



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

---

**DESENVOLVIMENTO DE PÃO DE QUEIJO FUNCIONAL  
PELA INCORPORAÇÃO DE ISOLADO PROTÉICO DE SOJA  
E POLIDEXTROSE**

**José Ricardo Uclés Santos**  
Engenheiro de Alimentos

Profa. Dra. **Fernanda Paula Collares**  
Orientadora

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Engenharia de Alimentos da Universidade  
Estadual de Campinas para a obtenção do título de  
**MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**Campinas – SP  
2006**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP**

Uc6d Uclés Santos, José Ricardo  
Desenvolvimento de pão de queijo funcional pela incorporação de  
isolado protéico de soja e polidextrose / José Ricardo Uclés Santos. --  
Campinas, SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Fernanda Paula Collares  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Pão de queijo. 2. Isolado protéico de soja. 3. Polidextrose.  
4. Fécula de mandioca. 5. Superfície de resposta – Metodologia. I.  
Fernanda Paula Collares. II. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(CARS/FEA)

**Titulo em inglês: Development of functional cheese bread by soy protein isolate and  
polydextrose incorporation**

**Palavras-chave em inglês (Keywords): Cheese bread, Soy protein isolate, Polydextrose,  
Cassava Starch, Response surface - Methodology**

**Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos**

**Banca examinadora: Fernanda Paula Collares**

**Caroline Joy Steel**

**Helena Maria André Bolini**

**César Francisco Ciacco**

## **BANCA EXAMINADORA**

---

**PROFA. Dra. FERNANDA PAULA COLLARES  
DTA/FEA/ UNICAMP  
(orientadora)**

---

**PROFA. Dra. CAROLINE JOY STEEL  
DTA/FEA/UNICAMP  
(membro)**

---

**PROFA. Dra. HELENA MARIA ANDRÉ BOLINI  
DEPAN/FEA/UNICAMP  
(membro)**

---

**PROF. Dr. CÉSAR FRANCISCO CIACCO  
DTA/FEA/UNICAMP  
(membro)**



## **DEDICO**

**Aos meus pais, Sully e Jorge  
e a meus irmãos, Javier e José Juan,  
para que a distância que nos separa  
seja sempre a força que mantém  
os nossos corações unidos.**



## AGRADECIMENTOS

À Deus, que durante estes anos todos sempre tem me mostrado o caminho da sabedoria e esperança para alcançar os desafios mais importantes.

Ao Brasