindas! À minha família: vó Sebastiana; tias Inocência, Mayrla, Hildenê e Hildenira; primos Marcelo, Alisson, Mayana, Anderson e Edson Filho e ao Sérgio, pai da pipinha.

Ao meu amor Orlando (Ténténzinho!) pelo amor e dedicação incondicionais. Desde quando você chegou, minha vida ficou mais completa e feliz, minha jornada mais branda. Amo muito você! À família do meu digníssimo: vó Ernestina, sogra Maria Ely e cunhado Sandro, como não podiam deixar de faltar “as passarinhas!” Bianca, Beatriz e Lohana. Lindas e Metidinhas!

Aos meus amados amigos Paula (“Isabelle Biju!”), Christine (“Xis!”), Wellington (“Tutuca!”), Fábio (“Plínio!”), Marcus Vasconcelos (“Vasc!”), Milene (“Mila Bilu!”), Paula Guimarães (“Paulinha!”), Liana (“Li!”), Roberta (“Ró!”) e Rosângela, pelo amor, amizade, companheirismo, ajuda, compreensão e por acreditarem em mim mais que eu mesma e, principalmente pelas boas gargalhadas! Em especial ao Tutuca, Plínio, Mila e Li, pelo trabalho árduo com as mandiocas descascadas ao longo das madrugadas. Uma resma de papel não seria suficiente para agradecer a colaboração. Tenho muito orgulho em ser amiga de vocês. Beijo no coração de cada um!

Ao meu orientador Rosinelson Pena (“Tio Rosi!”) pela excelente orientação e por sempre estar presente em todos os momentos em que eu precisei. Foi um prazer ser sua orientada! À co-orientadora Alessandra Lopes por me aceitar em seu projeto e pelo suporte financeiro ao longo do trabalho. Muito obrigada!

Às participantes da banca examinadora Ana Vânia Carvalho e Lúcia Lourenço pela imensurável colaboração na parte escrita, sem as quais o trabalho não teria o mesmo brilho. Em especial a doutora Ana Vânia, minha eterna orientadora, que me acompanha desde os primeiros passos, sempre com seu jeitinho doce de ser. A senhora faz parte da minha história, obrigada doutora!

À Capes pela concessão de bolsa de estudo.

À Universidade Federal do Pará e ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade de cursar a pós-graduação e pela qualificação profissional. Aos professores da FEA: Rosinelson Pena, Alessandra Lopes, Lúcia Lourenço, Éder Araújo, Suezilde Ribeiro, Hamilton Figueiredo, Jesus Souza, Hervé Rogez, Evaldo Martins, Luiz França, Nádia Corrêa, Luiza Meller e Antonio Rodrigues, pelo precioso conhecimento transmitido durante as disciplinas.

Aos Laboratórios da UFPA: FEA e LAFAMI (em especial ao seu Mário, Saulo e dona Rosa) pela realização das análises físico-químicas com presteza. Aos Laboratórios de Geociências (aos professores Vânia Barriga, Claudio Lamarão, Paulo Gorayeb e a técnica Joelma), pela presteza e realização das análises microscópicas. Ao Laboratório de Catálise e Oleoquímica (em especial ao professor Emerson Costa e o bolsista Charles) pela realização das análises térmicas.

À Embrapa Amazônia Oriental por maior parte do trabalho desenvolvido, em especial aos pesquisadores Roberto Lisboa, Elisa Moura, Marcus, Ana Vânia, Rafaella Mattietto, Antônio Pedro e Marcos Enê e aos assistentes de pesquisa Solange, Lorena, Conceição, Ana Lúcia, Gilberto e aos anjinhos da mandioca: Alan, Laís, Alessandra e Lidiane pela colaboração, presteza e amizade, sempre!

À EMATER, em especial ao técnico Rosival Possidônio pela informações e visitas relacionadas a produção da farinha de tapioca no estado do Pará.

À Comunidade de Patauateua pela disponibilização de uma variedade de raíz e recepção acolhedora durante as visitas. E as companheiras do beiju Aline e Livia, e também seu Edson do Sebrae, os quais eu não poderia deixar de agradecer.

Aos colegas de turma: Paula Guimarães, Deyvisson Rodrigues, Priscilla Maia, Afonso Ramôa, Hellen Almeida, Josilene Serra e Francelly Souza, pelas muitas horas de estudo e canções da MPB durante as madrugadas. Valeu mesmo!

Aos anjos Taiana Ladeira, por mostrar o “caminho das pedras”, e Fabiane pela ajuda estatística aos “45 do segundo tempo”. Valeu meninas!

À galera da REPET/SENAI: Thayná, Juliane, Maíra e sua santa mãe, Danilo, Sandro, Thiago, Marcos e seu Honorato.

Queridos,

Cada um de vocês faz parte da minha vitória, louvo e agradeço a Deus por suas vidas!

**“Toda glória, toda vitória pertence a Ti Jesus,  
porque sem Ti não estaria aqui.”**

Diante do Trono

## RESUMO

### ESTUDO DO PROCESSAMENTO E DA QUALIDADE FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DA FARINHA DE TAPIOCA

A farinha de tapioca é um alimento produzido artesanalmente a partir da fécula de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) purificada. Uma melhor compreensão do processo de produção da farinha de tapioca é uma importante contribuição para a industrialização do produto. Os objetivos deste trabalho foram identificar junto aos maiores produtores de farinha de tapioca do Pará as três variedades de mandioca mais utilizadas no beneficiamento do produto, bem como realizar a caracterização físico-química das féculas obtidas das mesmas e de duas farinhas de tapioca comerciais, e ainda estudar a influência da temperatura de escaldamento e da umidade dos grânulos após escaldamento sobre as características físicas, físico-químicas e sensoriais da farinha de tapioca. As variedades de mandioca Pai Ambrósio, Pocu e Paulo Velho foram identificadas como as mais utilizadas no beneficiamento da farinha de tapioca; entre essas, a Pocu e a Paulo Velho apresentaram os maiores rendimentos em polpa. Características físicas evidenciaram a inexistência de um padrão de tamanho e de forma para as raízes de mandioca estudadas. As féculas obtidas das três variedades de mandioca apresentaram elevada pureza em amido, e foi evidenciada a presença de amilopectina na composição dos grânulos de amido de todas, sendo mais pronunciada para a variedade Pai Ambrósio. Constatou-se a inexistência de um processo padrão para a produção da farinha de tapioca, mas o estudo demonstrou que quanto maior a umidade inicial dos grânulos e a temperatura de espocagem, maior será a expansão da farinha de tapioca. Todas as farinhas de tapioca obtidas atenderam os padrões de identidade físico-químicos e de qualidade microbiológica, estabelecidos pela Legislação Brasileira. A farinha de tapioca não escaldada, obtida com a fécula da variedade de mandioca Paulo Velho foi a que obteve a maior aceitação dos provadores, porém todas as farinhas obtiveram aceitação muito boa.

Palavras-chave: fécula de mandioca; *Manihot esculenta*; caracterização; processo.

## ABSTRACT

### STUDY OF PROCESSING AND QUALITY OF PHYSICAL, PHYSICO-CHEMICAL AND SENSORY TAPIOCA FLOUR

Tapioca flour is a food prepared from cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz) purified. A better understanding of the production process of tapioca flour is an important contribution to the industrialization of the product. The objectives were to identify with the larger producers of tapioca flour for the three varieties of cassava used in the processing of the product and how to perform physicochemical characterization of starches obtained from these two and tapioca flour trade, and also studied the influence of temperature and humidity brew after brew beads on physical, physicochemical and sensory tapioca flour. The varieties of cassava Pai Ambrósio, Paulo Velho and Pocu been identified as the most used in the processing of tapioca flour. The almosts of the Pocu and Paulo Velho had the highest pulp yields. Physical characteristics showed the absence of a standard size and shape for cassava roots studied. The starches obtained from three varieties of cassava starch showed high purity, and showed the presence of amylopectin in the composition of starch granules of all, being more pronounced for the variety Pai Ambrósio. It found the absence of a standard process for the production of tapioca flour, but the study showed that the higher the initial moisture content and temperature of the granules espocagem, the greater the expansion of tapioca flour. All of tapioca flour obtained met the standards of identity and physical-chemical microbiological quality established by Brazilian Legislation. Tapioca flour not scalded, obtained with the variety of cassava starch Paulo Velho was the one that obtained the highest preference of the tasters, but all the flour had very good acceptance.

Key words: tapioca flour, *Manihot esculenta*; characteristics; process.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Plantação e raízes de mandioca. ....	18
<b>Figura 2.</b> Fórmulas estruturais da Linamarina e Lotaustralina.....	21
<b>Figura 3.</b> Estrutura química da amilose e da amilopectina. ....	27
<b>Figura 4.</b> Microscopia eletrônica de varredura (SEM) de grânulos de amido de mandioca.....	29
<b>Figura 5.</b> Comportamento dos grânulos de amido sob ação da temperatura, em excesso de água. ....	31
<b>Figura 6.</b> Farinha de tapioca.....	32
<b>Figura 7.</b> Fluxograma de processamento das féculas de mandioca.....	37
<b>Figura 8.</b> Etapas do processamento das féculas: (A) raízes lavadas, (B) trituração, (C) massa triturada, (D) manipueira, (E) fécula sedimentada e (F) fécula seca. ....	38
<b>Figura 9.</b> Fluxograma básico de obtenção de farinha de tapioca. ....	42
<b>Figura 10.</b> Etapas do processamento da farinha de tapioca: (A) fécula umedecida, (B) formação dos grânulos, (C) peneiramento, (D) escaldamento (E) farinhas peneiradas. ....	42
<b>Figura 11.</b> Ficha sensorial utilizada nos testes de aceitação e intenção de compra das farinhas de tapioca. ....	47
<b>Figura 12.</b> Curvas de TG e DTA para a fécula de mandioca da variedade Pai Ambrósio. ....	53
<b>Figura 13.</b> Curvas de TG e DTA para a fécula de mandioca da variedade Pocu. ....	53
<b>Figura 14.</b> Curvas de TG e DTA para a fécula de mandioca da variedade Paulo Velho. ....	54
<b>Figura 15.</b> Calorimetria diferencial de varredura para as féculas de mandioca.....	55
<b>Figura 16.</b> Eletromicrografias dos grânulos de amido das três féculas: (A) Pai Ambrósio; (B) Pocu e (C) Paulo Velho. ....	56
<b>Figura 17.</b> Microscopia óptica das féculas. Pai Ambrósio: sob luz convencional (A) e luz polarizada (B); Pocu: sob luz convencional (C) e luz polarizada (D); Paulo Velho: sob luz convencional (E) e luz polarizada (F).. ....	58
<b>Figura 18.</b> Eletromicrografias dos grânulos de amido: Santa Izabel (A) e (B); Santarém (C) e (D). ....	61

<b>Figura 19.</b> Microscopia óptica das farinhas de tapioca comerciais. Santa Izabel: luz convencional (A) e luz polarizada (B); Santarém: luz convencional (C) e luz polarizada (D).....	62
<b>Figura 20.</b> Gráfico de Pareto com as estimativas dos efeitos das variáveis sobre a resposta densidade aparente. ....	65
<b>Figura 21.</b> Gráfico de superfície de resposta linear (A) e curva de nível para a variação da resposta (B), para a variável densidade aparente. ....	66
<b>Figura 22.</b> Eletromicrografias das farinhas de tapioca não escaldadas: (A) Pai Ambrósio; (B) Pocu e (C) Paulo Velho. ....	71
<b>Figura 23.</b> Eletromicrografias das farinhas de tapioca escaldadas: (A) Pai Ambrósio; (B) Pocu e (C) Paulo Velho. ....	71
<b>Figura 24.</b> Microscopia óptica sob luz polarizada das farinhas de tapioca não escaldadas. Pai Ambrósio: (A) e (B); Pocu: (C) e (D); Paulo Velho: (E) e (F). ....	73
<b>Figura 25.</b> Microscopia óptica sob luz polarizada das farinhas de tapioca escaldadas. Pai Ambrósio: (A) e (B); Pocu: (C) e (D); Paulo Velho: (E) e (F). ....	73
<b>Figura 26.</b> Intenção de compra para a farinha de tapioca integral obtida da variedade de mandioca Pai Ambrósio: (A) não escaldada e (B) escaldada; Pocu: (C) não escaldada (D) escaldada; Paulo Velho: (E) não escaldada e (F) escaldada. ....	78

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Produção mundial de mandioca entre os anos de 2005 a 2008. ....	22
<b>Tabela 2.</b> Maiores estados produtores de raiz de mandioca do Brasil entre os anos de 2005 a 2009. ....	23
<b>Tabela 3.</b> Área colhida, produção e rendimento da raiz de mandioca no estado do Pará, safras 2004-2008. ....	24
<b>Tabela 4.</b> Composição química da fécula de mandioca. ....	26
<b>Tabela 5.</b> Características de grânulos de amido e fécula nativos. ....	30
<b>Tabela 6.</b> Limites de tolerância para os produtos amiláceos derivados da raiz de mandioca. ....	34
<b>Tabela 7.</b> Planejamento fatorial completo do tipo $3^2$ utilizado na obtenção da farinha de tapioca escaldada e torrada. ....	43
<b>Tabela 8.</b> Rendimento médio das raízes sem casca das três variedades de mandioca estudadas. ....	49
<b>Tabela 9.</b> Características físicas das raízes das três variedades de mandioca. ....	49
<b>Tabela 10.</b> Propriedades físico-químicas das féculas das três variedades de mandioca. ....	50
<b>Tabela 11.</b> Parâmetros de perda de massa e intervalos de temperatura de desidratação e decomposição das féculas de mandioca. ....	54
<b>Tabela 12.</b> Parâmetros de gelatinização das féculas. ....	55
<b>Tabela 13.</b> Análise granulométrica das farinhas de tapioca comerciais. ....	59
<b>Tabela 14.</b> Propriedades físico-químicas das farinhas de tapioca comerciais. ....	60
<b>Tabela 15.</b> Caracterização tecnológica das farinhas de tapioca comerciais. ....	63
<b>Tabela 16.</b> Resultados dos experimentos do planejamento fatorial completo para umidade final da farinha, tempo de espocagem, densidade aparente, atividade de água, cor instrumental e granulometria da farinha de tapioca. ....	65
<b>Tabela 17.</b> Análise de variância (ANOVA) para a variável densidade aparente. ....	66
<b>Tabela 18.</b> Análise granulométrica das farinhas de tapioca produzidas. ....	67
<b>Tabela 19.</b> Propriedades físico-químicas das farinhas de tapioca não escaldadas. ....	68
<b>Tabela 20.</b> Propriedades físico-químicas das farinhas de tapioca escaldadas. ....	68
<b>Tabela 21.</b> Caracterização tecnológica das farinhas de tapioca produzidas. ....	74
<b>Tabela 22.</b> Resultado das análises microbiológicas das farinhas de tapioca. ....	76

**Tabela 23.** Índice de aceitação proporcional (IAP) para os atributos avaliados na análise sensorial das farinhas de tapioca produzidas. ....77

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 GERAL .....	17
2.2 ESPECÍFICOS .....	17
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A MANDIOCA.....	18
<b>3.1.1 Aspectos gerais</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1.2 Características agro-econômicas</b> .....	<b>21</b>
3.1.2.1 Produção mundial de mandioca .....	21
3.1.2.2 Produção nacional de mandioca .....	23
3.1.2.3 Produção regional de mandioca.....	24
3.2 FÉCULA DE MANDIOCA .....	25
3.3. CARACTERÍSTICAS DO AMIDO DE MANDIOCA .....	27
<b>3.3.1. Propriedades do amido</b> .....	<b>27</b>
<b>3.3.2 Morfologia dos grânulos do amido</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3.3 Gelatinização do amido</b> .....	<b>30</b>
3.4 FARINHA DE TAPIOCA .....	32
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
4.1 MATERIAL .....	35
4.2 MÉTODOS .....	35
<b>4.2.1 Caracterização física das raízes</b> .....	<b>35</b>
<b>4.2.2 Processo de obtenção das féculas de mandioca</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2.3 Caracterização físico-química das féculas de mandioca</b> .....	<b>38</b>
<b>4.2.4 Análises térmicas das féculas</b> .....	<b>39</b>
4.2.4.1 Análises térmicas diferencial (DTA) e gravimétrica (TG).....	39
4.2.4.2 Calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	39
<b>4.2.5 Microscopia dos grânulos de amido das féculas</b> .....	<b>40</b>
4.2.5.1 Microscopia eletrônica de varredura .....	40
4.2.5.2 Microscopia ótica.....	40
<b>4.2.6 Processo de obtenção das farinhas de tapioca</b> .....	<b>40</b>
4.2.6.1 Planejamento experimental .....	43
4.2.6.2 Obtenção da farinha de tapioca com as féculas produzidas .....	44

<b>4.2.7 Caracterização física e físico-química das farinhas de tapioca</b> .....	<b>44</b>
<b>4.2.8 Características tecnológicas das farinhas de tapioca</b> .....	<b>45</b>
4.2.8.1 Índice de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) .....	45
4.2.8.2 Densidade aparente .....	45
4.2.8.3 Higroscopicidade das farinhas de tapioca .....	45
<b>4.2.9 Microscopia das farinhas de tapioca</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2.10 Análises microbiológicas das farinhas de tapioca</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2.11 Avaliação sensorial das farinhas de tapioca</b> .....	<b>46</b>
4.2.11.1 Teste de aceitabilidade.....	46
4.2.11.2 Teste de intenção de compra .....	47
<b>4.2.12 Análise estatística dos resultados</b> .....	<b>46</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>49</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS RAÍZES DE MANDIOCA .....	49
5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS FÉCULAS.....	50
<b>5.2.1 Caracterização físico-química</b> .....	<b>50</b>
<b>5.2.2 Análise térmica das féculas</b> .....	<b>53</b>
<b>5.2.3 Microscopia dos grânulos de amido das féculas</b> .....	<b>56</b>
5.2.3.1 Microscopia eletrônica de varredura .....	56
5.2.3.2 Microscopia ótica.....	57
5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS DE TAPIOCA COMERCIAIS.....	59
<b>5.3.1 Caracterização física e físico-química</b> .....	<b>59</b>
<b>5.3.2 Microscopia dos grânulos de amido</b> .....	<b>61</b>
<b>5.3.3 Características tecnológicas das farinhas comerciais</b> .....	<b>61</b>
5.3.2.1 Microscopia eletrônica de varredura .....	61
5.3.2.2 Microscopia ótica.....	62
5.4 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DA FARINHA DE TAPIOCA.....	64
5.5 CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS DE TAPIOCA PRODUZIDAS .....	67
<b>5.5.1 Caracterização física e físico-química</b> .....	<b>67</b>
<b>5.5.2 Microscopia das farinhas de tapioca</b> .....	<b>70</b>
5.5.2.1 Microscopia eletrônica de varredura .....	70
5.5.2.2 Microscopia ótica.....	72
<b>5.5.3 Características tecnológicas</b> .....	<b>74</b>
<b>5.5.4 Análises microbiológicas</b> .....	<b>75</b>

<b>5.5.5 Avaliação sensorial</b> .....	<b>76</b>
5.5.5.1 Teste de aceitabilidade.....	76
5.5.5.2 Intenção de compra.....	77
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um dos vegetais mais cultivados no mundo, especialmente nos trópicos, sendo o Brasil um dos principais países produtores (NIBA et al., 2001; BELEIA; BUTARELO; SILVA, 2006; NWOKOCHA et al., 2009). É importante fonte de amido para a indústria de alimentos e vem ganhando destaque tanto no cenário agrícola nacional como no internacional (APLEVICZ; DEMIATE, 2007). No cenário nacional, o Pará é o maior produtor brasileiro de mandioca, com 4,9 milhões de toneladas no ano de 2009, destinadas principalmente para o processamento da farinha de mesa (SOUZA et al., 2008; IBGE, 2010).

A fécula de mandioca, conhecida também, em algumas regiões brasileiras, como polvilho doce ou goma, é um pó fino, branco, inodoro, insípido, que produz ligeira crepitação quando comprimido entre os dedos. É um polissacarídeo natural, constituído de cadeias lineares (amilose) e cadeias ramificadas (amilopectina). É obtida a partir das raízes da mandioca, após descascamento, trituração, desintegração, purificação, peneiramento, centrifugação, concentração e secagem (CAMARGO et al., 1989). É o produto mais nobre extraído das raízes da mandioca e sua utilização se dá em mais de mil segmentos, principalmente nas indústrias: alimentícia, de plásticos e na siderurgia (CEPEA, 2005).

A farinha de tapioca é um alimento produzido artesanalmente a partir da fécula de mandioca purificada. É muito consumida na Região Amazônica, na forma de mingaus, roscas, bolos, pudins, sorvetes, bem como no acompanhamento da bebida regional açaí. O produto, entretanto, apresenta peculiaridades de acordo com o estado em que é produzido (CEREDA; VILPOUX, 2003).

No estado do Pará, particularmente na Zona Bragantina, estão situadas as “casas de farinha de tapioca”, locais onde a farinha é elaborada de forma artesanal e em pequena escala (GUIMARÃES et al., 1998; CEREDA; VILPOUX, 2003). De acordo com informações técnicas da EMATER/PA o principal produtor paraense na atualidade é a localidade de Americano, no município de Santa Izabel do Pará. A padronização do processo de produção da farinha de tapioca é uma importante contribuição para a industrialização do produto, que atualmente é produzido de forma totalmente artesanal, sem nenhum controle tecnológico efetivo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Estudar a influência de diferentes parâmetros de processo sobre as características físicas, físico-químicas, microbiológicas e sensoriais da farinha de tapioca, visando padronizar o processamento da mesma e ampliar a sua produção.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- a) Identificar junto aos maiores produtores de farinha de tapioca do estado do Pará as três variedades de mandioca mais utilizadas no beneficiamento do produto;
- b) Caracterizar as raízes quanto às propriedades físicas e as féculas obtidas das três variedades de mandioca utilizadas no estudo, quanto às características físicas, físico-químicas, térmicas e morfológicas;
- c) Verificar as características físicas, físico-químicas, tecnológicas e morfológicas de duas farinhas de tapioca comerciais.
- d) Estudar a influência das variáveis temperatura de escaldamento e umidade dos grânulos após escaldamento, sobre características de umidade final da farinha, tempo de espocagem, densidade aparente, atividade de água, cor instrumental e granulometria;
- e) Determinar as características físicas, físico-químicas, tecnológicas, morfológicas, microbiológicas e sensoriais das farinhas de tapioca obtidas.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A MANDIOCA

##### 3.1.1 Aspectos gerais

A mandioca pertence à família *Euphorbiaceae*, composta de árvores, arbustos, lianas e ervas; reúne 313 gêneros e aproximadamente 7.200 espécies. Seu nome vulgar varia regionalmente, sendo conhecida no Brasil como aipim ou macaxeira (EL-DASH; MAZZARI; GERMANI, 1994; SOUZA, 2003). Do gênero *Manihot* são conhecidas aproximadamente 98 espécies, entre subarbustos e árvores; a maioria produz látex (CÂMARA et al., 1982; FARALDO et al., 2000; ALLEM, 2001).

A *Manihot esculenta* Crantz (Figura 1) é a espécie de maior interesse agrônômico, podendo ser classificada como doce ou amarga. Se adaptada bem às condições edafoclimáticas brasileiras e é tolerante a estresses bióticos e abióticos, podendo apresentar rendimentos elevados até mesmo em solos já esgotados por outras culturas (CÂMARA et al., 1982; FARALDO et al., 2000; GRIZOTTO, 2000).



**Figura 1.** Plantação e raízes de mandioca.  
FONTE: Autor (2011).

A raiz da mandioca é constituída externamente por uma película marrom fina. Logo abaixo desta película existe uma camada branca ou amarelada, denominada entrecasca. Abaixo da entrecasca é formada a parte interna da raiz, rica em amido e

pequenas partes de celulose. Na parte central da raiz está localizada a nervura central, estrutura fibrosa lignificada (GRACE, 1977).

O ciclo cultural da mandioca é o período que vai do plantio à colheita. Com base na duração desse ciclo, as cultivares são classificadas em: precoces (ciclo de 10 a 12 meses), semi-precoces (ciclo de 14 a 16 meses) e tardias (ciclo de 18 a 20 meses). A época de plantio é um dos fatores mais importantes da produção, porque influencia no desenvolvimento e produtividade da mandioca. O fator mais importante relacionado à época de plantio é a falta de umidade, a qual, durante os primeiros meses após o plantio, pode ocasionar sérias perdas na brotação e na produção (MATTOS; GOMES, 2000).

A mandioca apresenta alta interação do genótipo com o ambiente, ou seja, uma mesma variedade dificilmente se comporta de forma semelhante em qualquer lugar. Uma das explicações para isso é o grande número de pragas e doenças que afetam o cultivo e que estão restritas a determinados ambientes. Outras causas são as diferenças de clima e solo que ocorrem no Brasil, que também afetam o comportamento de cada variedade. O comportamento de uma variedade pode variar mesmo entre lavouras de agricultores de uma mesma região, em decorrência de diferenças de solos ou de manejo do cultivo (MATTOS; GOMES, 2000).

A mandioca passa por um ciclo de crescimento que engloba cinco fases fisiológicas principais, sendo quatro ativas e uma de repouso vegetativo. Estas fases de desenvolvimento são: brotação da maniva, formação do sistema radicular, desenvolvimento da parte aérea, engrossamento das raízes de reserva e repouso (LIMA; MARCONDES, 1979; EMBRAPA, 2005).

A cultura da mandioca, além de ser desenvolvida predominantemente por pequenos agricultores, adapta-se a áreas consideradas marginais, devido à baixa fertilidade do solo e à irregularidade do regime pluviométrico. Além disso, essa euforbiácea é cultivada com pouca ou nenhuma tecnologia moderna, principalmente no campo dos agroquímicos. A mandioca apresenta a possibilidade de suas raízes serem armazenadas no solo por um período considerável, sem que isso ocasione grandes perdas de qualidade e rendimento. Os fatores favoráveis à produção agrícola da mandioca são: o baixo risco, o uso eficiente da água, a boa adaptação em solos com diferentes níveis de fertilidade, o fácil manejo, a geração de emprego no campo, o balanço energético positivo e as propriedades físico-químicas da fécula

de mandioca que favorecem a sua inserção em diversos mercados (DIAS, 2002; MATTOS; CARDOSO, 2003; DIAS; LEONEL, 2006).

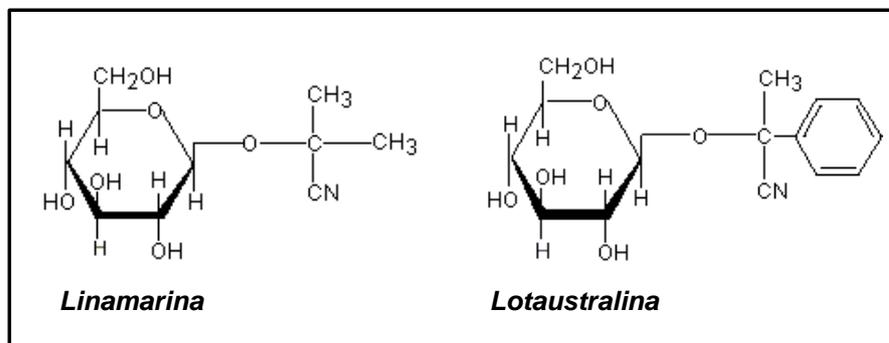
O arbusto da planta de mandioca atinge de 1 a 3 metros de altura. O tamanho das raízes varia de 30 a 50 cm de comprimento e 8 a 10 cm de diâmetro, afunilando-se nas pontas. As raízes apresentam variações de tamanho, peso e formato. Um pé de mandioca pode produzir de 5 a 12 raízes (LIMA; MARCONDES, 1979; EMBRAPA, 2005). Basicamente as raízes da mandioca são constituídas por carboidratos e água e, dentre os carboidratos, a maior concentração é de amido, o qual varia em função da variedade, da idade e da região de produção (NIBA et al., 2001; TANGPHATSORNRUANG et al., 2005).

As raízes da mandioca apresentam uma composição média de 68% de umidade, 30% de amido, 0,2% de cinzas, 1,3% de proteínas, 0,2% de lipídios e 0,3% de fibras (ALBUQUERQUE et al., 1993; CHISTÉ et al., 2006). São, portanto, essencialmente energéticas, apresentando elevados teores de carboidratos, principalmente polissacarídeos (FENIMAN, 2004; PERDOMO et al., 2009).

Um dos aspectos mais significativos da planta da mandioca é a presença de dois glicosídeos cianogênicos: a linamarina (93%) e a lotaustralina (7%) (Figura 2), que, sob determinadas condições, podem se transformar em ácido cianídrico (NIBA et al., 2001; ARYEE et al., 2006). A percepção desse fenômeno fez com que tradicionalmente no Brasil se fizesse uma distinção entre tipos diferentes de mandioca. No Norte e no Nordeste do país, as plantas recebem popularmente nomenclaturas diferenciadas, herdadas de denominações indígenas: as doces, com baixo teor de linamarina, são chamadas de macaxeira, ou aipim; e as bravas, que apresentam mais de 100 miligramas de linamarina por quilo, são conhecidas como mandiocas. Nas demais regiões prevalecem, no uso popular, indistintamente as denominações mandioca e aipim (SCHWENGBER; SMIDERLE; MATTIONI, 2005; SOUZA et al., 2008).

O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), preocupado com a ingestão de raízes de variedades de mandiocas cultivadas no estado de São Paulo e baseando-se nos limites estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS), estabeleceu para a mandioca de mesa o limite máximo de 100 mg/kg de HCN na polpa crua das raízes. Assim, a classificação, segundo o IAC é a seguinte: mansas, com menos de 100 mg de HCN/kg; intermediárias, de 100 a 200 mg de HCN/kg; e

bravas, com mais de 200 mg de HCN/kg (LORENZI, 2003). Em geral, as cultivares com menos de 100 mg/kg são chamadas doces, enquanto as que apresentam de 100 a 500 mg/kg são denominadas amargas (LORENZI; DIAS, 1993).



**Figura 2.** Fórmulas estruturais da Linamarina e Lotaustralina.  
FONTE: Jecfa (1993).

Os compostos cianogênicos por si só não são tóxicos. É o ácido cianídrico liberado a partir da linamarina, pela ação das enzimas *betaglicosidase* (linamarina) e *hidroxinitriloliase* (lotaustralina), que é o responsável pela toxidez. Sua dose letal (DL50) para a espécie humana é de 10 mg/kg de peso vivo (CARVALHO; CARVALHO, 1979; ARAÚJO, 1999; CHISTÉ, 2006).

As raízes dos genótipos de mandioca com elevados teores de HCN são destinadas à fabricação de farinha, enquanto as com baixos conteúdos deste ácido (abaixo de 50 mg/kg de polpa de raízes frescas) são consumidas cozidas, fritas, na forma de bolos e outras modalidades (MENDONÇA; MOURA; CUNHA, 2003). As mandiocas mansas não são utilizadas na fabricação de farinhas, pois, segundo Carvalho et al. (1995) originam um produto com sabor adocicado, de pouca aceitação no mercado.

### 3.1.2 Características agro-econômicas

#### 3.1.2.1 Produção mundial de mandioca

De acordo com estudos realizados pela Embrapa (2005), a mandioca tornou-se parte da dieta de cerca de 1 bilhão de pessoas, despontando como um dos cinco alimentos mais importantes do mundo. O crescimento de sua produção anual já atingiu índices bem próximos aos de culturas tradicionalmente mais prósperas,

como o trigo, o milho, a batata e o arroz. Entre as tuberosas, a mandioca, uma das principais explorações agrícolas mundiais, perde apenas para a batata (TANGPHATSORNRUANG et al., 2005). A Tabela 1 apresenta a produção de mandioca nos quatro continentes do mundo, entre os anos de 2005 a 2008.

**Tabela 1.** Produção mundial de mandioca entre os anos de 2005 a 2008.

Ano	África	Ásia	América Latina	Oceania
	Produção (milhões ton.)	Produção (milhões ton.)	Produção (milhões ton.)	Produção (milhões ton.)
<b>2005</b>	114.602	55.917	32.707	4.211
<b>2006</b>	118.078	67.190	33.439	3.852
<b>2007</b>	117.888	70.745	34.503	4.992
<b>2008</b>	124.000	76.650	33.800	4.000

FONTE: FAO (2010).

Devido às condições ambientais, a produção de mandioca passou a ser característica de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, localizados na África, América Latina e Ásia (DIAS, 2002; EMBRAPA, 2005). Segundo dados da FAO referentes ao ano de 2008, a África responde por 52% da produção mundial, seguida pela Ásia (32,1%), América Latina (14,2%) e Oceania (1,7%) (FAO, 2010).

A produção africana está distribuída por vários países, com destaque para a Nigéria e a República Democrática do Congo, que, juntos, contribuem com aproximadamente metade da produção continental, sendo a outra metade produzida em outros 37 países (EMBRAPA, 2005; TANGPHATSORNRUANG et al., 2005; ARYEE et al., 2006; NWOKOCHA et al., 2009).

Na Ásia, onde a produção de mandioca é voltada para a industrialização, a maioria da produção provém da Tailândia e da Indonésia, sendo o primeiro, o maior país exportador de derivados de mandioca do mundo (TANGPHATSORNRUANG et al., 2005; ARYEE et al., 2006). Os principais países produtores do continente segundo a FAO (2010) são: Tailândia (29,1 milhões t), Indonésia (20 milhões t), Índia (7,7 milhões t) e China (4,5 milhões t).

Conforme dados da FAO (2010), o Brasil, segundo maior produtor de mandioca do mundo, apresentou em 2008 uma produção de 26,3 milhões t, ou seja, 11% da produção mundial, ficando atrás apenas da Nigéria, que produziu no mesmo ano 49 milhões de t (20,5%).

### 3.1.2.2 Produção nacional de mandioca

Tradicionalmente, a mandioca tem um papel importante no Brasil, tanto como fonte de energia, para a alimentação humana e animal, quanto como geradora de emprego e de renda, notadamente, nas áreas pobres da região Nordeste (CEREDA; VILPOUX, 2003; DIAS; LEONEL, 2006; APLEVICZ; DEMIATE, 2007). A Tabela 2 apresenta os maiores estados produtores de mandioca do Brasil, entre os anos de 2005 a 2009.

**Tabela 2.** Maiores estados produtores de raiz de mandioca do Brasil entre os anos de 2005 a 2009.

Ano	Pará	Bahia	Paraná	Maranhão	Rio Grande do Sul
	Produção (milhões ton.)				
<b>2005</b>	4.798	4.612	3.308	1.530	1.129
<b>2006</b>	5.078	4.394	3.840	1.720	1.297
<b>2007</b>	5.217	4.481	3.365	1.766	1.372
<b>2008</b>	4.799	4.359	3.326	1.758	1.340
<b>2009</b>	4.966	4.225	4.008	1.281	1.292

FONTE: IBGE (2010).

A produção nacional da cultura em 2009, segundo dados do IBGE (2010), foi de 26,6 milhões t, com 1.890 t de raízes por hectare de área colhida. Dentre os principais estados produtores destacam-se: Pará (18,7%), Bahia (15,9%), Paraná (15,1%), Maranhão (4,8%) e Rio Grande do Sul (4,8%), que em conjunto são responsáveis por 59% da produção nacional.

Na distribuição da produção pelas diferentes regiões do país, no ano de 2009, a região Nordeste se sobressaiu com uma participação de 37,18% da produção, seguida pelas regiões Norte (28,16%), Sul (19,97%), Sudeste (9,06%) e Centro-Oeste (5,61%) (IBGE, 2010). As Regiões Norte e Nordeste destacam-se como principais consumidoras, sendo a produção essencialmente utilizada na dieta alimentar, na forma de farinha (PEREIRA; BELÉIA, 2004). Nas regiões Sul e Sudeste a maior parte da produção é orientada para a indústria, principalmente nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais (MATTOS; GOMES, 2000).

### 3.1.2.3 Produção regional de mandioca

Nos últimos anos a região Norte vem liderando a produção nacional de mandioca com 4.8 milhões t de raízes, produzidas em 2008, o que representa 18,2% da produção nacional e permite atender à demanda interna de farinha e gerar excedentes que são exportados para os estados vizinhos da Amazônia e de outras regiões do Brasil (CARDOSO, 2005). As regiões paraenses maiores produtoras de raízes de mandioca, segundo dados do IBGE (2010), são: mesorregiões – Nordeste Paraense (47,70%), com destaque para a Zona do Salgado, Baixo Amazonas (12,51%) e Sudeste Paraense (10,58%); Microrregiões – Tomé-Açu (11,07%) e Guamá (10,14%), que em conjunto, correspondem a 92% da produção total do estado do Pará.

No estado do Pará a mandioca é a principal fonte de carboidrato para uma significativa parcela da população de menor poder aquisitivo. Além do papel social que desempenha, ela passou a ter importância econômica para os municípios produtores e para o Estado, através da comercialização da farinha de mandioca (CHISTÉ et al., 2007). A Tabela 3 apresenta a área colhida, produção e rendimento de raízes de mandioca no estado do Pará, safras 2004-2008.

**Tabela 3.** Área colhida, produção e rendimento da raiz de mandioca no estado do Pará, safras 2004-2008.

<b>Ano</b>	<b>Produção (milhões ton.)</b>	<b>Área colhida (ha)</b>	<b>Produtividade (kg/ha)</b>
<b>2004</b>	4.445	298.400	3.615
<b>2005</b>	4.798	316.426	3.456
<b>2006</b>	5.078	314.096	2.355
<b>2007</b>	5.217	324.407	2.957
<b>2008</b>	4.933	314.493	3.840

FONTE: IBGE (2010).

A mandioca, de acordo com seu uso e potencialidades, pode ser classificada, em função do tipo de raiz, em duas grandes categorias: mandioca de “mesa”; e mandioca industrial. A primeira é comercializada na forma “in natura”; já a destinada à indústria tem uma grande variedade de usos, entre os quais a farinha e a fécula são os mais importantes (PEREIRA; BELÉIA, 2004; DIAS; LEONEL, 2006). A

farinha tem essencialmente uso alimentar e, além dos diversos tipos regionais que não modificam as características originais do produto, ela se encontra em duas formas: “a farinha não temperada”, que se destina à alimentação básica e é consumida principalmente pelas classes de renda mais baixa da população; e “a farinha temperada” (farofa), de mercado restrito, e com valor agregado elevado. Esse tipo de farinha destina-se às classes de renda média a alta da população.

### 3.2 FÉCULA DE MANDIOCA

Para a Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca (ABAM), o amido de mandioca, também conhecido como fécula ou polvilho doce, é um pó fino, branco, sem cheiro e sem sabor, que produz ligeira crepitação quando comprimido entre os dedos. O produto é extremamente versátil, sendo habitualmente utilizado como componente nos mais variados segmentos domésticos e industriais (ABAM, 2010).

A Legislação Brasileira define amido como a fração amilácea encontrada nos órgãos aéreos, tais como grãos e frutos, e fécula como a fração amilácea encontrada nas raízes e tubérculos (BRASIL, 2005). A diferença de denominação indica uma diferença, não de composição química, mas de origem do produto amiláceo, além de uma forte diferenciação funcional e tecnológica (CARDOSO, 2005).

O rendimento do processo de transformação da mandioca em fécula depende muito do porte da empresa e da tecnologia empregada. Pode ser realizado em escala artesanal ou semi-industrial (CARDOSO, 2005). O fluxograma de obtenção da fécula é o mesmo para todas as escalas de produção, o que varia é o tipo de equipamento utilizado. As etapas do processo consistem na lavagem das raízes, descascamento, ralação, adição de água, extração do amido da massa por agitação manual ou mecânica, separação da massa do leite de fécula por filtragem, separação do amido por decantação ou centrifugação, secagem do amido e acondicionamento. A partir da fécula podem ser fabricados diversos produtos como o polvilho azedo, a tapioca, o sagu (bolinhas de fécula), dentre outros (MATTOS et al., 2002).

A fécula de mandioca é constituída, em média, por 18% de amilose e 82% de amilopectina. Nos amidos de cereais, a amilose ocorre em porcentagens que variam

de 20 a 25% (CEREDA, et al., 2001). Na Tabela 4 são apresentados dados relativos à composição química do amido de mandioca (fécula).

**Tabela 4.** Composição química da fécula de mandioca.

Análise	Féculas		
	Cereda (2002)	Vieira (2007)	Moura (2009)
Carboidratos (%)	98,1-99,2	ND	ND
Proteínas (%)	0,03-0,60	0,17	0,40
Lipídios (%)	0,01-1,54	0,21	0,97
Fibras (%)	0,09-0,62	0,28	ND
Cinzas (%)	0,02-0,33	0,11	0,14
Acidez (mL NaOH/100g)	ND	0,15	1,00
Umidade (%)	ND	13,99	11,72

ND = não determinado.

A fécula de mandioca, com porcentagem relativamente alta de amilose, é utilizada pela indústria alimentícia devido à alta claridade e a textura coesa da pasta, baixa tendência à retrogradação e a boa estabilidade do gel. Outras características vantajosas são o baixo intervalo de temperatura de gelatinização (65 a 70°C) e o rápido aumento da viscosidade durante a gelatinização (KARAM et al., 2005). Além disso, apresenta como vantagens a ampla produção no Brasil e a disponibilidade de informações na literatura quanto às suas propriedades químicas e físico-químicas (MARQUES et al., 2006; GUEREIRO, 2007).

A fécula e seus produtos derivados têm competitividade crescente no mercado externo de produtos amiláceos para a alimentação humana, ou como insumos em diversos ramos industriais tais como o de alimentos embutidos, embalagens, colas, mineração, têxtil e farmacêutica. É nesse mercado que ocorre a maior agregação de valor (CHUZEL; ZAKHAIA; CEREDA, 1995; MARTÍNEZ-BUSTOS et al., 2007).



A compreensão da estrutura dos grânulos de amido é importante no entendimento de suas propriedades físico-químicas, as quais determinam o comportamento do amido natural ou modificado, nos mais diversos processos industriais aos quais eles normalmente são submetidos (BEMILLER, 1997). Em termos da organização dos grânulos e da estrutura de seus constituintes poliméricos, cada amido é único. Grupos de plantas (cereais, raízes, leguminosas e tubérculos) e mesmo plantas da mesma espécie, apresentam amidos com características e propriedades diferentes (RATNAYAKE; JACKSON, 2007).

Os grânulos de amido estão organizados em regiões cristalinas e amorfas, sendo a transição entre elas gradual. A região cristalina é constituída por cadeias laterais da amilopectina, enquanto que os pontos de ramificação e a amilose são os principais componentes das regiões amorfas (PARKER; RING, 2001). Desse modo, a cristalinidade dos grânulos, normalmente determinada por difração de raio-X, é descrita principalmente em função das duplas hélices formadas pelas ramificações da amilopectina (FENNEMA, 1996). As áreas cristalinas do amido mantêm a estrutura do grânulo e controlam o seu comportamento na água, tornando-o relativamente resistente ao ataque enzimático e químico (FRANCO et al., 2002). Esta estrutura cristalina depende do tipo e grau de associação intermolecular existente entre os componentes do amido (SINGH et al., 2003).

Como propriedades funcionais destacam-se o poder de inchamento e a solubilidade, referente à capacidade de hidratação dos grânulos; a gelatinização, processo de inchamento dos grânulos com a gradual perda da integridade granular e a geração de uma pasta viscosa; a retrogradação que é a reorganização das moléculas de amilose e amilopectina em uma estrutura cristalina quando os amidos são resfriados, e a hidrólise (DEMIATE; CEREDA, 2000; APLEVICZ; DEMIATE, 2007; RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

O amido de mandioca gelatiniza em temperaturas relativamente baixas, de 60 a 67°C, produzindo um gel muito claro e estável. Se a temperatura continuar aumentando, a viscosidade da pasta, inicialmente alta, decai com a solubilização continuada e agitação acima de 90°C, sendo que com um sub sequente resfriamento não há a formação de gel (TESTER; MORRISON, 1990). Esse comportamento faz com que o amido de mandioca seja muito conveniente para processos hidrolíticos,

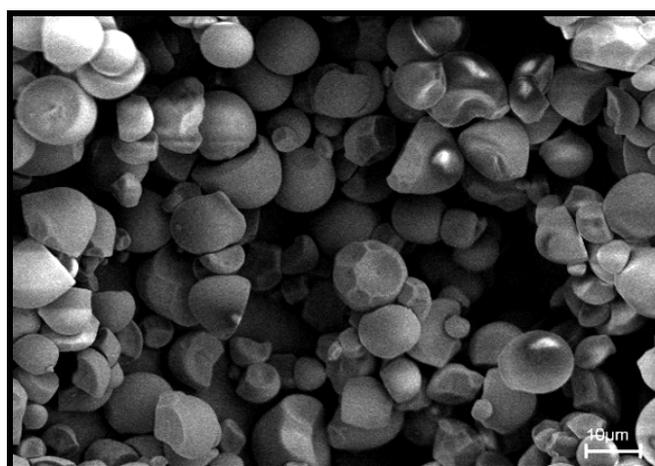
mas inapropriado em processos que requerem retrogradação (LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004; RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

As propriedades de claridade e baixa retrogradação do amido de mandioca podem ser vantajosas em muitos produtos alimentícios, na confecção de papéis e na engomagem de fios. A maior aplicação do amido e de seus derivados se dá na indústria alimentícia, onde ele passa por diferentes estados físicos, em função de sua estrutura e de suas propriedades funcionais (MARTÍNEZ-BUSTOS et al., 2007; RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

### 3.3.2 Morfologia dos grânulos do amido

A estrutura do grânulo de amido está intimamente ligada ao seu desenvolvimento na célula viva. O amido armazenado nas células das sementes, das raízes e dos tubérculos, encontra-se depositado como grânulos mais ou menos brilhantes, apresentando forma e dimensões diversas. Nas células vegetais, os grânulos são formados dentro de estruturas especiais denominadas amiloplastos, envolvidos por uma matriz protéica, o estroma (CEREDA, 2001).

As formas encontradas para o amido de mandioca podem ser redonda, oval, truncada, poligonal e cilíndrica (RICKARD; ASAOKA; BLANSHARD, 1991) ou cupuliforme, mitroforme, sacciforme, pentagonal arredondada, convexo-bicôncava ou hexagonal arredondada (ROSENTHAL et al., 1974) (Figura 4).



**Figura 4.** Microscopia eletrônica de varredura (SEM) de grânulos de amido de mandioca.  
FONTE: Vieira (2007).

Leonel, Garcia e Reis (2004) observaram para os grânulos de amido da mandioca, formatos ovais ou redondos com alguns côncavo-convexos característicos, assim como outros autores (CEBALLOS et al., 2007; NAND et al., 2008).

Leonel (2007) observou uma pequena amplitude para os diâmetros dos grânulos de amido de mandioca, e as propriedades térmicas desse amido estão estritamente relacionadas com o tamanho e a regularidade do tamanho do grânulo. No estudo de Campbell et al. (1996) houve correlação positiva de alta significância entre os tamanhos dos grânulos e as propriedades térmicas do amido de 35 cultivares de milho (tropical e subtropical).

Defloor, Dehing e Delcour (1998) determinaram propriedades físico-químicas de féculas de mandioca e encontraram distribuição de diâmetros dos grânulos entre 3 e 32  $\mu\text{m}$ , e o diâmetro médio dos grânulos foi de 9,5 a 13,6  $\mu\text{m}$ . Já Sriroth et al. (1999) encontraram diâmetro médio para os grânulos de 12  $\mu\text{m}$ , com distribuição normal de diâmetros entre 7 e 28  $\mu\text{m}$ .

Ao microscópio óptico, o grânulo de amido mostra ser constituído por uma massa homogênea, mas com estrutura particular. A Tabela 5 apresenta o tamanho de grânulos de amidos e féculas nativos.

**Tabela 5.** Características de grânulos de amido e fécula nativos.

<b>Características do Grânulo</b>	<b>Batata (Tubérculo)</b>	<b>Mandioca (Raiz)</b>	<b>Milho (Cereal)</b>	<b>Trigo (Cereal)</b>
Formato	Oval, Esférico	Truncado, oval	Redondo, poligonal	Redondo, lenticular
Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	5 a 100	4 a 35	2 a 30	1 a 45
Diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ )	27	15	10	8
Peso médio ( $\mu\text{g}$ )	40	25	15	25

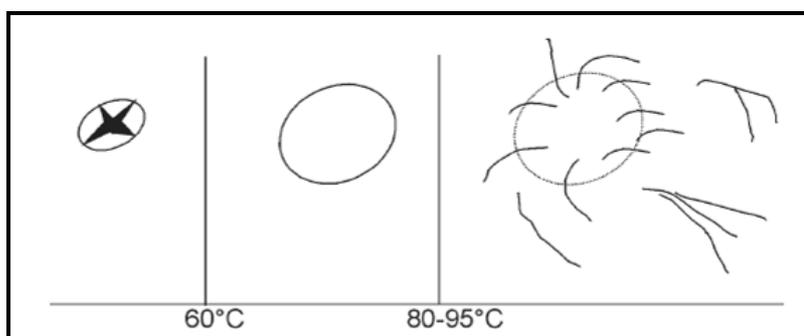
FONTE: Alexander (1995).

### 3.3.3 Gelatinização do amido

Os grânulos de amido em temperatura ambiente são insolúveis e têm uma capacidade limitada de absorver água fria (até 30% de seu peso), causando um inchamento reversível dos grânulos, que lhes permite retornar a sua forma original após secagem. Esta capacidade é controlada pela estrutura cristalina do grânulo

que, por sua vez, depende do grau de associação e arranjo molecular dentro dos componentes do amido. Quando ocorre o aquecimento dos grânulos de amido, na presença de água, as pontes de hidrogênio se rompem continuamente (desorganização irreversível da estrutura), os grânulos perdem sua integridade e a amilose e a amilopectina solubilizam, dando lugar a uma pasta viscosa. Esse fenômeno é denominado gelatinização (FENNEMA, 1996; BOBBIO; BOBBIO, 2001; CEREDA, 2001; TAPARELLI, 2005; SOUZA, 2010).

Devido às características individuais, nem todos os grânulos começam a inchar na mesma faixa de temperatura. Este processo geralmente ocorre em uma faixa de temperatura de 10°C (Figura 5). A gelatinização do amido ocorre em temperaturas na faixa de 50 a 120°C, e varia de acordo com a proporção de amilose e de amilopectina (CEREDA, 2001; TOMASIK, 2004; TAPARELLI, 2005; ELIASSON, 2006; SUN, 2009). A temperatura de gelatinização do amido de mandioca varia de 52-85°C (GARCIA et al., 1996; CEREDA, 2001; ELIASSON, 2004; SOUZA, 2010).



**Figura 5.** Comportamento dos grânulos de amido sob aquecimento da temperatura, em excesso de água.  
FONTE: Cereda e Vilpox (2003).

Após a gelatinização, dependendo da velocidade do resfriamento e da concentração da solução, o amido pode se comportar de duas formas distintas. Soluções concentradas e resfriadas mais rapidamente tendem a formar géis, processo conhecido como geleificação; já as soluções mais diluídas, deixadas em repouso, tendem a formar precipitados cristalinos, processo conhecido como retrogradação. Isso ocorre porque as cadeias de amilose tendem a formar ligações intermoleculares, sofrendo uma redução de tamanho, que provoca a expulsão de moléculas de água ligadas às cadeias, através do fenômeno conhecido por sinerese

(FENNEMA, 1996; BOBBIO; BOBBIO, 2001; CEREDA, 2001; BOBBIO; BOBBIO, 2003).

A desorganização da estrutura cristalina das moléculas de amilose e de amilopectina durante a gelatinização do amido ocorre através de um processo endotérmico, com entalpia de 15 J/g para os amidos nativos em geral e, em média 20 J/g para amidos de tuberosas. Este fenômeno pode ser observado através de calorimetria diferencial de varredura (DSC), que é uma técnica que detecta transições de fase e conformação, em função da variação de temperatura (FENNEMA, 1996; BOBBIO; BOBBIO, 2001; CEREDA, 2001; KALETUNC; BRESLAUER, 2003; ELIASSON, 2006; VIEIRA, 2007; SOUZA, 2010).

### 3.4 FARINHA DE TAPIOCA

Em muitos países, as denominações *cassava starch*, *tapioca flour* e *tapioca starch* são confundidas com a denominação “farinha de tapioca”, mas significam fécula de mandioca, que é diferente do produto que recebe tal denominação no Brasil. A farinha de tapioca é um produto característico das regiões Norte e Nordeste, onde a fabricação é realizada de forma semelhante, em fornos com movimentação manual ou mecanizados (CEREDA; VILPOUX, 2003).

A farinha de tapioca consiste em um sagu expandido (Figura 6), que na região Norte é considerado um dos principais produtos de consumo obtido a partir da fécula de mandioca. O sagu assume o mesmo papel no Sul e Sudeste do país e apresenta formas granulométricas variadas (CEREDA; VILPOUX, 2003).



**Figura 6.** Farinha de tapioca.

FONTE: Cereda e Vilpox (2003).

Assim como outros derivados da mandioca, a farinha de tapioca caracteriza-se pelo elevado teor de amido e baixo teor de proteínas, lipídios e minerais, o que

faz da mesma um alimento altamente calórico. A farinha de tapioca é consumida na região amazônica na forma de mingaus, roscas, bolos, pudins, sorvetes, bem como no acompanhamento da bebida açaí. É comercializada nas feiras livres da cidade de Belém, tendo o litro como unidade de medida (CEREDA; VILPOX, 2003).

Na Zona Bragantina estão concentradas as casas de farinha de tapioca do estado do Pará, onde o produto é elaborado de forma rudimentar e em pequenas quantidades. No início dos anos 90, o município de Santa Izabel era o principal produtor, mais especificamente a Comunidade de Americano, localizado na rodovia BR-316.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), aprovou o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos Produtos Amiláceos Derivados da Raiz de Mandioca, através da Instrução Normativa nº 23, de 14 de Dezembro de 2005 (BRASIL, 2005). Essa legislação estabelece os limites de tolerância para os produtos amiláceos derivados da raiz de mandioca e enquadra-os em grupo, subgrupo e tipo, respectivamente, como é apresentado a seguir:

- **Grupos:** de acordo com a tecnologia de fabricação utilizada, o produto amiláceo é classificado em 2 (dois) tipos:
  - Grupo I – Fécula
  - Grupo II – Tapioca
- **Subgrupos da Tapioca:** segundo a forma dos grânulos, a tapioca é classificada em 2 (dois) subgrupos:
  - Tapioca Granulada** – Tapioca “Flakes granulated” (flocos granulados): é o produto sob forma de grânulos, poliédricos irregulares, de diversos tamanhos.
  - Tapioca perola ou sagu artificial** – “Pearl” (pérola) tapioca: é o produto sob forma de grânulos esféricos irregulares, de diversos tamanhos.
- **Tipos:** Os produtos amiláceos derivados da raiz de mandioca do Grupo I são classificados em 3 (três) Tipos e os do Grupo II em 2 (dois) Tipos, de acordo com a sua qualidade, em função dos parâmetros e respectivos limites de tolerância estabelecidos na Tabela 6.

**Tabela 6.** Limites de tolerância para os produtos amiláceos derivados da raiz de mandioca.

Grupos	II – Tapioca							
	Subgrupos	I – Fécula			Granulada		Pérola ou sagu artificial	
		Tipos	1	2	3	1	2	1
	Fator Ácido (mL)	4,00	4,50	5,00	*	*	*	*
	pH	4,5-6,5	4,5-6,5	4,0-7,0	*	*	*	*
	Amido (%)	>84,00	>82,00	>80,00	*	*	*	*
	Cinzas (%)	<0,20	<0,25	<0,75	<0,20	<0,50	<0,20	<0,50
	Vazamento (%)	0,1050	0,105	0,105	*	*	*	*
	Abertura (mm)	99,00	98,00	97,00				
	Ponto Rompimento	>58°<66°	>58°<66°	>58°<66°	*	*	*	*
	Umidade %	<14,00	<14,00	<14,00	<15,00	<15,00	<15,00	<15,00
	Matéria estranha ou impurezas (%)	Isento	Isento	Isento	Isento	Isento	Isento	Isento
	Polpa (mL)	0,50	1,00	1,50	*	*	*	*
	Odor		Pelicular			Pelicular		

\* Não se aplica.

FONTE: Brasil (2005).

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

O processamento das raízes para a obtenção das féculas e das farinhas de tapioca, as análises físicas das raízes, a avaliação sensorial e a caracterização tecnológica das farinhas obtidas foram realizados no Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental. As análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Engenharia Química da UFPA. As análises térmicas foram realizadas no Laboratório de Catálise e Oleoquímica (ICEN/UFPA). As análises de microscopia eletrônica e óptica dos grânulos de amido foram realizadas no Laboratório de Microscopia do Instituto de Geociências (IG/UFPA).

### **4.1 MATERIAL**

Foram utilizadas as raízes de três variedades de mandioca, comumente utilizadas pelos produtores de goma e farinha de tapioca, no estado do Pará, sendo: Pai Ambrósio, procedente do município de Acará (PA); Pocu, procedente do município de Santo Antônio do Tauá (PA) e Paulo Velho, procedente do município de Ourém – Comunidade de Patauateua (PA). Todas as raízes apresentavam, pelo menos, 14 meses de plantio, e todas as localidades onde foram realizadas as coletas estão situadas na região Nordeste do Pará.

Para subsidiar as condições de processo a serem utilizadas na obtenção das farinhas de tapioca com as féculas extraídas das três raízes de mandioca estudadas, foi realizado um planejamento experimental utilizando uma fécula de mandioca comercial produzida no estado do Paraná.

Em complemento ao estudo, foram caracterizadas duas farinhas de tapioca comerciais, comercializadas nas feiras livres de Belém (PA) e oriundas dos municípios de Santa Izabel do Pará (PA) e de Santarém (PA). Essa caracterização foi realizada devido à necessidade de informações sobre algumas características físicas e físico-químicas não encontradas na literatura.

### **4.2 MÉTODOS**

#### **4.2.1 Caracterização física das raízes**

Cerca de 30 unidades de raízes de cada variedade de mandioca foram escolhidas aleatoriamente para a caracterização física. Com auxílio de um

paquímetro metálico 300 mm da marca Vonder, as medidas de comprimento e largura das raízes foram determinadas.

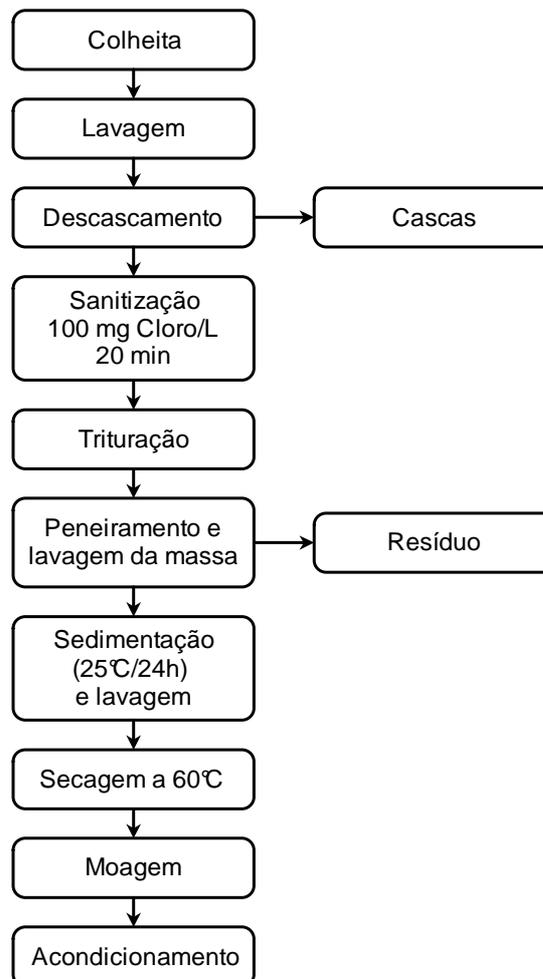
#### 4.2.2 Processo de obtenção das féculas de mandioca

Na obtenção das féculas de mandioca tomou-se como base a metodologia sugerida por técnicos da EMATER (2004), cujas etapas são descritas a seguir:

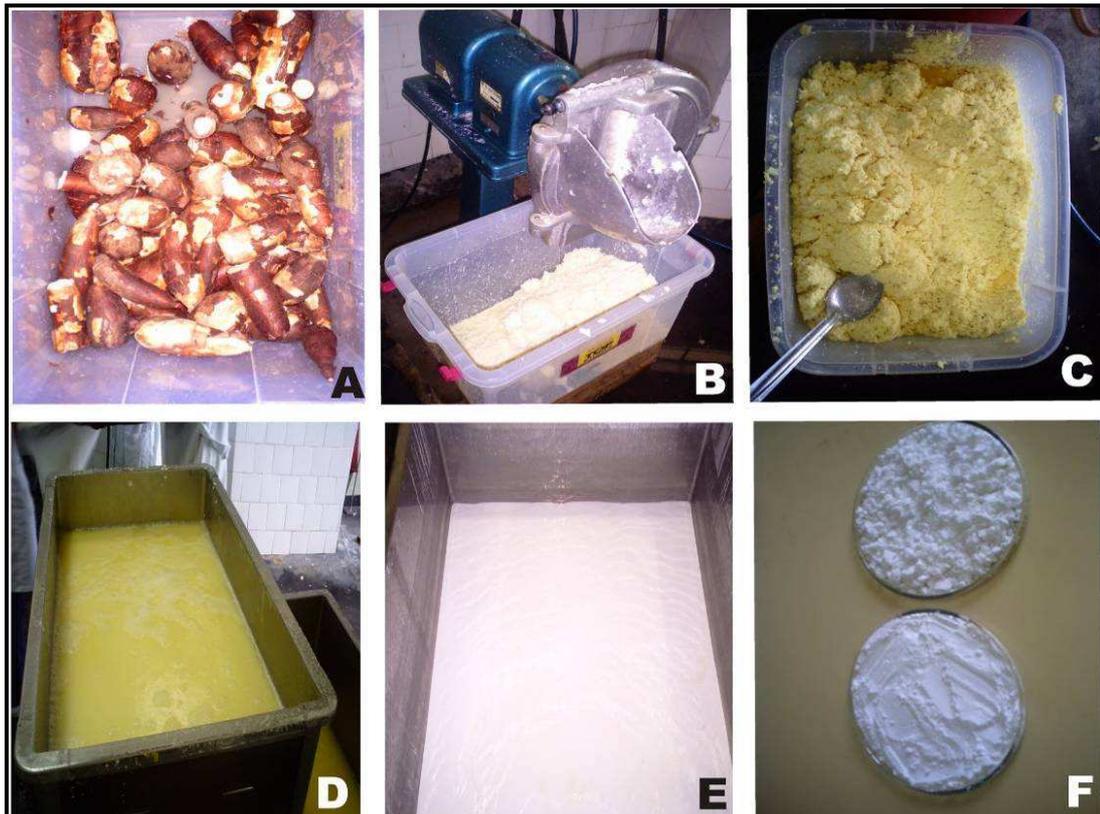
- **Colheita:** as raízes de mandioca, para processamento, foram colhidas com idade de 14 meses, quando apresentam elevado rendimento em amido (EMBRAPA, 2005). O processamento aconteceu logo após a colheita para evitar perdas e escurecimento, o que resultaria em produtos de qualidade inferior. Foram evitados atritos e danos mecânicos nas raízes, o que poderia provocar o início de processo fermentativo, resultando na diminuição da qualidade do produto.
- **Seleção:** na etapa de seleção foram eliminadas as raízes ou as porções destas que apresentaram sinais de contaminação microbiana, danos físicos ou outras características que as tornassem impróprias para o processamento.
- **Lavagem:** as raízes foram lavadas e escovadas em água corrente para eliminar sujidades aderidas à casca que prejudicariam a qualidade do produto final.
- **Descascamento:** foi realizado manualmente, com auxílio de facas de aço inoxidável. Após o descascamento as raízes foram novamente lavadas para eliminar impurezas aderidas durante essa etapa.
- **Sanitização:** as raízes, descascadas e lavadas, foram submetidas ao processo de sanitização, por imersão em água contendo 100mg/L de cloro ativo, durante 20 minutos (OLIVEIRA et al. 2003). A seguir as mesmas foram lavadas em água potável, para eliminar o excesso de cloro.
- **Trituração:** a trituração das raízes foi realizada com auxílio de triturador mecânico de procedência japonesa.
- **Peneiramento e lavagem da massa triturada:** o peneiramento/lavagem da massa foi realizado em peneira de pano de algodão e teve como objetivo extrair o máximo possível da fécula, utilizando água em abundância.
- **Sedimentação e lavagem:** a separação da fécula foi realizada por sedimentação natural a 25°C por 24 horas, quando o sobrenadante (m anipueira) foi drenado. Em seguida, foi adicionada água potável e realizada uma leve agitação manual. Este procedimento foi aplicado novamente após 24 horas, para purificação do amido.

- **Secagem:** as féculas foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar da marca Quimis, modelo 320-SE, a 60°C, até umidade final de 10-12%.
- **Moagem:** após a secagem as féculas foram trituradas em moinho de facas tipo Willye, da marca Tecnal, modelo TE-650, até tamanho de partículas inferior a 150 mesh.
- **Acondicionamento:** as féculas foram embaladas a vácuo, em sacos de polietileno (≈200g) e armazenadas à temperatura ambiente (≈25°C) até o momento das análises e processamento das farinhas de tapioca.

Na Figura 7, observa-se o fluxograma com todas as etapas do processamento das féculas e na Figura 8 podem ser visualizadas as etapas realizadas no processamento das mesmas.



**Figura 7.** Fluxograma de processamento das féculas de mandioca.



**Figura 8.** Etapas do processamento das féculas: (A) raízes lavadas, (B) trituração, (C) massa triturada, (D) manipueira, (E) fécula sedimentada e (F) fécula seca.

#### 4.2.3 Caracterização físico-química das féculas de mandioca

As seguintes análises foram realizadas em triplicata nas féculas obtidas das três variedades de mandioca:

- **Umidade:** determinada por gravimetria, em estufa da marca Tecnal modelo TE – 395, de acordo com o método 920.151 da AOAC (1997).
- **pH:** determinado em potenciômetro da marca Hanna Instruments, modelo HI9321, previamente calibrado com soluções tampões de pH 4 e 7, de acordo com o método 981.12 da AOAC (1997).
- **Acidez total titulável:** determinada segundo a metodologia nº 02-31 da AACC (1983).
- **Atividade de água ( $a_w$ ):** realizada através de leitura direta em termohigrômetro digital, com controle interno de temperatura ( $\approx 25^\circ\text{C}$ ), da marca Decagon, Aqualab Séries 3TE modelo TE 8063.

- **Proteínas totais:** a determinação foi realizada pela quantidade de nitrogênio total existente na amostra, empregando a técnica de Kjeldahl, de acordo com o método 920.87 da AOAC (1997). Foi utilizado o fator de 5,75 (proteínas vegetais) para conversão do nitrogênio em proteína bruta, segundo Resolução nº 360 de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003).
- **Lipídios:** o teor de lipídios foi determinado por extração com éter de petróleo, em equipamento Soxhlet, de acordo com método 922.06 da AOAC (1997).
- **Cinzas:** as amostras foram incineradas em forno tipo mufla a 550°C, de acordo com o método 930.05 da AOAC (1997).
- **Teor de amido:** foi quantificado conforme a metodologia descrita por Rickard e Behn (1987), com adaptações de Cereda, Daiuto e Vilpoux (2004).
- **Carboidratos:** o teor de carboidratos foi calculado por diferença, segundo Resolução nº 360 de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003).
- **Cor instrumental:** foi determinada por colorimetria *tristimulus*, através de leitura direta em colorímetro digital da marca KONICA-MINOLTA, modelo CR 400, pelo sistema CIE Lab.
- **Rendimento:** realizou-se a separação da polpa e casca manualmente e os rendimentos foram determinados através de suas respectivas massas, com auxílio de balança semi-analítica.

#### 4.2.4 Análises térmicas das féculas

##### 4.2.4.1 Análises térmicas diferencial (DTA) e gravimétrica (TG)

As análises térmicas diferencial e gravimétrica foram realizadas em analisador térmico diferencial e gravimétrico, da marca Shimadzu, modelo DTG-60H, com razão de aquecimento de 15°C/minuto e fluxo de ar sintético de 25 mL/minuto, na faixa de temperatura de 30 a 525°C.

##### 4.2.4.2 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A determinação da temperatura de gelatinização das féculas foi realizada em solução aquosa de fécula com 20% de amido, através da calorimetria diferencial de varredura (DSC), em equipamento da marca Shimadzu, modelo DSC-60, com razão

de aquecimento de 10°C/minuto e fluxo de nitrogênio de 25 mL/minuto, na faixa de temperatura de 30 a 150°C, de acordo com Garcia et al. (1996).

#### 4.2.5 Microscopia dos grânulos de amido das féculas

##### 4.2.5.1 Microscopia eletrônica de varredura

A análise morfológica dos grânulos de amido foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), em microscópio eletrônico de varredura da marca LEO, modelo 1450 VP.

##### 4.2.5.2 Microscopia ótica

O padrão de birrefringência do amido foi determinado em microscópio ótico de luz polarizada da marca Leica, modelo DM/LP, com câmera digital DC300F acoplada.

#### 4.2.6 Processo de obtenção das farinhas de tapioca

Para o processamento das farinhas de tapioca tomou-se como base a metodologia descrita por Cereda e Vilpoux (2003), com adaptações, de acordo com as etapas descritas a seguir:

- **Umidificação das féculas:** o teor de umidade da fécula foi aferido para um valor fixo, de acordo com cada experimento. O aferimento foi feito adicionando-se água em quantidade estabelecida através da equação 1.

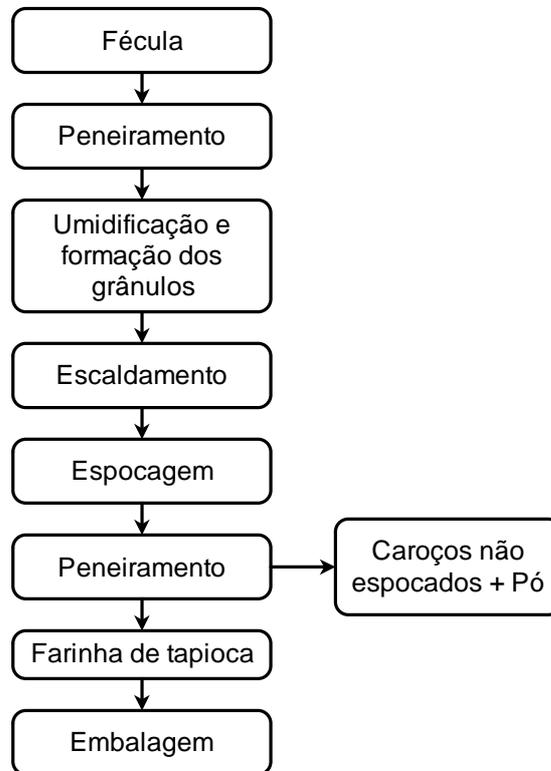
$$Y = (U_f - U_i) \times P / 100 - U_f \quad (1)$$

onde: Y = quantidade de água a ser adicionada (mL); U<sub>f</sub> = umidade final da amostra; U<sub>i</sub> = umidade inicial da amostra; P = peso da amostra (g)

- **Peneiramento:** o amido umedecido (fécula úmida) foi pressionado contra uma peneira de malha 3,0 mm, de forma a produzir os grânulos.

- **Formação dos grânulos (encaroçamento):** a operação foi realizada em tecido de algodão esticado sobre moldura de madeira (“caroçadeira”). Foi realizado movimento leve e giratório das mãos sobre a fécula úmida na caroçadeira, originando os grânulos. Os grânulos de diâmetro desejado foram selecionados em peneira de malha 3,0 mm.
- **Escaldamento:** com o objetivo de gelatinizar parcialmente os grânulos de amido superficiais, as pérolas (grânulos) de farinha de tapioca foram escaldadas, em temperatura fixa, num forno de procedência japonesa, similar aos utilizados no beneficiamento da farinha de mesa (farinha d’água), com revolvimento constantemente, para evitar a aderência dos grânulos. A temperatura e o tempo do escaldamento foram definidos de acordo com cada experimento. A temperatura do forno foi controlada através de termômetro infravermelho da marca ICEL, modelo TD950PRO, com taxa de temperatura de -20 a 270°C.
- **Repouso:** as farinhas escaldadas e torradas foram submetidas à etapa de repouso ( $\approx 24$  horas), embaladas em sacos de polietileno e armazenadas em temperatura ambiente ( $\approx 25^\circ\text{C}$ ) até a etapa de espocagem.
- **Espocagem:** esta operação foi realizada no mesmo forno utilizado para o escaldamento, em temperatura e tempo definidos de acordo com cada experimento. A operação de espocagem é caracterizada pela expansão dos grânulos como “pipocas”, os quais tornam-se brancos e opacos, com aparência de isopor. A temperatura do forno foi controlada com o mesmo termômetro infravermelho da etapa anterior.
- **Peneiramento:** o produto foi submetido a peneiramento, em peneiras com abertura de 4,75; 3,35 e 2,36 mm, as quais representam respectivamente, 4, 6 e 8 *mesh*, para uniformização da granulometria do produto.
- **Embalagem:** as farinhas de tapioca foram embaladas em sacos de polietileno com capacidade máxima de 200 gramas e armazenadas em temperatura ambiente ( $\approx 25^\circ\text{C}$ ) até o momento das análises.

As etapas do processamento das farinhas de tapioca estão descritas no fluxograma da Figura 9 e algumas etapas são apresentadas na Figura 10.



**Figura 9.** Fluxograma básico de obtenção de farinha de tapioca.



**Figura 10.** Etapas do processamento da farinha de tapioca: (A) fécula umedecida, (B) formação dos grânulos, (C) peneiramento, (D) escaldamento (E) farinhas peneiradas.

#### 4.2.6.1 Planejamento experimental

Para avaliar o processo de obtenção da farinha de tapioca foi utilizado um planejamento fatorial completo a três níveis do tipo  $3^2$ , com duas repetições no ponto central, tendo como variáveis de entrada (independentes): temperatura do forno e umidade dos grânulos após escaldamento, e como variáveis de saída (dependentes): umidade final da farinha, tempo de espocagem, densidade aparente, atividade de água, cor instrumental e granulometria. Todas as análises foram realizadas de acordo com os métodos descritos no item 4.2.7. O planejamento utilizado é apresentado na Tabela 7.

Na realização do planejamento foi utilizada como matéria prima a fécula de mandioca comercial descrita no item 4.1. Os grânulos com umidade de 40%, foram submetidos a escaldamento, por tempos pré-definidos através de cinética de desidratação, até que se obtivesse a umidade desejada ao planejamento. A espocagem foi realizada a 240°C, em todos os ensaios.

**Tabela 7.** Planejamento fatorial completo do tipo  $3^2$  utilizado na obtenção da farinha de tapioca escaldada e não escaldada.

Ensaio	Variáveis padronizadas		Variáveis Padrão	
	$X_1$	$X_2$	T(°C)	$M_i(\%)$
1	-1	-1	150	15
2	-1	0	150	20
3	-1	+1	150	25
4	0	-1	170	15
5	0	0	170	20
6	0	0	170	20
7	0	0	170	20
8	0	+1	170	25
9	+1	-1	190	15
10	+1	0	190	20
11	+1	+1	190	25

\*  $X_1$  = Temperatura do forno (°C);  $X_2$  = umidade dos grânulos após escaldamento (%).

As variáveis de entrada foram codificadas como: temperatura do forno ( $X_1$ ) e umidade dos grânulos após escaldamento ( $X_2$ ), e as de respostas como: umidade final da farinha ( $Y_1$ ), tempo de espocagem ( $Y_2$ ), densidade aparente ( $Y_3$ ), atividade de água ( $Y_4$ ), cor instrumental ( $Y_5$ ) e granulometria ( $Y_6$ ). Todas as respostas do

planejamento experimental foram analisadas de acordo com Barros Neto, Scarminio e Bruns (1996), com o auxílio do software Statistica® versão 7.0 (STATSOFT INC., 2004).

#### 4.2.6.2 Obtenção da farinha de tapioca com as féculas produzidas

Nessa etapa foram elaboradas as farinhas de tapioca a partir das féculas obtidas das raízes das três variedades de mandioca estudadas (Pai Ambrósio, Pocu e Paulo Velho), de acordo com a metodologia proposta por Cereda e Vilpoux (2003), com adaptações. A partir de cada fécula das três variedades de mandioca foram produzidas duas farinhas de tapioca, uma submetida a escaldamento e outra não, antes de ser torrada (espocagem). Foram utilizadas estas duas condições com base nos processos utilizados na obtenção das farinhas comerciais avaliadas no item 4.2.7.

Nas duas condições de processo, partiu-se de grânulos das féculas com umidade inicial de 40% e tamanho superior a 3,35 mm (peneira de 6 *mesh*) (CEREDA; VILPOUX, 2003). Para as farinhas escaldadas, o escaldamento foi realizado a 190°C, até uma umidade residual de 20%, em dos resultados do planejamento. Em seguida os grânulos foram submetidos à etapa de torração (espocagem) a 240°C. No caso das farinhas não escaldadas, a espocagem foi realizada diretamente a 190°C. O tempo de espocagem variou de 3,5 a 4,5 minutos.

#### 4.2.7 Caracterização física e físico-química das farinhas de tapioca

Duas farinhas de tapioca comerciais e todas as farinhas de tapioca produzidas com as féculas das três variedades de mandioca estudadas foram submetidas a análises físicas e físico-químicas, em triplicata, conforme descrito no item 4.2.3 (Caracterização física e físico-química das féculas de mandioca). Foram realizadas também as seguintes análises:

- **Granulometria:** a distribuição de tamanho de partículas das farinhas de tapioca foram determinada de acordo com o método 965.22 da AOAC (1997), utilizando um conjunto de peneiras (4, 6, 9 e 20 *mesh* e um fundo – ABNT) e classificador vibratório da marca Produtest.

- **Valor calórico:** foi obtido o valor calórico das farinhas de tapioca, pela somatória do teor de lipídios multiplicado por nove, e de carboidratos e proteínas multiplicados por quatro, segundo Resolução nº360 de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003).

#### **4.2.8 Características tecnológicas das farinhas de tapioca**

##### **4.2.8.1 Índice de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)**

O IAA indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido de uma determinada amostra submetida a tratamento térmico. O ISA indica a severidade do tratamento térmico e a consequente desramificação da estrutura amilácea. A determinação dos índices foi feita de acordo com a metodologia proposta por Anderson et al. (1969).

##### **4.2.8.2 Densidade aparente**

A densidade aparente é uma forma indireta de verificar os níveis de expansão dos grânulos das farinhas de tapioca e medir sua densidade. Assim, pelo método do deslocamento da massa ocupada, utilizando sementes de canola, foi medido o volume deslocado em proveta graduada, e determinada a densidade aparente das farinhas (RAMÍREZ; WANDERLEI, 1997).

##### **4.2.8.3 Higroscopicidade das farinhas de tapioca**

Para a determinação da higroscopicidade, colocou-se cerca de 1 g de cada amostra de farinha de tapioca, em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75%). A higroscopicidade foi definida como a umidade de equilíbrio atingida pelas farinhas, quando expostas a referida umidade relativa (TONON et al., 2009).

#### **4.2.9 Microscopia das farinhas de tapioca**

As análises microscópicas foram realizadas conforme descrito nos subitens 4.2.5.1 (Microscopia eletrônica de varredura) e 4.2.5.2 (Microscopia ótica).

#### **4.2.10 Análises microbiológicas das farinhas de tapioca**

Foram avaliados nas farinhas de tapioca produzidas, Coliformes a 45°C, *Bacillus cereus* e *Salmonella sp.*, com base nas metodologias descritas por Vanderzant e Splittstoesser (1992), seguindo os padrões microbiológicos recomendados pela legislação brasileira vigente (BRASIL, 2001).

#### **4.2.11 Avaliação sensorial das farinhas de tapioca**

##### **4.2.11.1 Teste de aceitabilidade**

O método aplicado para a avaliação sensorial das farinhas de tapioca foi o afetivo, também chamado de teste de aceitabilidade, com escala hedônica. Neste teste o provador expressa o grau de quanto gosta ou desgosta das amostras, utilizando uma escala com valores numéricos que indicam cada uma das expressões verbais hedônicas, permitindo a partir desses números, a análise estatística dos resultados (STONE; SIDEL, 1993).

Os testes de aceitação foram realizados, com escala hedônica de nove pontos, ancorados em seus extremos nos termos gostei muitíssimo (9) desgostei muitíssimo (1). Os atributos avaliados nos produtos foram: aparência, crocância e impressão global (Figura 11).

Para a realização das análises, 30 provadores não treinados receberam as amostras, um copo de água e a ficha para avaliação. As amostras foram codificadas com três dígitos e os provadores selecionados aleatoriamente.

#### 4.2.11.2 Teste de intenção de compra

O teste foi realizado para verificação da intenção de compra das farinhas de tapioca elaboradas. O teste foi realizado logo após o término do teste de aceitabilidade, com os mesmos provadores (Figura 11).

Nome: _____ Idade: _____ Contato: _____ Data: ____/____/2011
AMOSTRA NÚMERO _____
Você está recebendo uma amostra codificada de uma <b>FARINHA DE TAPIOCA</b> . Por favor, avalie a <b>APARÊNCIA</b> da amostra, e na escala abaixo, indique o quanto você gostou ou desgostou da mesma.
<input type="radio"/> 9. Gostei muitíssimo <input type="radio"/> 8. Gostei muito <input type="radio"/> 7. Gostei moderadamente <input type="radio"/> 6. Gostei ligeiramente <input type="radio"/> 5. Nem gostei, nem desgostei <input type="radio"/> 4. Desgostei ligeiramente <input type="radio"/> 3. Desgostei moderadamente <input type="radio"/> 2. Desgostei muito <input type="radio"/> 1. Desgostei muitíssimo
Agora avalie a amostra em relação ao atributo: <b>CROCÂNCIA</b> , e indique na escala abaixo:
<input type="radio"/> 9. Gostei muitíssimo <input type="radio"/> 8. Gostei muito <input type="radio"/> 7. Gostei moderadamente <input type="radio"/> 6. Gostei ligeiramente <input type="radio"/> 5. Nem gostei, nem desgostei <input type="radio"/> 4. Desgostei ligeiramente <input type="radio"/> 3. Desgostei moderadamente <input type="radio"/> 2. Desgostei muito <input type="radio"/> 1. Desgostei muitíssimo
Agora avalie a amostra em relação ao atributo: <b>IMPRESSÃO GLOBAL (produto como um todo)</b> , e indique na escala abaixo:
<input type="radio"/> 9. Gostei muitíssimo <input type="radio"/> 8. Gostei muito <input type="radio"/> 7. Gostei moderadamente <input type="radio"/> 6. Gostei ligeiramente <input type="radio"/> 5. Nem gostei, nem desgostei <input type="radio"/> 4. Desgostei ligeiramente <input type="radio"/> 3. Desgostei moderadamente <input type="radio"/> 2. Desgostei muito <input type="radio"/> 1. Desgostei muitíssimo
Se este produto estivesse à venda nos mercados, qual seria sua atitude? certamente compraria possivelmente compraria talvez comprasse / talvez não comprasse possivelmente não compraria certamente não compraria
Comentários: _____
<b>OBRIGADA!</b>

**Figura 11.** Ficha sensorial utilizada nos testes de aceitação e intenção de compra das farinhas de tapioca.

#### **4.2.12 Análise estatística dos resultados**

Os resultados das análises físicas das raízes, físico-químicas das féculas e das farinhas de tapioca elaboradas foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) e teste complementar de comparação de médias de Tukey, com o auxílio do programa *Statistica*<sup>®</sup> versão 7.0 (STATSOFT INC., 2004). O mesmo aplicativo foi utilizado na avaliação dos resultados do planejamento experimental do processo de obtenção das farinhas de tapioca, através de análise de variância (ANOVA) e verificação dos efeitos significativos ( $p \leq 0,05$ ).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS RAÍZES DE MANDIOCA

Os rendimentos médios das raízes sem casca das três variedades de mandioca utilizadas no estudo podem ser observados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Rendimento médio das raízes sem casca das três variedades de mandioca estudadas.

Parâmetros	Variedade da mandioca		
	Pai Ambrósio	Pocu	Paulo Velho
Raiz sem casca (%)	68,6 ± 0,81 <sup>b</sup>	88,0 ± 0,02 <sup>a</sup>	87,8 ± 0,35 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

As variedades Pocu e Paulo Velho apresentaram os maiores rendimentos em raízes sem cascas (aproximadamente 88%), os quais foram aproximadamente 20% superiores ao observado para a variedade Pai Ambrósio. Considerando que os rendimentos são referentes à parte comestível das raízes, pode-se afirmar que as raízes das variedades Pocu e Paulo Velho provavelmente apresentarão maiores rendimentos industriais. As características físicas das raízes encontram-se na Tabela 9.

**Tabela 9.** Características físicas das raízes das três variedades de mandioca.

Parâmetros	Variedade da mandioca		
	Pai Ambrósio	Pocu	Paulo Velho
Comprimento (cm)	18,2 ± 4,28 <sup>a</sup>	16,5 ± 6,24 <sup>b</sup>	18,1 ± 7,23 <sup>a</sup>
Diâmetro da parte superior (cm)	6,16 ± 1,26 <sup>a</sup>	4,99 ± 1,12 <sup>b</sup>	4,52 ± 1,21 <sup>b</sup>
Diâmetro da parte intermediária (cm)	6,45 ± 1,39 <sup>a</sup>	5,76 ± 1,31 <sup>ab</sup>	5,21 ± 1,51 <sup>b</sup>
Diâmetro da parte inferior (cm)	2,98 ± 0,89 <sup>a</sup>	2,84 ± 0,91 <sup>a</sup>	2,89 ± 0,78 <sup>a</sup>
Peso médio da raiz (g)	387,9 ± 173,8 <sup>a</sup>	353,4 ± 197,05 <sup>a</sup>	341,1 ± 255,02 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os parâmetros comprimento, diâmetro da parte superior e diâmetro da parte intermediária das raízes apresentaram diferenças significativas, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), o que não ocorreu com os parâmetros diâmetro menor e peso médio das

raízes. Adetan, Adekoya e Aluko (2003) encontraram valor de 8,8 cm para o diâmetro médio das raízes de uma cultivar de mandioca nigeriana, valor superior aos diâmetros de todas as variedades estudadas neste trabalho. Em relação ao comprimento, os valores médios encontrados para as três variedades foram inferiores ao encontrado por Gomes et al. (2007) (22,6 cm), em estudo realizado com 100 clones de raízes de mandiocas brasileiras.

Observando-se a variabilidade dos parâmetros analisados por meio da relação entre os desvios padrões e as médias, pôde-se verificar que os mesmos foram superiores a 20% para os parâmetros comprimento e diâmetro, e superiores a 45%, para o parâmetro peso médio das raízes. A grande variabilidade observada indicou a inexistência de um padrão de tamanho e de forma para as raízes de uma mesma variedade de mandioca.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS FÉCULAS

### 5.2.1 Caracterização físico-química

Os resultados da caracterização físico-química das féculas de mandioca podem ser observados na Tabela 10.

**Tabela 10.** Propriedades físico-químicas das féculas das três variedades de mandioca.

Parâmetros	Variedade da mandioca		
	Pai Ambrósio	Pocu	Paulo Velho
Atividade de água	0,26 ± 0,07 <sup>c</sup>	0,52 ± 0,09 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,01 <sup>b</sup>
Acidez titulável (%) <sup>*</sup>	0,97 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,11 ± 0,07 <sup>a</sup>	1,07 ± 0,05 <sup>a</sup>
pH	6,21 ± 0,14 <sup>a</sup>	6,06 ± 0,13 <sup>a</sup>	6,03 ± 0,09 <sup>a</sup>
Umidade (%)	8,22 ± 0,08 <sup>c</sup>	13,64 ± 0,08 <sup>a</sup>	10,48 ± 0,18 <sup>b</sup>
Proteínas (%) <sup>1</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,08 ± 0,01 <sup>a</sup>
Lipídios (%) <sup>1</sup>	0,26 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,27 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,07 <sup>a</sup>
Cinzas (%) <sup>1</sup>	0,09 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,06 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,08 ± 0,07 <sup>a</sup>
Amido (%) <sup>1</sup>	97,45 ± 0,26 <sup>a</sup>	96,55 ± 0,30 <sup>b</sup>	92,47 ± 0,65 <sup>b</sup>
Cor L <sup>*</sup>	97,00 ± 0,80 <sup>a</sup>	97,30 ± 0,20 <sup>a</sup>	97,03 ± 0,58 <sup>a</sup>
a <sup>*</sup>	0,14 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,15 ± 0,06 <sup>ab</sup>	0,21 ± 0,04 <sup>a</sup>
b <sup>*</sup>	1,26 ± 0,53 <sup>a</sup>	1,21 ± 0,05 <sup>a</sup>	1,67 ± 0,08 <sup>a</sup>
Carboidratos totais (%)	91,38 ± 0,17 <sup>a</sup>	85,98 ± 0,21 <sup>b</sup>	89,16 ± 0,30 <sup>a</sup>
Rendimento fécula (%)	6,8 ± 0,07 <sup>c</sup>	15,5 ± 0,09 <sup>a</sup>	10,7 ± 0,11 <sup>b</sup>

Médias com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade; valores representam a média das triplicatas ± desvio-padrão; <sup>1</sup>valores em base seca.

Embora o teor de umidade seja um parâmetro importante na conservação de alimentos, em muitos casos a atividade de água tem sido o parâmetro preferido para ser medido e acompanhado, por representar melhor a água disponível ou o estado da água disponível que melhor se correlaciona com a conservação dos mesmos (CHIRIFE; BUERA, 1995). Por terem apresentado atividades de água inferiores a 0,6, as três féculas produzidas podem ser consideradas microbiologicamente estáveis (UBOLDI-EIROA, 1981; MORITA et al., 2005). As atividades de água das féculas foram inferiores as observados por Cereda e Vilpox (2003) e Moura (2009) ao caracterizarem féculas de mandioca, os quais relataram atividades de água de 0,63 e 0,53, respectivamente.

Com base nos valores de pH e de acidez titulável, as féculas podem ser classificadas como de baixa acidez ( $\text{pH} > 4,6$ ) (FELLOWS, 2006). Os valores apresentaram-se de acordo com os observados por Leonel, Garcia e Reis (2004), que verificaram pH de 6,44 e acidez de 1,05 meq. NaOH/100g, ao avaliarem amidos de mandioca.

A umidade dos produtos variou entre 8,22% a 13,64%. Nand et al. (2008) estudando as propriedades do amido nativo em diferentes cultivares de mandioca relataram umidades na faixa de 9,23 a 10%. Zaidul et al. (2007) e Nwokocha et al. (2009) encontraram umidades médias de 13,4 e 14,6%, respectivamente, também em amidos de mandioca.

Uma característica das féculas é o baixo teor de proteínas, quando comparado com os amidos de cereais. As féculas apresentaram teor médio de proteína de 0,09%, que está de acordo com o encontrado por Charles et al. (2007) (0,08%), para o produto. Por outro lado, Aryee et al. (2006) relataram teores protéicos superiores, variando de 0,87 a 4,59%, ao estudarem os amidos obtidos de 31 variedades de mandioca. Mestres (1996) citou que quantidades de proteínas inferiores a 0,5% não interferem nas propriedades funcionais do amido.

Os lipídios apresentam forte influência nas propriedades funcionais dos amidos. A formação de complexos amido-lipídio fornece propriedade de textura para vários alimentos. As féculas apresentam baixas quantidades de lipídeos, ao contrário dos amidos de cereais (GUERREIRO, 2007). O teor médio de lipídios (0,26%) para as três féculas foi superior à média encontrada por Cereda e Vilpox (2003) (0,10%), em féculas de mandioca industrializadas no Brasil. No entanto,

Soares Júnior et al. (2006) observaram valor superior (0,50%) para fécula de mandioca utilizada em formulações de pães.

O teor de cinzas está relacionado com a quantidade de sais minerais presente nos alimentos. As féculas apresentaram teor médio de cinzas de 0,08%, o que demonstra o baixo conteúdo de minerais nos produtos. Este valor está próximo aos encontrados por Charles et al. (2007) em fécula de mandioca (0,04%), e por Vieira et al. (2010) em fécula de mandioca utilizada na formulação de pão de chá (0,11%). Por outro lado, Nwokocha et al. (2009) encontraram valor superior (0,29%) ao caracterizarem amido nativo de mandioca.

A fécula da variedade Pai Ambrósio apresentou maior teor de amido (97,45%) que as féculas das variedades Pocu (96,55%) e Paulo Velho (92,47%), a quais apresentaram médias estatisticamente iguais ( $p > 0,05$ ). Os resultados são superiores aos observados por Ceballos et al. (2007) (86-88%), para féculas utilizadas em formulações de biscoitos, e por Nunes, Santos e Cruz (2009) (89,57-91,38%) para féculas obtidas de três variedades de mandioca do semi-árido baiano.

Em relação aos parâmetros de cor, todas as féculas apresentaram tendência ao verde (parâmetro  $a^*$ ) e ao amarelo (parâmetro  $b^*$ ) bem suave, e uma alta luminosidade (valor do parâmetro  $L^*$  superior a 97). A combinação dos parâmetros de cor indica a elevada brancura das féculas obtidas das três variedades de mandioca. A tendência ao branco foi também observada por Moura (2009) e por Souza (2010), para as féculas de mandioca e de mandiocaba, respectivamente.

O elevado teor de amido e baixo de outros constituintes, bem como a elevada cor branca do produto são indicativos da boa qualidade das féculas. Franco, Cabral e Tavares (2002) e Peroni (2003) ressaltam que é importante a fécula apresentar um alto teor de amido e baixo de outros constituintes, pois a pureza do amido determina sua qualidade e facilita sua aplicação industrial.

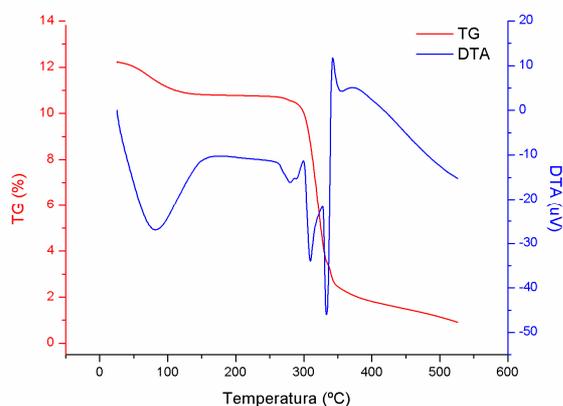
Os valores de umidade (<14%), amido (>80%), cinzas (<0,75%) e pH (4,0-7,0) das três féculas obtidas apresentaram-se de acordo com os exigidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2005), segundo a qual, as féculas das diferentes variedades de mandioca podem ser classificadas como “tipo 1”, o que demonstra a alta qualidade das mesmas.

Os rendimentos de extração das féculas das variedades Pai Ambrósio (6,8%), Pocu (15,5%) e Paulo Velho (10,7%) foram inferiores a média de 26% relatada por

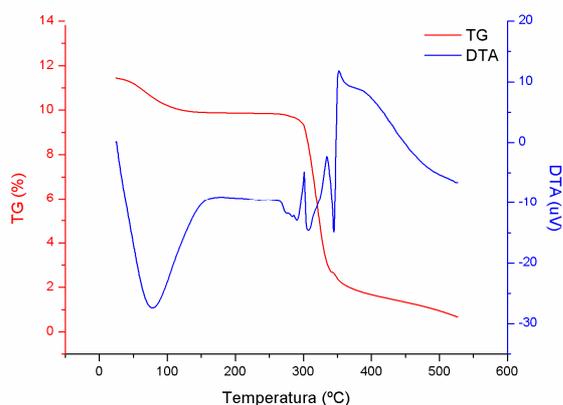
Cereda e Vilpoux (2003). Nunes, Santos e Cruz (2009) também encontraram valores superiores, entre 20,64 e 33,25%, para três variedades de mandioca do sem-árido baiano. A eficiência da extração do amido pode ser considerada relevante, quando comparada com a extração industrial de fécula de mandioca, na qual, segundo Souza (2005), de 55 a 80% do amido ficam retidos no farelo.

### 5.2.2 Análise térmica das féculas

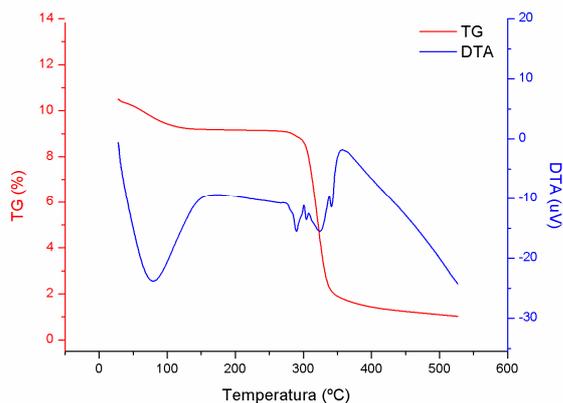
Através das análises térmicas diferencial (DTA) e gravimétrica (TG) (Figuras 12, 13, 14 e Tabela 11) pode-se observar que durante o aquecimento das féculas das três variedades de mandioca estudadas ocorreram três eventos principais de perda de massa, desidratação na primeira etapa e decomposição nas demais.



**Figura 12.** Curvas de TG e DTA para a fécula de mandioca da variedade Pai Ambrósio.



**Figura 13.** Curvas de TG e DTA para a fécula de mandioca da variedade Pocu.



**Figura 14.** Curvas de TG e DTA para a fécula de mandioca da variedade Paulo Velho.

**Tabela 11.** Parâmetros de perda de massa e intervalos de temperatura de desidratação e decomposição das féculas de mandioca.

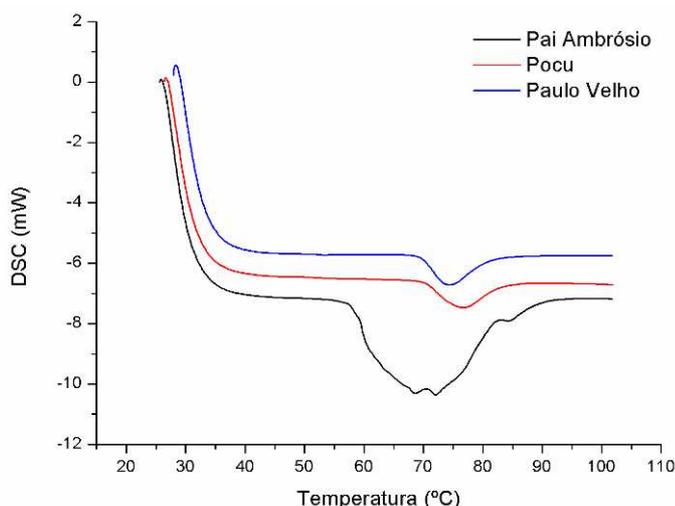
Parâmetros	Variedade da mandioca			
	Pai Ambrósio	Pocu	Paulo Velho	
Des.	$\Delta T_1$ (°C)	25,49 – 157,16	24,42 – 162	28 – 168,49
	$\Delta m_1$ (%)	11,36 ± 0,02 <sup>a</sup>	13,69 ± 0,63 <sup>a</sup>	12,50 ± 0,42 <sup>a</sup>
Dec.	$\Delta T_2$ (°C)	243,01 – 335,80	242,54 – 336,50	250,60 – 334,43
	$\Delta m_2$ (%)	75,08 ± 0,83 <sup>a</sup>	72,23 ± 0,31 <sup>b</sup>	73,76 ± 0,25 <sup>ab</sup>
	$\Delta T_3$ (°C)	335,80 – 434,18	336,50 – 414,06	334,43 – 412,64
	$\Delta m_3$ (%)	19,18 ± 0,07 <sup>a</sup>	18,17 ± 0,21 <sup>a</sup>	19,10 ± 0,45 <sup>a</sup>

$\Delta T$  = intervalo de temperatura (°C);  $\Delta m$  = perda de massa (%); Des. – Desidratação; Dec. – Decomposição. Médias com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade; valores representam a média das triplicatas ± desvio-padrão.

De acordo com a Tabela 11, a perda de massa ( $\Delta m_1$ ) das três féculas foi em média 12,50%, superior as perdas observadas por Ladeira et al. (2011) (10,15%, em média), para as féculas de três acessos de mandioca e próximas as observadas por Souza (2010) (11,65%, em média), para as féculas de três acessos de mandiocaba.

A partir de 242°C ocorreu a decomposição térmica da amilose e da amilopectina, em dois estádios consecutivos. No primeiro pico exotérmico ocorreu a maior perda de massa (72,23-75,08%), e as amostras diferiram estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) entre si, para esse parâmetro. Segundo Aggarwal e Dollimore (1997) essa perda de massa está relacionada com a degradação do amido. O terceiro evento, exotérmico, é atribuído à oxidação do material orgânico parcialmente decomposto.

Os resultados da calorimetria diferencial de varredura encontram-se na Figura 15 e na Tabela 12.



**Figura 15.** Calorimetria diferencial de varredura para as féculas de mandioca.

**Tabela 12.** Parâmetros de gelatinização das féculas.

Parâmetros	Variedade da mandioca		
	Pai Ambrósio	Pocu	Paulo Velho
$T_o$ (°C)	60,47 ± 0,07 <sup>a</sup>	65,99 ± 1,83 <sup>a</sup>	60,95 ± 1,69 <sup>a</sup>
$T_p$ (°C)	74,82 ± 0,20 <sup>a</sup>	74,73 ± 0,78 <sup>a</sup>	73,73 ± 1,80 <sup>a</sup>
$T_f$ (°C)	84,56 ± 0,18 <sup>a</sup>	83,47 ± 1,42 <sup>a</sup>	83,98 ± 0,95 <sup>a</sup>
$\Delta H_{gel}$ (J/g)	5,88 ± 0,18 <sup>a</sup>	2,02 ± 0,20 <sup>b</sup>	3,05 ± 0,78 <sup>ab</sup>

$T_o$  = temperatura inicial de gelatinização (°C);  $T_f$  = temperatura final de gelatinização (°C);  $T_p$  = temperatura de pico de gelatinização (°C);  $\Delta H_{gel}$  = entalpia de gelatinização (J/g). Médias com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade; valores representam a média das triplicatas ± desvio-padrão.

As temperaturas de início ( $T_o$ ), de pico ( $T_p$ ) e final de gelatinização foram, em média, 62,47°C, 74,43°C e 84,0°C, respectivamente, para os amidos extraídos das três variedades de mandioca. Ladeira (2011) observou valores de  $T_o$  (61,23-62,90°C),  $T_p$  (68,64-72,41°C) e  $T_f$  (76,12-80,0°C) para os amidos de três acessos de mandioca. A entalpia de gelatinização ( $\Delta H_{gel}$ ) variou de 2,02 J/g (variedade Pocu) a 5,88 J/g (variedade Pai Ambrósio). Valores superiores foram observados por Ladeira (2011) (7,47-17,49 J/g) e por Nwokocha et al. (2009) (14,35 J/g) para amidos nativos de mandioca.

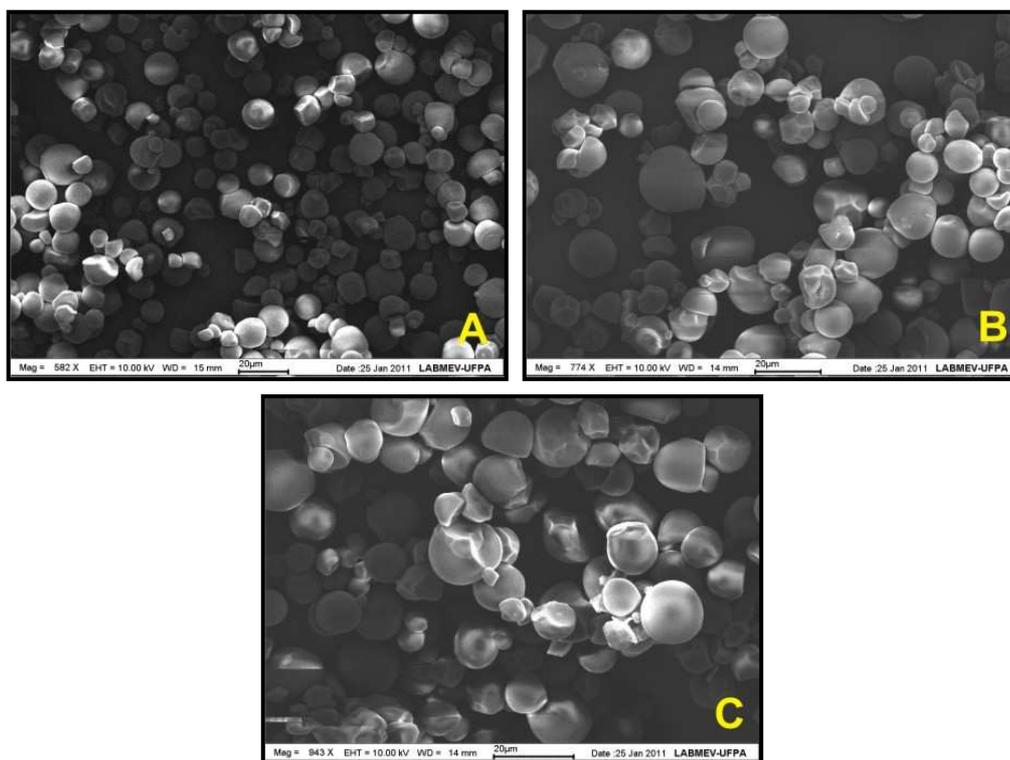
Observou-se uma tendência de haver, para a variedade Pai Ambrósio, uma maior proporção de amilopectina em relação à amilose, quando comparada com as

demais variedades. Esta variedade apresentou o maior  $\Delta H_{gel}$  (5,88 J/g), o qual está diretamente relacionado com o comprimento das cadeias externas de amilopectina. Quanto maior este comprimento, maior o valor da entalpia de fusão (COUTINHO, 2007; LADEIRA, 2011).

## 5.2.3 Microscopia dos grânulos de amido das féculas

### 5.2.3.1 Microscopia eletrônica de varredura

Os grânulos de amido das féculas das três variedades de mandioca apresentaram forma arredondada e ligeiramente achatada em uma das extremidades, com superfície lisa. Alguns grânulos apresentaram depressões na superfície, conferindo aspecto e formato irregular, truncado (Figura 16). Formatos semelhantes foram observados por Vieira (2007) e Moura (2009), ao estudarem a morfologia de grânulos de amido de féculas comerciais.



**Figura 16.** Eletromicrografias dos grânulos de amido das três féculas: (A) Pai Ambrósio; (B) Pocu e (C) Paulo Velho.

A distribuição de tamanho dos grânulos de amido foi diferente para as féculas das três variedades de mandioca estudadas. Para o amido obtido da variedade Pai

Ambrósio, o menor diâmetro observado foi de 2  $\mu\text{m}$  e o maior de 30  $\mu\text{m}$ . O amido da variedade Pocu obteve diâmetros variando de 2 a 20  $\mu\text{m}$ . Para o amido da variedade Paulo Velho, a variação do diâmetro foi de 10 a 20  $\mu\text{m}$ . Leonel (2007) observaram diâmetros entre 14,39 e 17,1  $\mu\text{m}$  e Ceballos et al. (2007) entre 10 e 15  $\mu\text{m}$ , para amidos de mandioca.

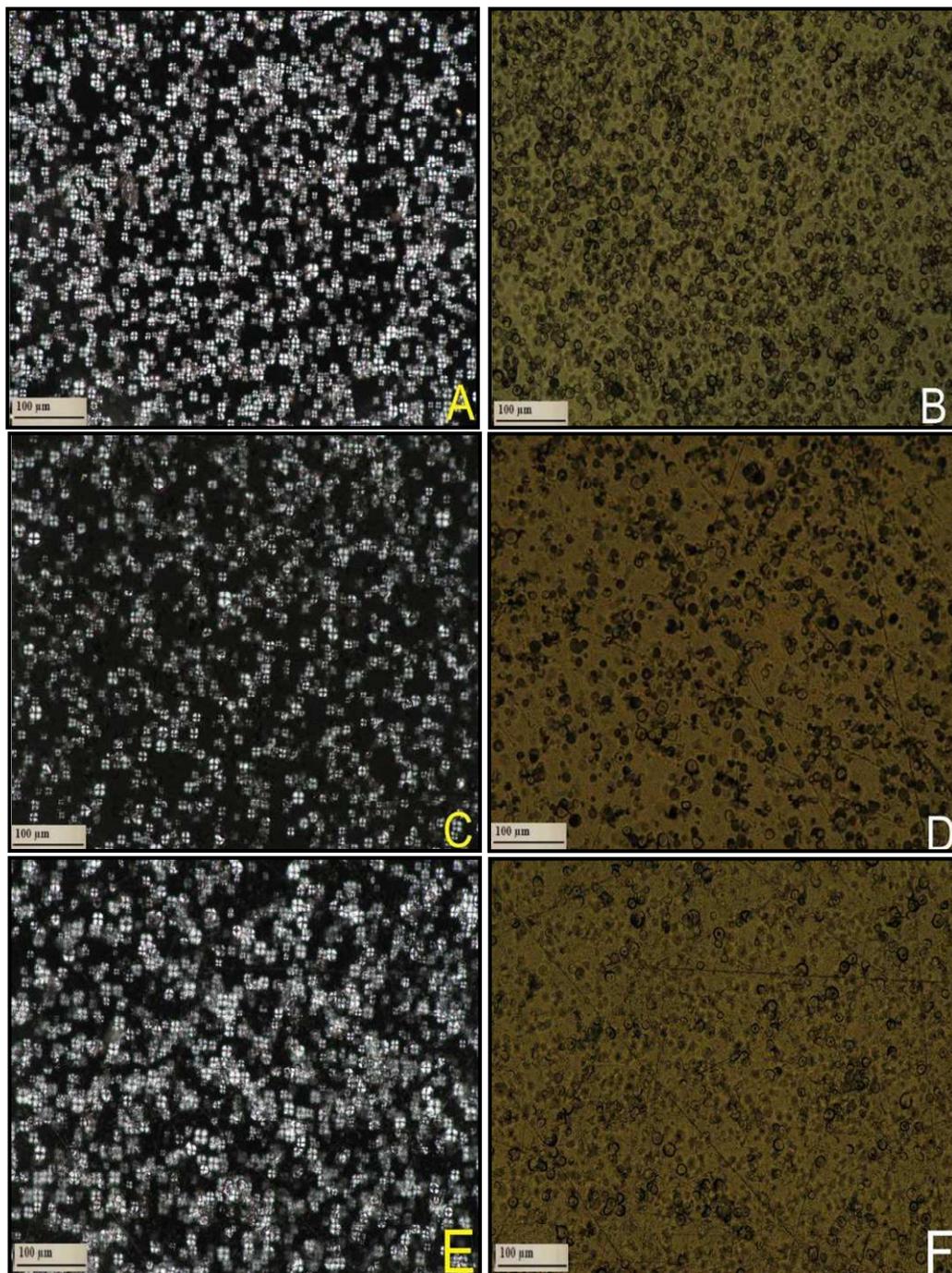
#### 5.2.3.2 Microscopia ótica

A microscopia ótica pode ser utilizada como uma ferramenta para melhorar a elucidação do que acontece com os grânulos de amido, quando os mesmos são submetidos ao aquecimento (GUERREIRO, 2007).

Os grânulos de amido de mandioca, sob luz polarizada, apresentaram uma estrutura em forma de cruz negra bem definida (SOUZA, 2010). Essa estrutura é usualmente denominada de Cruz de Malta e é provocada pela birrefringência do amido (CEREDA, 2001). Esse comportamento indica a presença de amilopectina, uma vez que amidos ricos em amilose não apresentam birrefringência (FENNEMA, 1996).

O comportamento observado para os amidos das féculas: cruz de malta bem definida (microscopia sob luz polarizada) e hilo central (microscopia sob luz normal) foi semelhante ao relatado na literatura para amidos nativos de diversas variedades de mandioca (FENIMAN, 2004; CEBALLOS et al., 2007; NAND et al., 2008).

Os grânulos de amido das féculas de mandioca produzidas podem ser visualizados na Figura 17, através das micrografias óticas sob luz polarizada e luz comum.



**Figura 17.** Microscopia óptica das féculas. Pai Ambrósio: sob luz convencional (A) e luz polarizada (B); Pocu: sob luz convencional (C) e luz polarizada (D); Paulo Velho: sob luz convencional (E) e luz polarizada (F). Aumento: 20x.

## 5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS DE TAPIOCA COMERCIAIS

### 5.3.1 Caracterização física e físico-química

A caracterização de farinhas de tapioca comerciais foi realizada para suprir a deficiência de alguns dados que não constam na literatura, por ser o produto de caráter regional e de procedência artesanal. Foram avaliadas duas farinhas com características físicas e sensoriais distintas, ambas produzidas no estado do Pará: uma no Baixo Amazonas (município de Santarém) e outra na Zona Bragantina (município de Santa Izabel). De acordo com informações dos fabricantes, a diferença básica entre os dois processos é que no primeiro não há a etapa de escaldamento, ou seja, a espocagem ocorre diretamente. Os resultados da análise granulométrica das farinhas de tapioca comerciais encontram-se na Tabela 13, e da caracterização físico-química na Tabela 14.

De acordo com a análise granulométrica, enquanto a maior fração da farinha de tapioca procedente do município de Santa Izabel ( $\approx 98\%$ ) apresentou tamanho de partícula superior a 3,35 mm, a maior fração da farinha procedente de Santarém ( $\approx 90\%$ ) apresentou tamanho inferior a 3,35 mm. Os resultados indicam a inexistência de um padrão para o produto e sugere que o processo que realiza a etapa de escaldamento proporciona uma maior expansão dos grânulos.

**Tabela 13.** Análise granulométrica das farinhas de tapioca comerciais.

Procedência	Tamanho de partículas ( <i>mesh</i> )				
	> 4	4-6	6-9	9-20	<20
Santa Izabel (%)	4,33 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>	93,63 $\pm$ 0,51 <sup>a</sup>	1,90 $\pm$ 0,32 <sup>b</sup>	0,03 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	0,10 $\pm$ 0,10 <sup>b</sup>
Santarém (%)	0,84 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	9,59 $\pm$ 0,45 <sup>b</sup>	64,82 $\pm$ 0,54 <sup>a</sup>	14,86 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	9,88 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais, em uma mesma coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade; valores representam a média das triplicatas  $\pm$  desvio-padrão. Abertura das peneiras: 4 *mesh* (4,75 mm); 6 *mesh* (3,35 mm); 9 *mesh* (2,00 mm) e 20 *mesh* (0,85 mm).

**Tabela 14.** Propriedades físico-químicas das farinhas de tapioca comerciais.

Parâmetros	Procedência	
	Santa Izabel	Santarém
Atividade de água	0,18 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,46 ± 0,01 <sup>a</sup>
Acidez titulável (%)	0,78 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,76 ± 0,06 <sup>a</sup>
pH	5,29 ± 0,02 <sup>b</sup>	5,75 ± 0,01 <sup>a</sup>
Umidade (%)	4,53 ± 0,05 <sup>b</sup>	10,69 ± 0,12 <sup>a</sup>
Proteínas (%) <sup>1</sup>	0,08 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,08 ± 0,03 <sup>a</sup>
Lipídios (%) <sup>1</sup>	0,86 ± 0,48 <sup>a</sup>	0,88 ± 0,18 <sup>a</sup>
Cinzas (%) <sup>1</sup>	0,04 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,12 ± 0,04 <sup>a</sup>
Amido (%) <sup>1</sup>	93,03 ± 0,64 <sup>a</sup>	84,30 ± 1,78 <sup>b</sup>
Cor L*	88,54 ± 0,40 <sup>b</sup>	89,45 ± 0,10 <sup>a</sup>
a*	0,20 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,04 ± 0,02 <sup>b</sup>
b*	3,81 ± 0,14 <sup>b</sup>	4,49 ± 0,11 <sup>a</sup>
Carboidratos totais (%)	94,49 ± 0,17 <sup>a</sup>	88,23 ± 0,06 <sup>b</sup>
VET (kcal/100g)	386,02	361,16

Médias com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade; valores representam a média das triplicatas ± desvio-padrão; <sup>1</sup> resultados em base úmida; VET – Valor Energético Total.

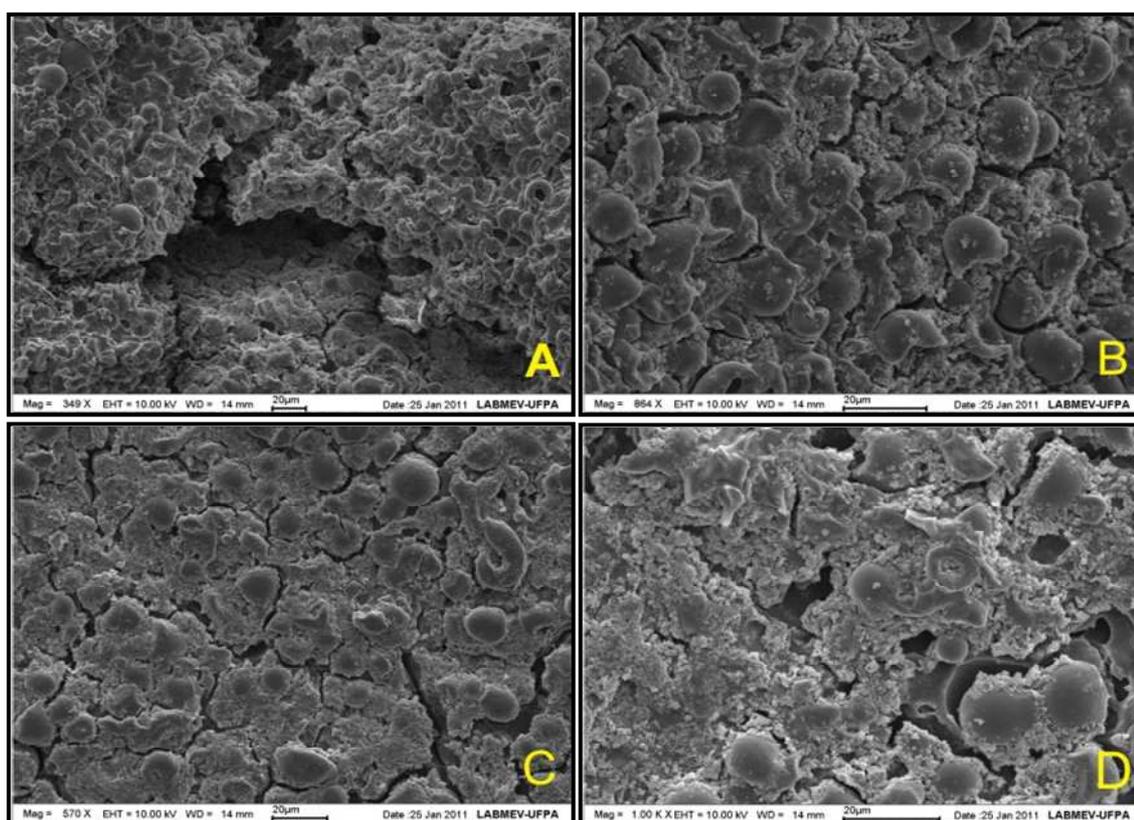
As duas farinhas comerciais atenderam os limites para os parâmetros especificados na legislação brasileira para o produto (umidade: <15% e cinzas: <0,5%) (BRASIL, 2005). Guimarães et al. (1998) encontraram valores médios de umidade: 5,54%, amido: 91,83% e cinzas: 0,23%, para farinhas de tapioca comercializadas em feiras livres da cidade de Belém (PA).

As duas farinhas de tapioca comerciais apresentaram um perfil granulométrico bem distinto, e diferença significativa para a maioria dos parâmetros físico-químicos analisados. Para a farinha proveniente de Santarém merece destaque o maior valor de umidade, que pode estar relacionado com a maior capacidade de adsorver água, devido a sua maior área específica (menor granulometria); o parâmetro b\* mais elevado, que indica um produto mais amarelado; e o menor teor de amido. O primeiro parâmetro está relacionado com a característica da farinha, enquanto os dois últimos estão relacionados com a qualidade da fécula.

### 5.3.2 Microscopia dos grânulos de amido

#### 5.3.2.1 Microscopia eletrônica de varredura

Na Figura 18 são apresentadas as eletromicrografias das farinhas de tapioca comerciais.



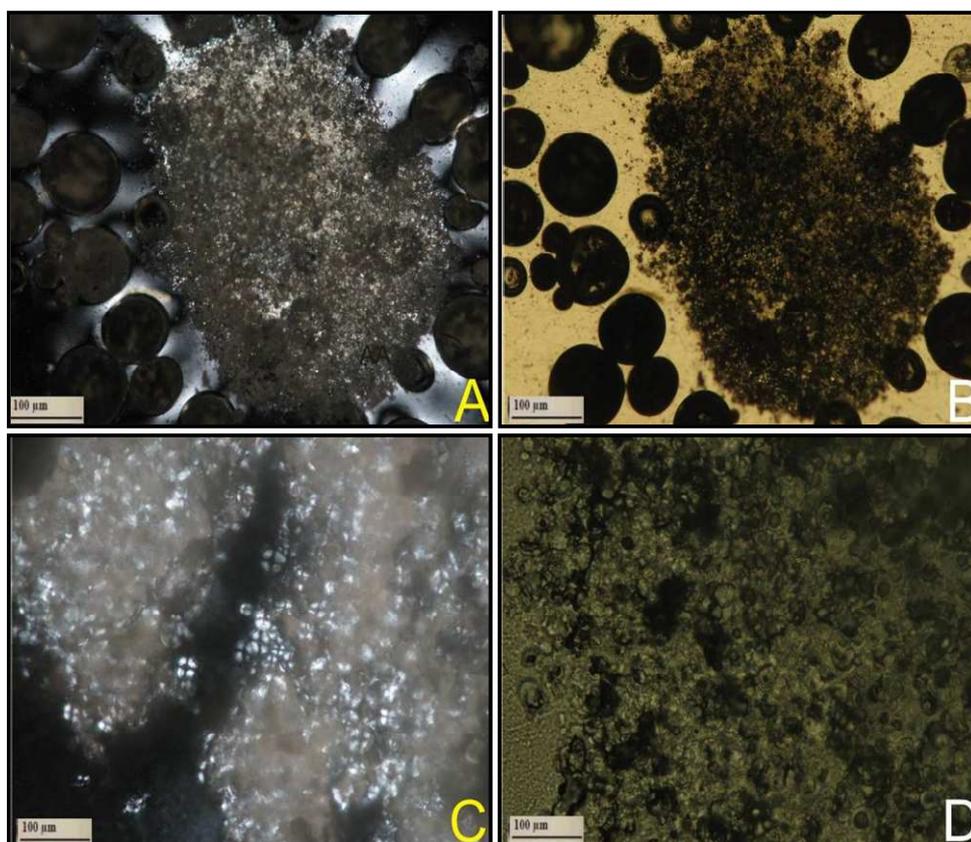
**Figura 18.** Eletromicrografias dos grânulos de amido: Santa Izabel (A) 349x e (B) 864x; Santarém (C) 570x e (D) 1000x.

Através das eletromicrografias pode-se observar as modificações estruturais (gelatinização), e a perda do formato esférico, característico dos grânulos de amido, causadas pela elevada temperatura ( $\approx 240^{\circ}\text{C}$ ) aplicada no processo de fabricação das farinhas de tapioca.

A partir das eletromicrografias foi possível estimar que o diâmetro dos grânulos de amido presentes na farinha de tapioca do município de Santa Izabel variou de 20 a 40  $\mu\text{m}$ , com média de 30  $\mu\text{m}$ , enquanto que para farinha de Santarém variou de 10 a 20  $\mu\text{m}$ , com média de 15  $\mu\text{m}$ .

### 5.3.2.2 Microscopia ótica

Os grânulos de amido das farinhas de tapioca comerciais podem ser visualizados na Figura 19, através das micrografias óticas sob luz polarizada e luz comum.



**Figura 19.** Microscopia ótica das farinhas de tapioca comerciais. Santa Izabel: luz convencional (A) e luz polarizada (B); Santarém: luz convencional (C) e luz polarizada (D). Aumento: 40x.

A farinha de tapioca produzida em Santa Izabel apresentou maior concentração de cruz de malta no interior dos grânulos, o que indica que houve gelatinização do amido na superfície dos mesmos. Por outro lado, a farinha produzida em Santarém apresentou uma maior concentração de cruz de Malta na superfície dos grânulos, o que significa que o fenômeno da gelatinização ocorreu preferencialmente na parte mais central dos mesmos.

O comportamento observado na farinha proveniente de Santa Izabel é atribuído a etapa de escaldamento pela qual passa a farinha de tapioca produzida na Zona Bragantina. O fato da temperatura de escaldamento ser inferior a

temperatura de espocagem, torna mais lenta a eliminação da água superficial dos grânulos, permitindo a gelatinização do amido. Na farinha proveniente de Santarém a espocagem é feita diretamente, característica do processamento da farinha de tapioca no Baixo Amazonas. Neste caso, como não há esaldamento e a espocagem ocorre em temperatura bem mais elevada ( $\approx 240^{\circ}\text{C}$ ), a umidade superficial dos grânulos é reduzida rapidamente, não permitindo a gelatinização do amido mais externo.

O comportamento observado através da microscopia ótica pode ser utilizado para justificar o comportamento observado em relação à granulometria das duas farinhas. Como na farinha produzida na Zona Bragantina ocorre a gelatinização do amido da superfície dos grânulos, é formada uma camada superficial impermeável que impede a difusão da água na etapa de espocagem, proporcionando uma maior expansão dos grânulos, o que foi comprovado pela maior granulometria desta farinha.

### 5.3.3 Características tecnológicas das farinhas comerciais

Na Tabela 15, encontram-se os resultados das características tecnológicas IAA (Índice de Absorção de Água) e ISA (Índice de Solubilidade de Água), densidade aparente e higroscopicidade das farinhas de tapioca comerciais.

**Tabela 15.** Caracterização tecnológica das farinhas de tapioca comerciais.

Parâmetros	Procedência	
	Santa Izabel	Santarém
IAA (g de gel/g MS)	6,53 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>	7,43 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>
ISA (%)	19,27 $\pm$ 1,21 <sup>a</sup>	6,77 $\pm$ 0,77 <sup>b</sup>
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,10 $\pm$ 0,04 <sup>b</sup>	0,61 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>
Higroscopicidade (gH <sub>2</sub> O/g b.s)	0,17 $\pm$ 1,81 <sup>b</sup>	0,58 $\pm$ 1,12 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade; valores representam a média das triplicatas  $\pm$  desvio-padrão; MS – Matéria seca.

O índice de absorção de água (IAA) está relacionado com o grau de intumescimento ou gelatinização do amido, pois somente grânulos de amido gelatinizados conseguem absorver água em temperatura ambiente, aumentando a viscosidade (MERCIER et al., 1998). De acordo com os resultados, o IAA foi

estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) para a farinha proveniente de Santarém. Nesse caso o mais provável é que a maior quantidade de água absorvida seja atribuída a maior área superficial desta farinha, em função do menor tamanho dos grânulos.

O índice de solubilidade em água (ISA) está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis, como resultado da dextrinização. Ele mede o grau de danificação do amido (MERCIER et al., 1998). O valor do ISA estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) para a farinha proveniente de Santa Izabel indica que os grânulos de amido do produto sofreram maiores danos em função do processo térmico utilizado.

A densidade é um parâmetro importante na especificação de embalagem, transporte e armazenamento. O menor resultado verificado para a densidade aparente da farinha proveniente de Santa Izabel ( $0,10 \text{ g/cm}^3$ ), já era esperado, por ser um produto bem mais expandido, como comprovou a análise granulométrica e a microscopia eletrônica de varredura.

A maior higroscopicidade da farinha de tapioca proveniente de Santarém ( $0,58 \text{ gH}_2\text{O/g b.s}$ ) pode ser atribuída, também, a maior área superficial desta farinha, em função do menor tamanho dos grânulos. Esse resultado indica que essa farinha requer melhores condições de acondicionamento e armazenamento, pois estará mais propícia a perder sua estabilidade microbiológica.

#### 5.4 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DA FARINHA DE TAPIOCA

Na Tabela 16, são apresentados os resultados de umidade final da farinha, tempo de espocagem, densidade aparente, atividade de água, cor instrumental e granulometria, obtidos nos experimentos com fécula comercial, para obtenção da farinha de tapioca, de acordo com a matriz do planejamento experimental.

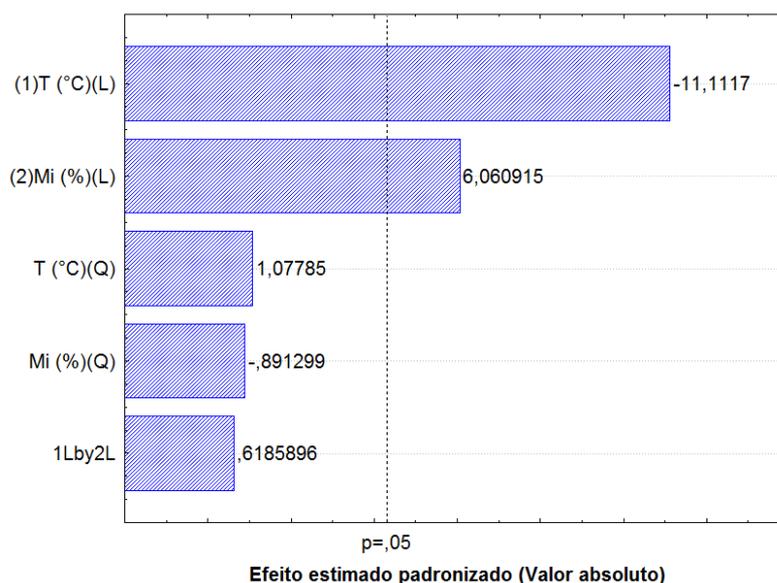
De acordo com a análise estatística, não foi observado influência significativa das variáveis independentes sobre as respostas: umidade final da farinha, tempo de espocagem, atividade de água, cor instrumental e granulometria; assim, não foi possível gerar um modelo matemático para descrever estas respostas, dentro da faixa estudada.

**Tabela 16.** Resultados dos experimentos do planejamento fatorial completo para as respostas umidade final da farinha, tempo de espocagem, densidade aparente, atividade de água, cor instrumental e granulometria da farinha de tapioca.

Ensaio	Variável padrão					Resposta				
	T (°C)	M <sub>i</sub> (%)	M <sub>p</sub> (%)	θ <sub>p</sub> (min)	ρ (g/mL)	A <sub>w</sub>	Cor L*	Cor a*	Cor b*	Granulometria >6 mesh (%)
1	150	15	4,9	2,0	0,285	0,416	76,51	1,03	8,36	78,0
2	150	20	5,1	2,2	0,305	0,389	77,20	0,76	7,47	69,3
3	150	25	4,3	2,5	0,300	0,383	78,89	0,81	7,93	68,9
4	170	15	5,3	2,0	0,260	0,424	76,06	0,77	7,80	82,6
5	170	20	5,3	2,3	0,281	0,323	75,30	0,76	10,72	69,6
6	170	20	5,8	2,3	0,281	0,392	72,38	0,48	9,00	77,6
7	170	20	4,2	2,3	0,274	0,474	74,20	0,69	8,04	76,0
8	170	25	4,2	2,5	0,285	0,293	76,50	0,61	7,07	75,0
9	190	15	4,4	2,4	0,255	0,407	75,70	0,57	7,25	76,6
10	190	20	3,2	3,1	0,250	0,267	75,42	0,42	6,62	72,1
11	190	25	3,0	3,6	0,275	0,310	77,56	0,80	7,97	76,2

\*T = Temperatura (°C); M<sub>i</sub> = umidade inicial da fécula (%); M<sub>p</sub> = umidade final da farinha (%); θ<sub>p</sub> = tempo de espocagem (min); ρ = densidade aparente das farinhas (g/mL); A<sub>w</sub> = atividade de água das farinhas; >6 mesh = >3,35 mm.

De acordo com a análise estatística, as variáveis temperatura do forno (X<sub>1</sub>) e umidade dos grânulos após escaldamento (X<sub>2</sub>) exerceram influência significativa apenas sobre a densidade aparente da farinha de tapioca, a um intervalo de confiança de 95% (Figura 20). A análise de variância para essa variável encontra-se na Tabela 17.



**Figura 20.** Gráfico de Pareto com as estimativas dos efeitos das variáveis sobre a resposta densidade aparente.

**Tabela 17.** Análise de variância (ANOVA) para a variável densidade aparente.

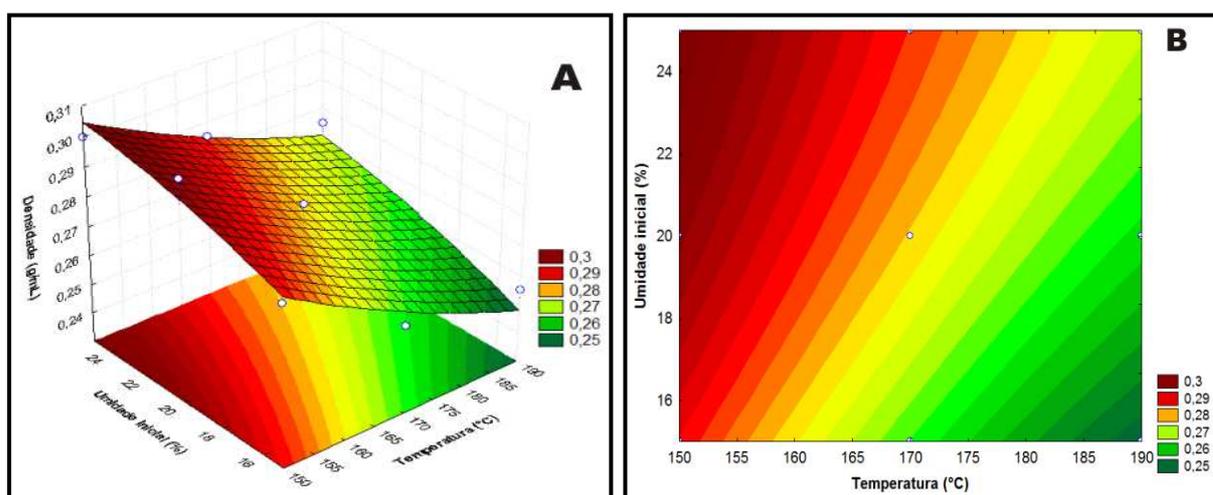
Fonte	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	0,002655	5	0,0005310	7,85	5,05
Resíduos	0,000338	5	0,0000676	0,66	5,41
Falta de ajuste	0,000306	3	0,0001020		
Erro puro	0,000033	2	0,0000160		
Total	0,002987	10			
r <sup>2</sup>	0,89				

SQ = soma quadrática; GL = grau de liberdade; MQ = média quadrática; r<sup>2</sup> = coeficiente de correlação

O valor de r<sup>2</sup> indica que 89% da variabilidade na resposta pode ser explicada pelo modelo. Avaliando os valores de F<sub>calculado</sub> para a regressão (7,85) e para o resíduo (0,66), e sendo F<sub>tabelado</sub> para a regressão de 5,05 e para o resíduo de 5,41, verifica-se que o F<sub>calculado</sub> para a regressão foi significativo, enquanto para o resíduo não apresentou significância estatística. Portanto, o modelo ajustado para a variável densidade aparente (Equação 2) é considerado significativo. A superfície de resposta estimada pelo modelo é apresentado na Figura 21.

$$Y = 2,56 - 0,12X_1 - 0,085X_2 \quad (2)$$

onde: Y = densidade aparente; X<sub>1</sub> = temperatura do forno; X<sub>2</sub> = umidade dos grânulos após escaldamento.



**Figura 21.** Gráfico de superfície de resposta linear (A) e curva de nível para a variação da resposta (B), para a variável densidade aparente.

Analisando a superfície de resposta para a variável densidade aparente, observa-se que a redução da temperatura do forno, em níveis elevados de umidade

dos grânulos após escaldamento, provocou um aumento na densidade das farinhas. Esse fato já era esperado, devido a ocorrência do fenômeno de gelatinização, que é caracterizado pela combinação entre temperatura acima de 50°C e incorporação de água nos grânulos do amido (CEREDA; VILPOUX, 2003).

## 5.5 CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS DE TAPIOCA PRODUZIDAS

### 5.5.1 Caracterização física e físico-química

Os resultados da análise granulométrica das farinhas de tapioca produzidas encontram-se na Tabela 18. De acordo com as distribuições de tamanho de partículas, de maneira geral a maior fração dos grânulos das farinhas de tapioca não escaldadas (espocagem direta) apresentaram diâmetro superior a 3,35 mm; enquanto a maior fração dos grânulos das farinhas que sofreram escaldamento antes da espocagem apresentou diâmetro entre 2,00 e 3,35 mm. O comportamento não foi o mesmo observado para as farinhas comerciais, para as quais verificou-se uma maior expansão para a farinha que sofreu escaldamento.

Tomando como base as frações retidas nas respectivas peneiras, pode-se afirmar que praticamente não houve interferência das variedades de mandioca na expansão dos amidos delas originados. A influência altamente significativa ocorreu para o tipo de processo utilizado.

**Tabela 18.** Análise granulométrica das farinhas de tapioca produzidas.

Processo	Variedade da mandioca	Tamanho de partículas ( <i>mesh</i> )				
		>4	4-6	6-9	9-20	<20
Não escaldada	Pai Ambrósio (%)	16,40 ± 0,14 <sup>d</sup>	65,10 ± 0,14 <sup>a</sup>	8,75 ± 0,67 <sup>a</sup>	5,45 ± 1,34 <sup>a</sup>	4,30 ± 0,01 <sup>a</sup>
	Pocu (%)	25,55 ± 1,06 <sup>a</sup>	55,00 ± 0,14 <sup>b</sup>	9,15 ± 2,19 <sup>a</sup>	6,10 ± 0,71 <sup>a</sup>	4,20 ± 0,28 <sup>a</sup>
	Paulo Velho (%)	21,45 ± 1,07 <sup>b</sup>	62,30 ± 1,13 <sup>a</sup>	9,05 ± 0,39 <sup>a</sup>	4,55 ± 0,21 <sup>a</sup>	2,65 ± 0,07 <sup>b</sup>
Escaldada	Pai Ambrósio (%)	6,10 ± 0,28 <sup>a</sup>	47,00 ± 1,98 <sup>b</sup>	33,70 ± 0,56 <sup>b</sup>	9,20 ± 0,71 <sup>a</sup>	4,20 ± 0,14 <sup>a</sup>
	Pocu (%)	7,05 ± 0,35 <sup>a</sup>	54,00 ± 0,12 <sup>a</sup>	28,65 ± 0,74 <sup>c</sup>	5,80 ± 0,49 <sup>a</sup>	4,35 ± 0,48 <sup>a</sup>
	Paulo Velho (%)	3,35 ± 0,49 <sup>b</sup>	37,10 ± 1,84 <sup>c</sup>	49,20 ± 1,20 <sup>a</sup>	4,70 ± 1,27 <sup>a</sup>	5,65 ± 0,65 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais, em uma mesma coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade; valores representam a média das triplicatas ± desvio-padrão. Abertura das peneiras: 4 *mesh* (4,75 mm); 6 *mesh* (3,35 mm); 9 *mesh* (2,00 mm) e 20 *mesh* (0,85 mm).

Os resultados da caracterização físico-química das farinhas produzidas são apresentados nas Tabelas 19 e 20.

**Tabela 19.** Propriedades físico-químicas das farinhas de tapioca não escaldadas.

Parâmetros	Variedade da mandioca		
	Pai Ambrósio	Pocu	Paulo Velho
Atividade de água	0,15 ± 0,05 <sup>c</sup>	0,24 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,18 ± 0,01 <sup>b</sup>
Acidez titulável (%)	0,92 ± 0,03 <sup>b</sup>	1,01 ± 0,06 <sup>a</sup>	1,04 ± 0,03 <sup>a</sup>
pH	5,12 ± 0,04 <sup>a</sup>	5,04 ± 0,23 <sup>a</sup>	5,01 ± 0,08 <sup>a</sup>
Umidade (%)	4,93 ± 0,05 <sup>c</sup>	5,77 ± 0,07 <sup>a</sup>	5,32 ± 0,21 <sup>b</sup>
Proteínas (%)*	0,07 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,06 ± 0,90 <sup>a</sup>	0,07 ± 0,11 <sup>a</sup>
Lipídios (%)*	0,23 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,13 <sup>a</sup>	0,24 ± 0,09 <sup>a</sup>
Cinzas (%)*	0,07 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,05 ± 0,36 <sup>a</sup>	0,07 ± 0,14 <sup>a</sup>
Amido (%)*	92,22 ± 0,03 <sup>a</sup>	91,29 ± 0,30 <sup>b</sup>	87,55 ± 0,15 <sup>b</sup>
Cor L*	97,01 ± 0,62 <sup>a</sup>	95,75 ± 1,57 <sup>a</sup>	92,63 ± 1,15 <sup>b</sup>
a*	0,23 ± 0,03 <sup>ab</sup>	0,16 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,32 ± 0,04 <sup>a</sup>
b*	3,81 ± 0,14 <sup>a</sup>	0,51 ± 0,10 <sup>b</sup>	0,44 ± 0,05 <sup>b</sup>
Carboidratos totais (%)	94,70 ± 0,15 <sup>a</sup>	93,87 ± 0,11 <sup>b</sup>	94,30 ± 0,05 <sup>a</sup>
VET (kcal/100g)	381,15	377,97	379,64

Médias com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade; valores representam a média das triplicatas ± desvio-padrão; \* resultados em base seca.

**Tabela 20.** Propriedades físico-químicas das farinhas de tapioca escaldadas.

Parâmetros	Variedade da mandioca		
	Pai Ambrósio	Pocu	Paulo Velho
Atividade de água	0,10 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,19 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,20 ± 0,02 <sup>a</sup>
Acidez titulável (%)	0,90 ± 0,03 <sup>b</sup>	1,06 ± 0,14 <sup>a</sup>	1,10 ± 0,09 <sup>a</sup>
pH	5,35 ± 0,07 <sup>a</sup>	5,27 ± 0,02 <sup>a</sup>	5,11 ± 0,16 <sup>a</sup>
Umidade (%)	4,54 ± 0,12 <sup>a</sup>	4,94 ± 0,63 <sup>a</sup>	5,25 ± 0,07 <sup>a</sup>
Proteínas (%)*	0,08 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,08 ± 0,71 <sup>a</sup>	0,06 ± 0,15 <sup>a</sup>
Lipídios (%)*	0,15 ± 0,39 <sup>b</sup>	0,26 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,21 ± 0,38 <sup>a</sup>
Cinzas (%)*	0,06 ± 0,23 <sup>a</sup>	0,04 ± 0,39 <sup>a</sup>	0,05 ± 0,07 <sup>a</sup>
Amido (%)*	93,02 ± 0,47 <sup>a</sup>	91,78 ± 0,08 <sup>b</sup>	87,61 ± 0,05 <sup>b</sup>
Cor L*	99,23 ± 0,64 <sup>a</sup>	97,57 ± 0,15 <sup>b</sup>	93,99 ± 0,60 <sup>c</sup>
a*	0,17 ± 0,04 <sup>c</sup>	0,39 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,49 ± 0,02 <sup>a</sup>
b*	0,33 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,15 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,31 ± 0,07 <sup>a</sup>
Carboidratos totais (%)	95,17 ± 0,58 <sup>a</sup>	94,68 ± 0,68 <sup>b</sup>	94,43 ± 0,34 <sup>b</sup>
VET (kcal/100g)	382,35	381,38	379,85

Médias com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade; valores representam a média das triplicatas ± desvio-padrão; \* resultados em base seca.

Comparando os parâmetros físico-químicos entre as farinhas obtidas das féculas das três variedades de mandioca, farinhas não escaldadas (Tabela 19), e farinhas submetidas ao escaldamento antes de serem torradas (Tabela 20), observa-se que houve diferença significativa para a maioria dos parâmetros analisados ( $p \leq 0,05$ ). A variação mais representativa ocorreu em relação ao teor de amido, o qual está diretamente relacionado à pureza da fécula utilizada (Tabela 10)

Os valores de atividade de água variaram de 0,10 a 0,24 para as seis farinhas, condições nas quais todas podem ser consideradas microbiologicamente estáveis ( $a_w < 0,6$ ).

A acidez, que variou de 0,90% a 1,10% para todas as farinhas produzidas, atendeu a Legislação Brasileira (máximo de 2,0%) (BRASIL, 2005). Os valores são da ordem de grandeza da média observada por Dias e Leonel (2006) (0,94%), ao caracterizarem farinhas de tapioca obtidas em diferentes regiões do Brasil.

As seis farinhas são classificadas como alimento de baixa acidez ( $pH > 4,5$ ), por terem apresentado pH médio de 5,15, condição que as tornam propícias para o desenvolvimento de microorganismos, inclusive bactérias patogênicas, bolores e leveduras (JAY, 2005).

O teor de umidade das seis farinhas variou de 4,54 a 5,77%, estando de acordo com os valores encontrados por Barbosa e Hidaka (2008), para farinhas de tapioca produzidas na Vila de Americano, município de Santa Izabel do Pará e no município de Acará (PA), que foram de 5,75 e 3,91%, respectivamente.

O teor médio de proteínas das farinhas (0,07%) foi inferior ao encontrado por Guimarães et al. (1998) para o produto (0,20%). Os teores de lipídios (0,15-0,26%) situaram-se na faixa observada por Cereda e Vilpoux (2003) (0,03-0,41%) em farinhas de tapioca. O teor médio de cinzas das farinhas produzidas (0,06%) foi aproximadamente semelhante a média encontrada por Dias e Leonel (2006) (0,10%), para farinha de tapioca comercial.

Guimarães et al. (1998) e Cereda e Vilpoux (2003) encontraram teores de amido em farinhas de tapioca, na faixa de 92,92 a 93,97% e de 92,62 a 96,04%, respectivamente. Os teores de amido das farinhas obtidas a partir das féculas das variedades de mandioca Pai Ambrósio e Pocu foram da mesma ordem de grandeza referida pelos autores, porém as farinhas da variedade Paulo Velho apresentaram

teores inferiores (média de 87,58%). Como mencionado anteriormente, esse valor é atribuído à qualidade inferior da fécula da referida variedade.

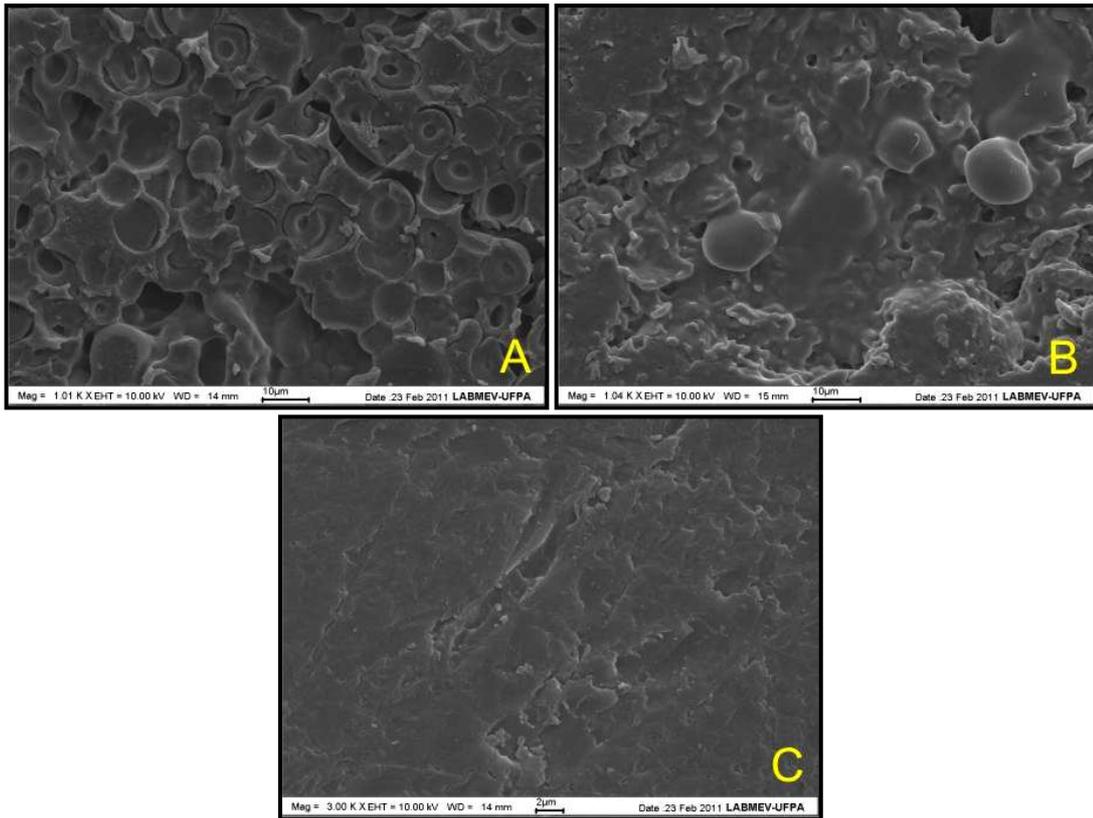
Os valores dos componentes de cor das seis farinhas de tapioca produzidas variaram na faixa de: 92,63 a 99,23, para o componente L\* (luminosidade ou brilho); 0,16 a 0,49, para a coordenada de cromaticidade a\*; e 0,15 a 3,81, para a coordenada de cromaticidade b\*. Dias e Leonel (2006) encontraram, para farinha de tapioca comercial, valores de L\* (91,4) e a\* (0,50) próximos aos observados neste estudo. Porém, o valor encontrado pelos autores para a coordenada b\* foi de 6,33, aproximadamente o dobro do maior valor encontrado para as farinhas obtidas neste trabalho. O maior valor de b\* representa maior tendência a cor amarela, que pode ser atribuída a impurezas presentes na fécula que originou a farinha ou a utilização de temperaturas muito elevadas na etapa de torração (espocagem) da farinha.

Os carboidratos representam uma das maiores fontes energéticas nos alimentos, contribuindo normalmente com a maioria das calorias ingeridas durante o dia. Os valores obtidos desse macronutriente para as farinhas de tapioca, 93,87-95,17%, expressam a riqueza energética dos produtos, fato confirmado pelos valores energéticos totais encontrados para as farinhas, de 377,97 a 382,35 kcal/100g.

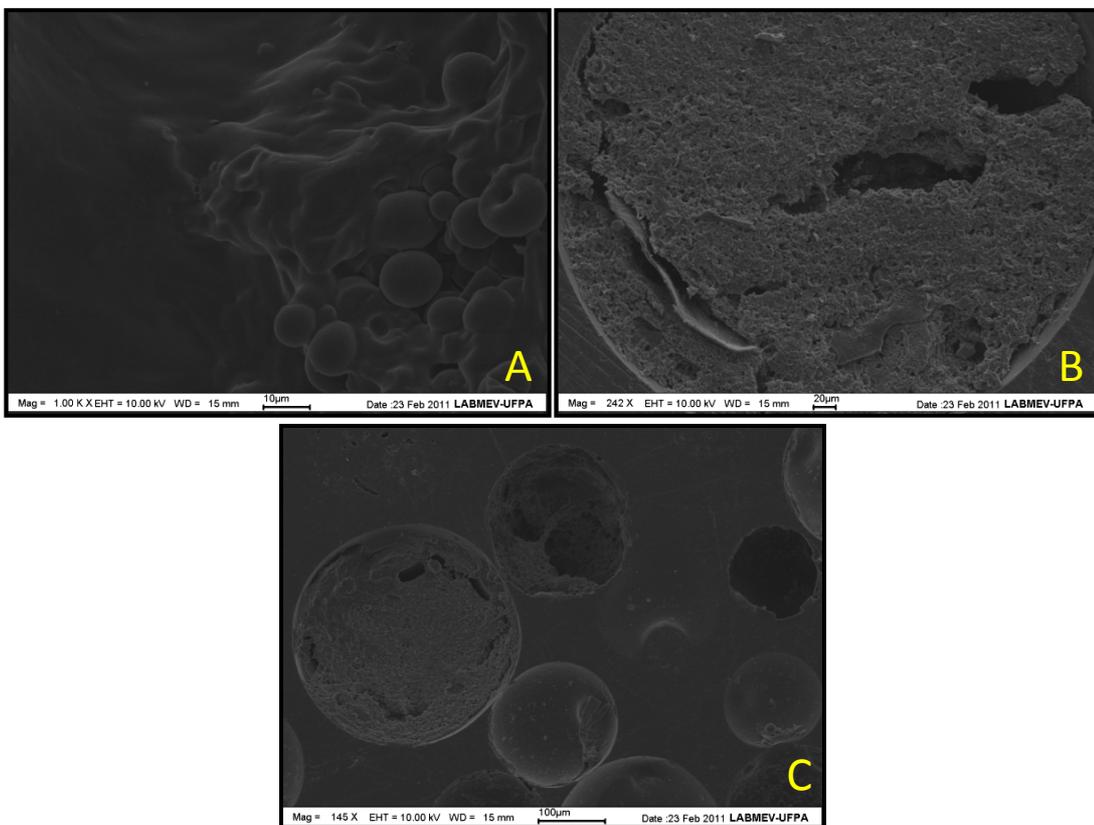
## **5.5.2 Microscopia das farinhas de tapioca**

### **5.5.2.1 Microscopia eletrônica de varredura**

Nas Figuras 22 e 23 são apresentadas as eletromicrografias das farinhas de tapioca submetidas à espocagem, sem e com escaldamento, respectivamente. As eletromicrografias sugerem que os grânulos de amidos das farinhas escaldadas (Figura 22) foram mais danificados, que os grânulos de amido das farinhas não escaldadas.



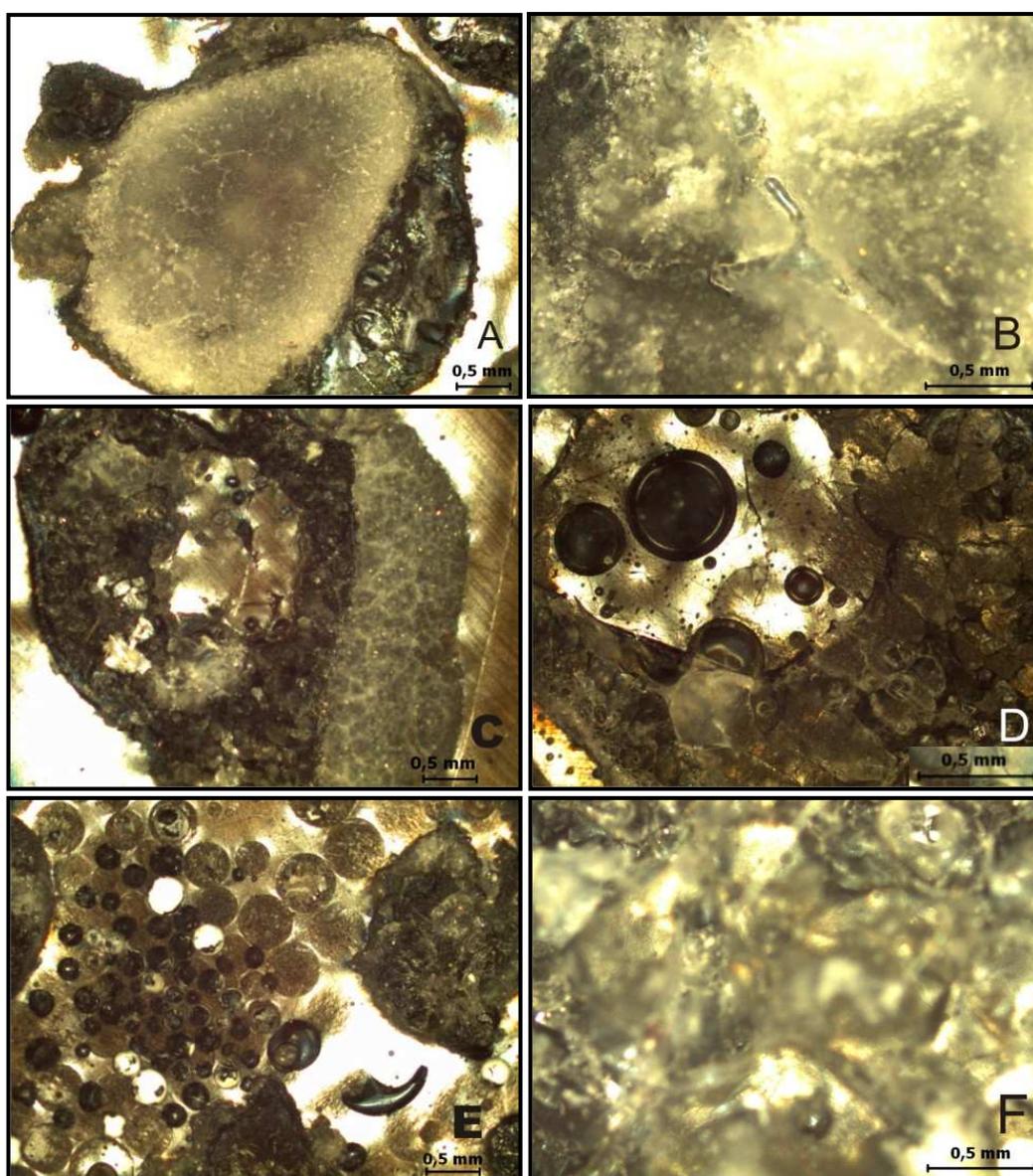
**Figura 22.** Eletromicrografias das farinhas de tapioca não escaldadas: (A) Pai Ambrósio, 1000x; (B) Pocu, 1000x e (C) Paulo Velho, 3000x.



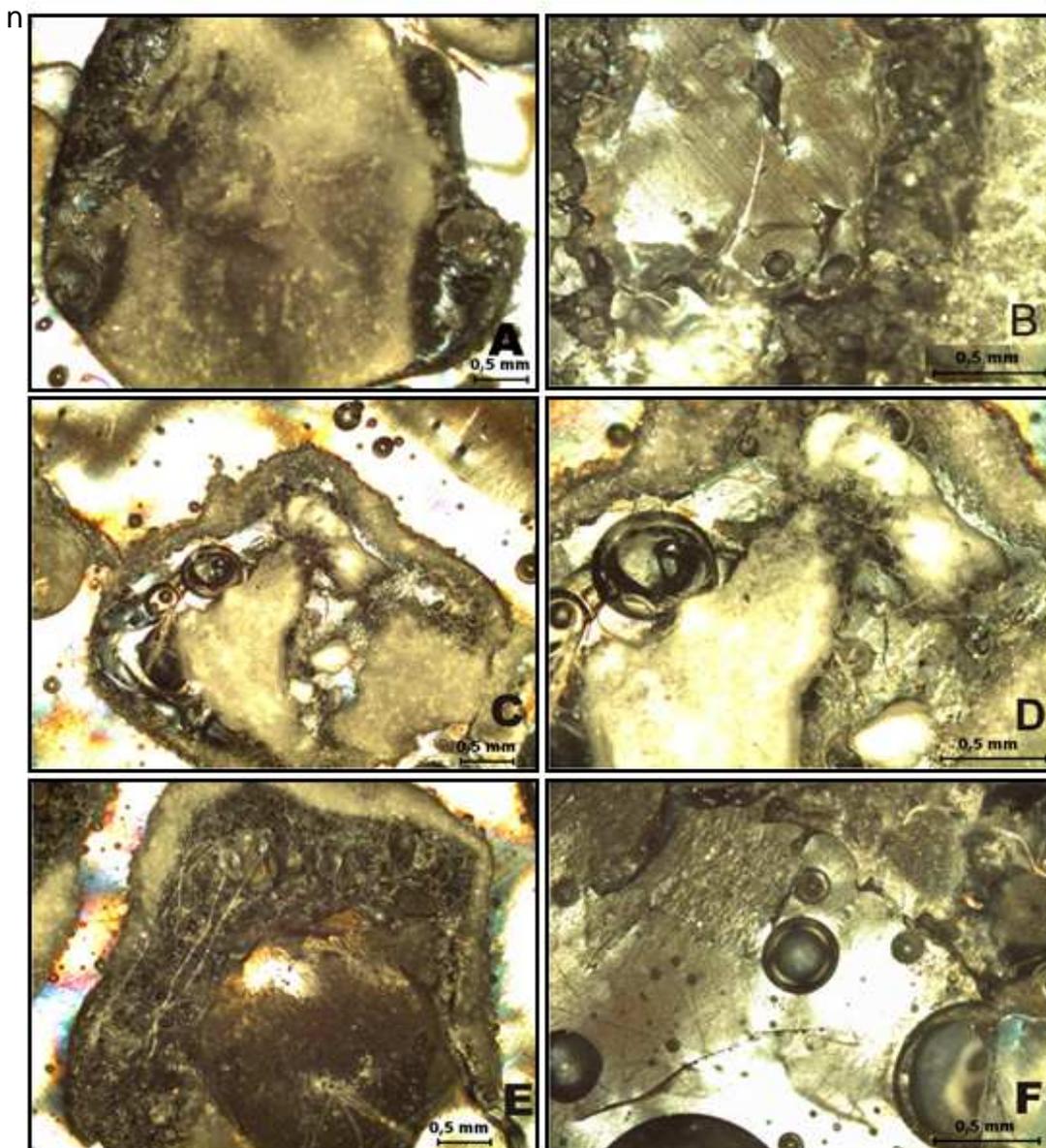
**Figura 23.** Eletromicrografias das farinhas de tapioca escaldadas: (A) Pai Ambrósio, 1000x; (B) Pocu, 242x e (C) Paulo Velho, 145x.

### 5.5.2.2 Microscopia ótica

As micrografias óticas, sob luz polarizada, das seis farinhas de tapioca produzidas são apresentadas nas Figuras 24 e 25. As farinhas de tapioca não escaldadas (Figura 24) apresentaram maior concentração de cruz de Malta na superfície dos grânulos da farinha, o que indica que a gelatinização do amido ocorreu preferencialmente na parte mais central do mesmo. Comportamento semelhante foi observado para a farinha de tapioca comercial, proveniente de Santarém (PA), a qual também não sofreu escaldamento.



**Figura 24.** Microscopia ótica sob luz polarizada das farinhas de tapioca não escaldadas. Pai Ambrósio: (A) 20x e (B) 50x; Pocu: (C) 20x e (D) 50x; Paulo Velho: (E) 20x e (F) 50x.



**Figura 25.** Microscopia óptica sob luz polarizada das farinhas de tapioca escaldadas. Pai Ambrósio: (A) 20x e (B) 50x; Pocu: (C) 20x e (D) 50x; Paulo Velho: (E) 20x e (F) 50x.

De acordo com a Figura 24, a farinha de tapioca produzida com a variedade de mandioca Pocu foi a única que apresentou comportamento das cruces de Malta semelhante à farinha comercial proveniente de Santa Izabel do Pará: gelatinização preferencial do amido do interior dos grânulos. As demais farinhas que sofreram escaldamento antes da espocagem, apresentaram comportamento semelhante às farinhas que não sofreram escaldamento: maior concentração de cruces de malta na superfície dos grânulos. Com base na justificativa utilizada para o comportamento apresentado pela farinha comercial, que sofreu escaldamento, é fortemente indicado

que a temperatura de escaldamento utilizada para as farinhas de tapioca produzidas seja superior a utilizada no beneficiamento da farinha comercial.

### 5.5.3 Características tecnológicas

Na Tabela 21 encontram-se os resultados da caracterização tecnológica das farinhas de tapioca produzidas.

**Tabela 21.** Caracterização tecnológica das farinhas de tapioca produzidas.

Parâmetros		Origem da fécula (variedade)		
		Pai Ambrósio	Pocu	Paulo Velho
Não escaldada	IAA (g de gel/g MS)	6,78 ± 0,03 <sup>a</sup>	6,52 ± 0,22 <sup>ab</sup>	5,65 ± 0,53 <sup>b</sup>
	ISA (%)	8,68 ± 1,03 <sup>c</sup>	18,94 ± 1,17 <sup>a</sup>	16,83 ± 0,95 <sup>b</sup>
	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,41 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,27 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,35 ± 0,01 <sup>b</sup>
	Higroscopicidade (gH <sub>2</sub> O/g b.s)	0,20 ± 1,22 <sup>b</sup>	0,56 ± 1,22 <sup>a</sup>	0,19 ± 0,99 <sup>b</sup>
Escaldada	IAA (g de gel/g MS)	4,93 ± 0,04 <sup>b</sup>	5,41 ± 0,04 <sup>a</sup>	5,28 ± 0,21 <sup>ab</sup>
	ISA (%)	9,37 ± 0,09 <sup>a</sup>	6,96 ± 0,65 <sup>b</sup>	7,43 ± 0,27 <sup>b</sup>
	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,46 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,43 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,52 ± 0,01 <sup>a</sup>
	Higroscopicidade (gH <sub>2</sub> O/g b.s)	0,24 ± 1,21 <sup>a</sup>	0,18 ± 1,88 <sup>a</sup>	0,17 ± 0,94 <sup>a</sup>

Médias com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade; valores representam a média das triplicatas ± desvio-padrão; MS – Matéria seca.

O índice de absorção de água (IAA) indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido inchados e/ou embebidos em água. O índice de solubilidade em água (ISA) indica o grau de severidade do tratamento térmico e a consequente desramificação da estrutura das moléculas de menor peso molecular (ANDERSON et al., 1969).

O IAA está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido. Os valores de IAA das farinhas produzidas foram baixos (4,93 a 6,78 g gel/g MS) se comparados com os valores observados por Ladeira (2011) (20 g gel/g MS) e Charles et al. (2005) (27,2 a 42,3 g gel/g MS) para amidos nativos de diferentes cultivares de mandioca; porém foram próximos aos encontrados por Lustosa et al. (2009) (3,90 a 4,69 g gel/g), para a farinha de mandioca. O reduzido valor de IAA

para as farinhas é atribuído à gelatinização do amido, devido ao processo de torração.

O ISA, parâmetro que mede o grau de degradação total do grânulo de amido, apresentou uma grande variação entre as farinhas produzidas (6,96 a 18,94%). Os valores são da ordem de grandeza dos observados para as farinhas de tapioca comerciais (6,77 a 19,27%), porém houve uma inversão no comportamento, em função do processamento utilizado. Para as farinhas produzidas, os maiores valores de ISA foram encontrados para as farinhas das variedades Pocu (18,94%) e Paulo Velho (16,83%), que não sofreram escaldamento. Já entre as farinhas comerciais, a que apresentou maior ISA foi a que, segundo informações do produtor, sofreu escaldamento.

A densidade é um parâmetro característico importante na farinha de tapioca, pois a sua redução é um indicativo da maior expansão dos grânulos, na etapa de espocagem (torração). Os valores de densidade aparente inferiores para as farinhas sem escaldamento (0,27 a 0,41 g/cm<sup>3</sup>), quando comparados com as farinhas escaldadas (0,43 a 0,52 g/cm<sup>3</sup>), comprovam o que foi observado através da análise granulométrica, onde os grânulos das primeiras sofreram maior expansão. De acordo com os valores, as farinhas obtidas com a fécula da variedade Pacu foram as que apresentaram maior expansão. Todas as farinhas apresentaram densidade aparente entre os valores observados para as farinhas comerciais (0,10 e 0,61 g/cm<sup>3</sup>).

Os valores de higroscopicidade das farinhas escaldadas não apresentaram diferença estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ), e foram em média 0,20 gH<sub>2</sub>O/g b.s. Já para as farinhas não escaldadas, o parâmetro apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), com valor maior verificado para a farinha da variedade Pocu (0,56 gH<sub>2</sub>O/g b.s). Esta farinha foi a que apresentou a menor densidade (0,27 g/cm<sup>3</sup>), que indica que foi a que sofreu maior expansão. Nesse caso, a maior higroscopicidade da farinha é atribuída a um maior grau de degradação dos grânulos de amido, confirmado pelo maior valor de ISA da mesma (18,94%).

#### **5.5.4 Análises microbiológicas**

De acordo com os resultados das análises microbiológicas realizadas, apresentados na Tabela 22, não foi detectada a ocorrência de coliformes a 45°C, *Bacillus cereus* e *Salmonella sp.*, em nenhuma das nas farinhas de tapioca produzidas. Todas as farinhas atenderam os limites estabelecidos pela legislação brasileira em vigor (BRASIL, 2001), estando aptas para consumo.

**Tabela 22.** Resultado das análises microbiológicas das farinhas de tapioca.

	Parâmetro	Origem da fécula (variedade)			Padrão (BRASIL, 2001)
		Pai Ambrósio	Pocu	Paulo Velho	
Não escaldada	Coliformes a 45°C (NMP/g)	< 3	< 3	< 3	10 <sup>2</sup> NMP/g (máx.)
	<i>Bacillus cereus</i> /g	ausência	ausência	ausência	3x10 <sup>3</sup> /g (máx.)
	<i>Salmonella sp.</i> /25g	ausência	ausência	ausência	Ausência em 25g
Escaldada	Coliformes a 45°C (NMP/g)	< 3	< 3	< 3	10 <sup>2</sup> NMP/g (máx.)
	<i>Bacillus cereus</i> /g	ausência	ausência	ausência	3x10 <sup>3</sup> /g (máx.)
	<i>Salmonella sp.</i> /25g	ausência	ausência	ausência	Ausência em 25g

NMP – Número mais provável.

### 5.5.5 Avaliação sensorial

#### 5.5.5.1 Teste de aceitabilidade

Os índices de aceitação (IA), obtidos através do teste de aceitação realizado para a avaliação das farinhas de tapioca produzidas, são apresentados na Tabela 23. De acordo com os resultados, todas as farinhas de tapioca produzidas e as frações avaliadas, obtiveram aceitação de regular a boa, com IA variando de 6,40 a 8,27, que correspondem às opções “gostei ligeiramente” e “gostei muito”, respectivamente.

De maneira geral, os IA para os três atributos (aparência, crocância e aceitação global) foram estatisticamente iguais ( $p > 0,05$ ) para as três frações das farinhas de tapioca avaliadas, independente da origem das féculas a partir da quais as mesmas foram produzidas. Já em relação ao processo utilizado (tratamento), observou-se uma maior preferência pelas farinhas obtidas com as féculas das variedades Pai Ambrósio e Pocu, submetidas a escaldamento, em relação àquelas não escaldadas. No caso da farinha obtida com a fécula da variedade Paulo Velho a tendência foi invertida: a farinha escaldada teve menor preferência que a não escaldada. Esta farinha inclusive foi a que obteve os maiores IAP, para os três

atributos avaliados, sendo: aparência (8,13), crocância (8,17) e aceitação global (8,13).

**Tabela 23.** Índice de aceitação (IA) para os atributos avaliados na análise sensorial das farinhas de tapioca produzidas.

Origem da fécula	Tratamento	Fração	Atributo (média ± desvio padrão)		
			Aparência	Crocância	Aceitação global
Pai Ambrósio	Não escaldada	Total	7,23 ± 1,43 <sup>ac</sup>	7,53 ± 1,57 <sup>ab</sup>	7,50 ± 1,65 <sup>ac</sup>
		Retida	7,83 ± 1,12 <sup>ab</sup>	8,13 ± 0,82 <sup>a</sup>	8,00 ± 0,69 <sup>a</sup>
		Passante	7,37 ± 1,22 <sup>ac</sup>	8,17 ± 0,91 <sup>a</sup>	7,73 ± 1,01 <sup>a</sup>
	Escaldada	Total	7,43 ± 0,97 <sup>ac</sup>	8,27 ± 0,64 <sup>a</sup>	7,80 ± 0,77 <sup>a</sup>
		Retida	7,87 ± 0,90 <sup>ab</sup>	8,07 ± 0,98 <sup>a</sup>	7,83 ± 1,02 <sup>a</sup>
		Passante	7,67 ± 0,88 <sup>ac</sup>	8,13 ± 0,90 <sup>a</sup>	7,90 ± 0,71 <sup>a</sup>
Pocu	Não escaldada	Total	7,50 ± 1,36 <sup>ac</sup>	7,93 ± 1,55 <sup>a</sup>	8,00 ± 1,02 <sup>a</sup>
		Retida	7,33 ± 1,67 <sup>ac</sup>	8,27 ± 0,74 <sup>a</sup>	7,83 ± 1,08 <sup>a</sup>
		Passante	6,57 ± 1,89 <sup>c</sup>	7,50 ± 2,03 <sup>ac</sup>	7,10 ± 1,75 <sup>ac</sup>
	Escaldada	Total	7,83 ± 1,05 <sup>ad</sup>	7,90 ± 1,32 <sup>a</sup>	7,70 ± 1,12 <sup>a</sup>
		Retida	7,47 ± 1,01 <sup>ac</sup>	7,90 ± 1,21 <sup>a</sup>	7,67 ± 1,15 <sup>a</sup>
		Passante	7,03 ± 1,56 <sup>ac</sup>	8,03 ± 1,10 <sup>a</sup>	7,53 ± 1,22 <sup>ab</sup>
Paulo Velho	Não escaldada	Total	7,77 ± 1,33 <sup>ad</sup>	8,07 ± 1,31 <sup>a</sup>	8,03 ± 1,30 <sup>a</sup>
		Retida	8,13 ± 0,78 <sup>a</sup>	8,17 ± 0,70 <sup>a</sup>	8,13 ± 0,63 <sup>a</sup>
		Passante	7,50 ± 1,25 <sup>ac</sup>	8,13 ± 1,07 <sup>a</sup>	7,80 ± 1,06 <sup>a</sup>
	Escaldada	Total	6,63 ± 1,38 <sup>c</sup>	6,40 ± 1,97 <sup>c</sup>	6,47 ± 1,74 <sup>c</sup>
		Retida	7,40 ± 1,27 <sup>ac</sup>	7,60 ± 1,04 <sup>a</sup>	7,53 ± 1,07 <sup>ab</sup>
		Passante	6,90 ± 1,49 <sup>bcd</sup>	6,47 ± 1,96 <sup>bc</sup>	6,50 ± 1,68 <sup>bc</sup>

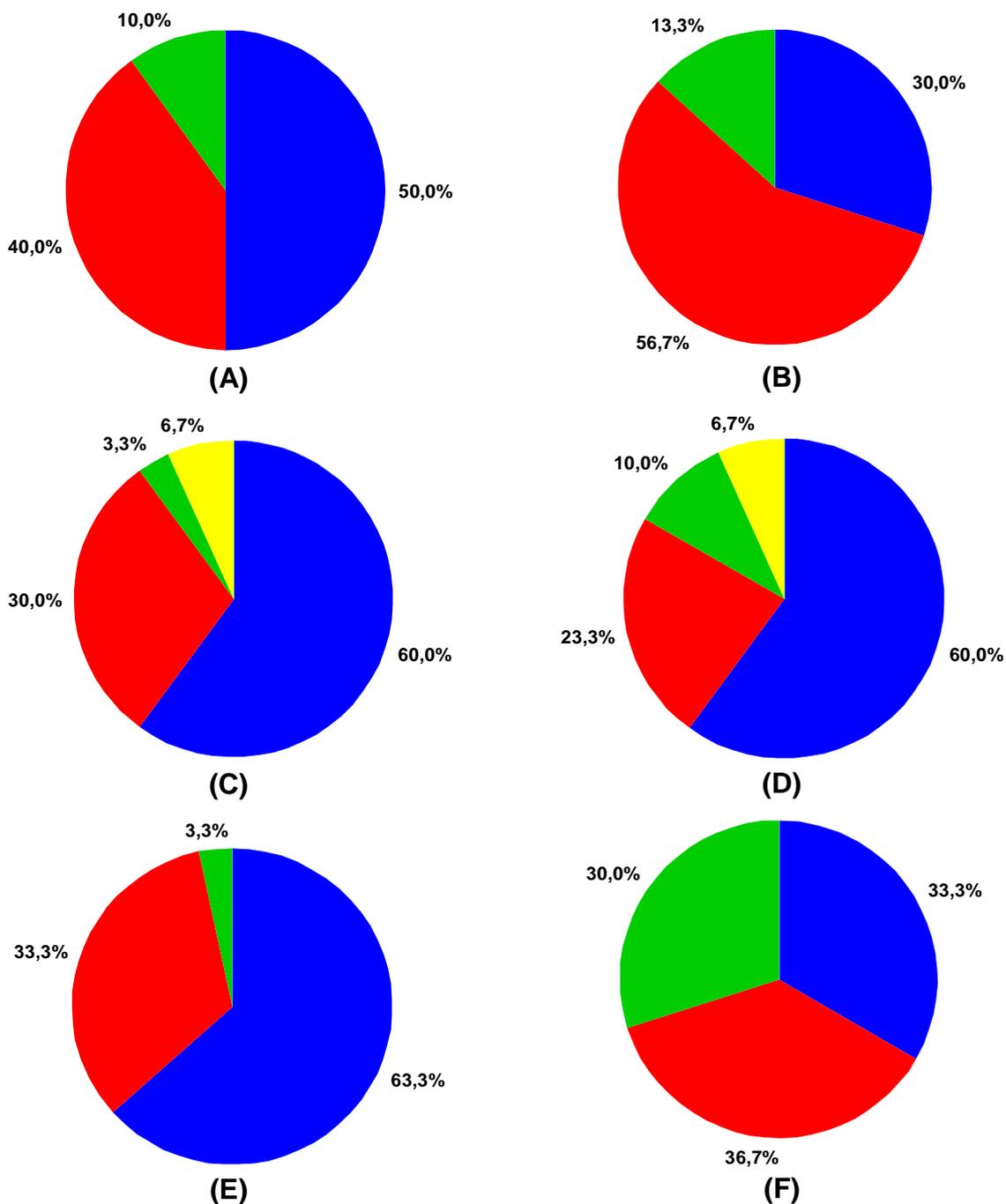
Médias com letras iguais, em uma mesma coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a nível de 5%; Fração total: farinha de tapioca integral; Fração retida: farinha de tapioca retidas na peneira de 6 mesh (3,35 mm); Fração passante: farinha de tapioca passante na peneira de 6 mesh (3,35 mm).

#### 5.5.5.2 Intenção de compra

Os resultados do teste de intenção de compra das farinhas de tapioca produzidas podem ser visualizados na Figura 26. De maneira geral, a intenção de compra indicou que o nível de rejeição das farinhas de tapioca produzidas com as féculas das três variedades de mandioca foi muito baixo. Apenas as farinhas da variedade Pocu tiveram 6,7% dos provadores que citaram “possivelmente não compraria”; as demais não obtiveram essa citação.

A somatória dos itens “Certamente compraria” e “Provavelmente compraria” das farinhas: Pai Ambrósio não escaldada (90,0%), Pai Ambrósio escaldada (86,7%), Pocu não escaldada (90,0%), Pocu escaldada (83,3%), Paulo Velho não

escaldada (96,7%) e Paulo Velho escaldada (70,0%), comprova a aceitação de muito boa a excelente de todas as farinhas. No entanto, os resultados indicaram a maior aceitação pela farinha de tapioca não escaldada, obtida com a fécula da variedade de mandioca Paulo Velho.



■ 5 – Certamente compraria ■ 4 – Provavelmente compraria ■ 3 – Talvez comprasse/talvez não comprasse ■ 2 – Provavelmente não compraria ■ 1 – Certamente não compraria

**Figura 26.** Intenção de compra para a farinha de tapioca integral obtida da variedade de mandioca Pai Ambrósio: (A) não escaldada e (B) escaldada; Pocu: (C) não escaldada e (D) escaldada; Paulo Velho: (E) não escaldada e (F) escaldada.

## 6 CONCLUSÕES

As variedades de mandioca Pai Ambrósio, Pocu e Paulo Velho foram identificadas, entre produtores de farinha de tapioca da Zona Bragantina do estado do Pará, como as mais utilizadas no beneficiamento do produto.

Entre as variedades de mandioca estudadas, a Pocu e a Paulo Velho apresentaram os maiores rendimentos em polpa, demonstrando maior potencialidade industrial.

As características físicas evidenciaram a inexistência de um padrão de tamanho e de forma para as raízes de mandioca, tanto entre variedades, quanto para a mesma variedade.

As féculas obtidas das variedades de mandioca Pai Ambrósio, Pocu e Paulo Velho apresentaram elevada pureza e foram classificadas como “fécula tipo 1”, de acordo com a legislação brasileira.

A microscopia ótica, sob luz polarizada, evidenciou a presença de amilopectina na composição dos grânulos de amido das féculas de todas as variedades de mandioca estudadas, e a análise térmica dos amidos indicou a maior proporção de amilopectina em relação à amilose, para a fécula da variedade Pai Ambrósio.

A partir das análises granulométrica, físico-química e microscopia ótica sob luz polarizada, foi possível constatar que não existe um processo padrão utilizado na produção da farinha de tapioca; o que caracteriza um processo artesanal.

O planejamento experimental evidenciou que quanto maior a umidade dos grânulos (“perolas”) da farinha, após o escaldamento, e maior a temperatura de espocagem, menor a densidade aparente das farinhas de tapioca obtidas, o que indica maior expansão das mesmas.

Todas as farinhas de tapioca obtidas a partir das féculas das variedades de mandioca Pai Ambrósio, Pocu e Paulo Velho, atenderam os padrões estabelecidos pela Legislação Brasileira para o produto, o que confirma que as referidas variedades são boas fontes de fécula a serem utilizadas no beneficiamento de farinha de tapioca.

A microscopia eletrônica de varredura e os parâmetros tecnológicos indicaram que os grânulos de amido das farinhas de tapioca que sofreram escaldamento antes

da espocagem foram mais danificados que os grânulos de amido das farinhas que não sofreram escaldamento.

A análise microbiológica das farinhas de tapioca produzidas confirmou que as mesmas estavam dentro dos padrões exigidos pela legislação brasileira para o produto, estando aptas para o consumo humano.

A farinha de tapioca não escaldada, obtida com a fécula da variedade de mandioca Paulo Velho foi a que obteve a maior aceitação dos provadores, tanto no teste de aceitabilidade, quanto no teste de intenção de compra. Porém todas as farinhas obtidas tiveram aceitação muito boa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC (American Association of Cereal Chemists). **Approved Methods of the AACC**, 8 ed. St. Paul: AACC, 1983.

ABAM – Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca. Derivados. **Servidor de arquivos**. Disponível em: <www.abam.com.br>. Acesso: 10 jan. 2010.

ADETAN, D. A.; ADEKOYA, L. O.; ALUKO, O. B. Characterisation of some properties of cassava root tubers. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 59. n. 4, p. 349–353, 2003.

AGGARWAL, P.; DOLLIMORE, D. The combustion of starch, cellulose and cationically modified products of these compounds investigated using thermal analysis. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 291, n.1-2, p. 65-72, 1997.

ALBUQUERQUE, T. T. O.; MIRANDA, L. C. G.; SALIM, J.; TELES, F. F. F.; QUIRINO, J. G. Composição centesimal da raiz de 10 variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivadas em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 12, n. 1, p. 7-12, 1993.

ALEXANDER, R. J. Fat replacers based on starch. **Cereal Food World**, St. Paul, v. 40, n. 5, p. 366-368, 1995.

ALLEM, A. C. The origins and taxonomy off cassava (*Manihot esculenta* Crantz subsp. *esculenta*). In: HILLOCK, R. J.; TRESH, M. J.; BELLOTTI, A. C. **Cassava: biology, production and utilization**. Oxford: CAB International, 2001. 67p.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN, L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, Saint. Paul, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.

AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). **Official methods of analysis of AOAC**: 16 ed. Gaithersburg: AOAC, 1997. 1141p.

APLEVICZ, K. S.; DEMIATE, I. M. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 478-484, 2007.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e pratica**. Viçosa: UFV, 1999. 416 p.

ARYEE, F. N. A.; ODURO, I.; W.O. ELLIS, W. O.; AFUAKWA, J. J. The physicochemical properties of xour samples from the roots of 31 varieties of cassava. **Food Control**, Amsterdam, v. 17, n. 11, p. 916–922, 2006.

BARBOSA, A. J. P.; HIDAKA, J. C. **Avaliação da qualidade da farinha de tapioca produzida nos municípios de Acará e Santa Izabel do Pará**. 2008. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Pará. Belém, 2008.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 2. ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 1996. 299 p.

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

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

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 3 ed. São Paulo: Varela, 2003. 238p.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3 ed. São Paulo: Varela, 2001. 143 p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o Regulamento Técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**. Brasília, p.4, dez. 2003. Seção 1.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**. Brasília, p.146, jan. 2001. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 23, de 14 de dezembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos Produtos Amiláceos derivados da raiz da mandioca. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília p.5, dez. 2005. Seção 1.

BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis – Mini review. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 23, n. 2, p. 85-112, 1998.

CÂMARA, G. M. S.; GODOY, O. P.; MARCOS FILHO, J.; LIMA, U. A. A Tecnologia da produção. **Mandioca: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. (Série Extensão Agroindustrial, 4).

CAMARGO, R.; FONSECA, H.; CARASO, J. G. B.; T GRANER, M.; ANDRADE, M. A.; NOGERA, J. N.; CANTARELA, P. R. **Tecnologia de produtos agropecuários – Alimentos**. São Paulo: Nobel, 1989. 192p.

CAMPBELL, M. R.; LI, J.; BERKE, T. G.; GLOVER, D. V. Variation of starch granule size in tropical maize germ plasm. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 73, n. 5, p. 536-538, 1996.

CARDOSO, E. **Uso de manieira como biofertilizante no cultivo do milho: avaliação do efeito no solo, nas águas subterrâneas e na produtividade do**

**milho**. 2005. 35 f. Dissertação (Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2005.

CARVALHO, P. C. L.; FUKUDA, W. M. G.; CRUZ, P. J.; COSTA, J. A. Avaliação agronômica e tecnológica de cultivares de mandioca para consumo 'in natura'. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 14, n. 1, p. 7-15, 1995.

CARVALHO, V.D.; CARVALHO, J.G. **Princípios tóxicos da mandioca**. Belo Horizonte (Informe Agropecuário) v. 5, p. 82-88, 1979.

CEBALLOS, H.; SAÑ NCHÉZ, MORANTE, N.; FREGENE, M.; DUFOUR, D.; SMITH, A. M.; DENYER, K.; REZ, J. C. P.; CALLE, F. ; MESTRES, C. Discovery of an Amylose-free Starch Mutant in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, n. 18, p. 7469-7476, 2007.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada/ABAM (Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca), **Produção brasileira de amido de mandioca 2005**. Disponível em: <[http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea\\_Mandioca-fécula.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea_Mandioca-fécula.pdf)>. Acesso em jan. 2010.b

CEREDA, M. P. (Coord.). **Cultura de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. v.2. São Paulo: Fundação Cargill, 2002, 540p. (Série Cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas).

CEREDA, M. P. (Coord.). **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. v.4. São Paulo: Fundação Cargill, 2001, 340p. (Série Cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas).

CEREDA, M. P.; CHUZEL, G. C.; VILPOUX, O. F.; NUNES, O. L. G. S. **Biotecnologia industrial**. In: Modificação de fécula por fermentação. São Paulo: Edgard Blücher, p. 413-460, 2001.

CEREDA, M. P.; DAIUTO, E. R.; VILPOUX, O. Metodologia de determinação de amido por digestão ácida em microondas. **Revista da Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca**, Paranavaí, v. 2, p.29, 2004.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F. (Coord.). **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. v. 3. São Paulo: Fundação Cargill, 2003, 711p. (Série Cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas).

CHARLES, A. L.; CHANG, Y. H.; KO, W. C.; SRIROTH, K.; HUANG, T. C. Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington DC, v. 53, n. 7, p. 2717-2725, 2005.

CHARLES, A. L.; HUANG, T. C.; LAI, P. Y.; CHEN, C. C.; LEE, P. P.; CHANG, Y. H. Study of wheat flour-cassava starch composite mix and the function of cassava mucilage in chinese noodles. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 21, n. 3, p. 368-378, 2007.

CHIRIFE, J.; BUERA, M. P. A critical review of some non-equilibrium situations and glass transitions on water activity values of foods in the microbiological growth range. **Journal of Food Engineering**, Barking, v. 25, n. 4, p. 531-552, 1995.

CHISTÉ, R. C. **Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas na produção da farinha de mandioca dos grupos seca e d'água, subgrupo fina, tipo 1**. 2006. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia Agroindustrial de Alimentos) - Universidade do Estado do Pará. Belém, 2006.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O.; MATHIAS, E. A.; RAMOA JÚNIOR, A. G. A. Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 861-864, 2006.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O.; MATHIAS, E. A.; RAMOA JÚNIOR, A. G. A. Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 265-269, 2007.

CHUZEL, G.; ZAKHAIA, N.; CEREDA, M. P. Potencialités de nouveaux produits derives du manioc au Brésil. In: EGBE, T. A.; BRAUMAN, A.; GRIFFON, D.; TRECHE, S. (Eds.). **Transformation alimentaire du manioc**. Paris: Orstom, p. 63-74. 1995.

COUTINHO, A. P. C. **Produção e caracterização de maltodextrinas a partir de amidos de mandioca e batata doce**. 2007. 137 f. Tese (Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu, 2007.

DEFLOOR, I.; DEHING, I.; DELCOUR, J. A. Physico-chemical properties of cassava starch. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 50, n. 2-3, p. 58-64, 1998.

DEMIATE, I. M.; CEREDA, M. P. Some physico-chemical characteristics of modified cassava starches presenting baking property. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 15, n. 3, p. 36-46, 2000.

DIAS, A. R. G. **Efeito de oxidantes, de ácidos orgânicos e da fração solúvel em água na propriedade de expansão do amido de mandioca fermentado**. 2002. 149 f. Tese (Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

DIAS, L. T.; LEONEL, M. Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 692-700, 2006.

EL-DASH, M. R.; MAZZARI, R.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha de trigo e mandioca para produção de pães**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 88p.

ELIASSON, A. C. (Ed.) **Carbohydrates in food**. 2 ed. Boca Raton: CRC, 2006. 563p.

ELIASSON, A. C. **Starch in food**: structure, function and applications. 1 ed. Boca Raton: CRC, 2004. 597p.

EMATER – Tecnologia de fabricação de Mandioca – on-line (2004). Disponível em: <[WWW.engetecno.com.br/como\\_fabricar.htm](http://WWW.engetecno.com.br/como_fabricar.htm)>. Acesso em: 17 out. 2009.

EMBRAPA – **Mandioca: o pão do Brasil = Manioc, le pain du Brésil**. Brasília: Embrapa, 2005. 530p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **FAOSTAT**, Disponível em: <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture>. Acesso em: 26 jul. 2010.

FARALDO, M. I. F.; SILVA, R. M.; ANDO, A.; MARTINS, P. S. Variabilidade genética de etnovarietades de mandioca em regiões geográficas do Brasil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 499-505, 2000.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos**: princípios e prática. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

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. 80 f. Dissertação (Ciências, área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

FENNEMA, O. R. (Ed.) **Food Chemistry**. 3 ed. Nova Iorque: Marcel Dekker, 1996. 1069p.

FRANCO, C. M. L.; CABRAL, R. A. F.; TAVARES, D. Q. Structural and physicochemical characteristics of lintnerized native and sour cassava starches. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 54, n. 10, p. 469-475, 2002.

FRANCO, C. M. L.; DIAUTO, 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**. v.1. Campinas: Fundação Cargill, 2001. 224p. (Série Culturas de tuberosas amiláceas latino-americanas).

FRANCO, C. M. L.; WONG, K.; YOO, S.; JANE, J. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 79, n. 2, p. 243-248, 2002.

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

GARCIA, V.; COLONNA, P.; LOURDIN, D.; BULEON, A.; BIZOT, H.; OLLIVON, M. Thermal transitions of cassava starch at intermediate water contents. **Journal of Thermal Analysis**, Budapest, v. 47, n. 5, p. 1213-1228, 1996.

GOMES, C. N.; CARVALHO, S. P. de; JESUS, A. M. S.; CUSTÓDIO, T. N. Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes

da produção em mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1121-1130, 2007.

GRACE, M. R. **Elaboración de la yuca**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, 1977. 92p.

GRIZOTTO, R. K. **Mandioca “chips” uma tecnologia para aproveitamento da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2000. 139 f. Tese (Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.b

GUERREIRO, L. M. R. **Estudo reológico dos amidos de amaranto, de mandioca e de suas misturas sob condições de acidez e tratamento térmico**. 2007. 251 f. Tese (Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GUIMARÃES, M. C. F.; BARBOSA, W. C.; OLIVEIRA, M. L. S.; LIMA, C. L. S. Caracterização tecnológica e química do produto “farinha de tapioca”. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DE QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 6., 1998, Manaus. **Anais**. Manaus, p. 179-188. 1998.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola em 2010. **Servidor de arquivos**. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso: 05 jan. 2010.

JAY, M. J. **Microbiologia de alimentos**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 711p.

JECFA. Cyanogenic glycosides. In: Toxicological Evaluation of Certain Food Additives and Naturally Occurring Toxicants, Geneva, 1993. **Anais**, Geneva, p. 18, 1993.

KALETUNC, G.; BRESLAUER, K. J. **Characterization of cereals and flours: properties, analyses and applications**. Boca Raton: CRC, 2003. 620p.

KARAM, L. B.; GROSSMANN, M. V. E.; SILVA, R. S. S. F.; FERRERO, C., ZARITZKY, N. E Gel textural characteristics of corn, cassava and yam starch blends: a mixture surface response methodology approach. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 57, n. 2, p. 62-70, 2005.

LADEIRA, T. M. S. **Obtenção e caracterização da fécula e do polvilho azedo de três variedades de mandioca produzidas no estado do Pará**. 2011. 129 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Pará. Belém, PA.

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

LEONEL, M.; GARCIA, A. C. D. B.; REIS, M. M. Caracterização físico-química e microscópica de amidos de batata-doce, biri, mandioca e taioba e propriedades de expansão após modificação fotoquímica. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 129-137, 2004.

LIMA, L. R.; MARCONDES, A. A. Mandioca como matéria-prima industrial. **Revista de Química Industrial**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 1-17, 1979.

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

LINEBACK, D. R. The starch granule: Organization and properties. **Bakers Digest**, Australia, v. 58, n. 2, p. 16-21, 1984.

LORENZI, J. O. Mandioca. **Coordenadoria de Assistência Técnica Integral**, (Boletim Técnico, 245), 2003. 116p.

LORENZI, J. O.; DIAS, C. A. C. Cultura da mandioca. **Coordenadoria de Assistência Técnica Integral**, (Boletim Técnico, 211), 1993. 41p.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influência de parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-229, 2009.

MARQUES, P. T.; PÉREGO, C.; Le MEINS, J. F.; BORSALI, R., SOLDI, V. Study of gelatinization process and viscoelastic properties of cassava starch: effect of sodium hydroxide and ethylene glycol diacrylate as cross-linking agent. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 66, n. 3, p. 396-407, 2006.

MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; LÓPEZ-SOTO, M.; E. SAN MARTÍN-MARTÍNEZ, E. S.; ZAZUETA-MORALES, J. J.; VELEZ-MEDINA, J. J. Effects of high energy milling on some functional properties of jicama starch (*Pachyrrhizus erosus* L. Urban) and cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 4, p. 1212–1220, 2007.

MATTOS, P. L. P. de; GOMES, J. C.; FARIAS, A. R. N.; FUKUDA, C. Cultivo da mandioca nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. In: **Agricultura: Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v. 2, p.274–301, 2002.

MATTOS, P. L. P.; CARDOSO, E. M. R. 2003. Cultivo da mandioca para o estado do Pará. **Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas**. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca\\_para/cultivares](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_para/cultivares)>. Acesso em: mai. 2009.

MATTOS, P. L. P.; GOMES, J. C. **O cultivo da mandioca**. In: Colheita. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura. ISSN 1516-5612, (Circular Técnica, 37), 2000. 122p.

MENDONÇA, H. A.; MOURA, G. M.; CUNHA, E. T. Avaliação de genótipos de mandioca em diferentes épocas de colheita no Estado do Acre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 761-769, 2003.

MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. 2 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 471p.

MESTRES, C. Los estados físicos del almidon. In: Conferência Internacional de Almidon, Quito, 1996. Anais, Quito, p. 2, 1996.

MIZUKAMI, H.; TAKEDA, Y.; HIZUKIRI, S. The structure of the hot-water soluble components in the starch granules of new Japanese rice cultivars. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 38, n. 4, p. 329-335, 1999.

MORITA, A. S.; GOIS, V. A.; PRAÇA, E. F.; TAVARES, J. C.; ANDRADE, J. C.; COSTA, F. B.; BARROS Jr., A. P.; SOUSA, A. H. Cristalização de melão pelo processo lento de açucaramento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 705-708, 2005.

MOURA, J. S. **Influência da adição de resíduo fibroso de maracujá e fécula de mandioca na qualidade e estabilidade de biscoitos**. 2009. 127 f. Dissertação (Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Pará. Belém, 2009.

NAND, A. V.; CHARAN, R. P.; ROHINDRA, D.; KHURMA, J. R. Isolation and properties of starch from some local cultivars of cassava and taro in Fiji. **The South Pacific Journal of Natural Science**, South Pacific, v. 26, n. 1, p. 45-48, 2008.

NIBA, L. L.; BOKANGA, M. M.; JACKSON, F. L.; SCHLIMME, D. S.; LI, B. W. Physicochemical properties and starch granular characteristics of flour from various *Manihot Esculenta* (Cassava) genotypes. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 67, n. 5, p. 1701-1705, 2001.

NUNES, L. B.; SANTOS, W. J.; CRUZ, R. S. Rendimento de extração e caracterização química e funcional de féculas de mandioca da região do semi-árido baiano. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara. v. 20, n. 1, p. 129-134, 2009.

NWOKOCHA, L. M.; AVIARA, N. A.; SENAN, C.; WILLIAMS, P. A. A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 76, n. 3, p.362–367, 2009.

OLIVEIRA, M. A.; PANTAROTO, S.; CEREDA, M. P. Efeito da Sanitização e de Agente Antioxidante em Raízes de Mandioca Minimamente Processadas. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 339-344, 2003.

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

PERDOMO, J.; COVA, A.; SANDOVAL, A. J.; GARCÍA L.; LAREDO E.; MÜLLER, A. J. Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 76, n. 2, p. 305–313, 2009.

PEREIRA, L. T. P.; BELÉIA, A. P. Isolamento, fracionamento e caracterização de paredes celulares de raízes de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 059-063, 2004.

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

RAMIREZ, J. L. A.; WANDERLEY, C. P. Effect de los parametros de extrusion, características de pasta y textura de pellets (snacks de terceira generacion) producidos a partir de trigo y maiz. **Alimentaria**, Madrid, v. 279, n. 1, p. 93-98, 1997.

RATNAYAKE, W. S.; JACKSON, D. S. A new insight into the gelatinization process of native starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 67, n. 4, p. 511–529, 2007.  
RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. 184p.

RICKARD, J. E.; ASAOKA, M.; BLANSHARD, J. M. V. The physicochemical properties of cassava starch. **Tropical Science**, London, v. 31, n. 22, p. 189-207, 1991.

RICKARD, J. E.; BEHN, K. R. Evoluotion of acid and enzyme hydrolytic methods for the determination of cassava starch. **Journal of Science of Food and Agriculture**, Essex, v. 41, n. 4, p. 373-379, 1987.

ROSENTHAL, F. R. T.; NAKAMURA, T.; ESPÍNDOLA, A. M. C.; JOCHIMEK, M. R. Structure of starch granules. Part 3. Some considerations on leguminosae and tuberosae. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 26, n. 2, p. 50-56, 1974.

SCHWENGBER, D. R.; SMIDERLE, O. J.; MATTIONI, J. A. M. **Mandioca: recomendações para plantio em Roraima**. Boa Vista, RO: Embrapa Roraima, (Circular Técnica, 5), 2005. 30p.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. N.; GILL, B. S. Morphological, thermal and reological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, Londres, v. 81, n. 2, p. 219-231, 2003.

SOARES JÚNIOR, M. S.; OLIVEIRA, W. M.; CALIARI, M.; VERA, R. Otimização da formulação de pães de forma preparados com diferentes proporções de farinha de trigo, fécula de mandioca e okara. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 221-248, 2006.

SOUZA, H. A. L. de. **Caracterização e estudo da viabilidade tecnológica do aproveitamento da mandiocaba**. 2010. 85 f. Dissertação (Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Pará. Belém, 2010.

SOUZA, J. M. L.; ÁLVARES, V. S.; LEITE, F. M. N.; REIS, F. S.; FELISBERTO, F. A. V. Caracterização físico-química de farinhas oriundas de variedades de mandioca utilizadas no Vale do Juruá, Acre. **ACTA Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 4, p. 761-766, 2008.

SOUZA, M. L. **Processamento de cereais matinais extrusados de castanha-do-Brasil com mandioca**. 2003. 161 f. Tese (Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SRIROTH, K.; SANTISOPASRI, V.; PETCHALANUWAT, C.; KUROTJANAWONG, K.; PIYACHOMKWAN, K.; OATES, C. G. Cassava starch granule structure-function properties: influence of time and conditions at harvest on four cultivars of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 38, n. 2, p. 161–170, 1999.

STATSOFT, INC. (2004). **STATISTICA for Windows [Computer program manual]**. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104, (918) 583-4149, fax: (918) 583-4376.

STONE, S. M.; SIDEL, J. **Sensory Evaluation Practices**. Second Edition. Academic Press, Inc. San Diego, California, 1993. 295p.

TANGPHATSORNRUANG, S.; NACONSIE, M.; THAMMARONGTHAM, C.; NARANGAJAVANA, J. Isolation and characterization of an  $\alpha$ -amylase gene in cassava (*Manihot esculenta*). **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 43, n. 9, p. 821–827, 2005.

TAPARELLI, J. R. **Modificação química do amido de mandioca e estudo de sua aplicação em revestimento de couché**. 2005. 101 f. Dissertação (Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of starches. Effects of amylopectins, amyloses and lipids. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 67, n. 6, p. 551-557, 1990.b

TOMASIK, P. **Chemical and functional properties of food saccharides**. Boca Raton: CRC Press, p. 159-179, 2004.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 444-450, 2009.

UBOLDI-EIROA, M. N. Atividade de água: influência sobre o desenvolvimento de microrganismos e métodos de determinação em alimentos. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 3, n. 18, p. 353-383, 1981.

VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D.F. **Compendium of methods for microbiological examination of foods**. American Public health Association, Washington, 3. ed. , 1992. 914p.

VIEIRA, J. C. **Caracterização e utilização da fécula de mandioca produzida no Pará para o beneficiamento de produtos de panificação**. 2007. 79 f. Dissertação (Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Pará. Belém, 2007.

WOOD, J. H. In vitro evaluation of physiological availability of compressed tablets. **Pharmaceutica Acta Helvetiae**, Zurich, v. 42, n. 3 p. 129-151, 1967.

ZAUDUL, I. S. M.; NIK NORULAINI, N. A.; MOHD. OMAR, A. K.; YAMAUCHI, H.; NODA, T. RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam,

and cassava starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 69, n. 4 p. 784-791, 2007.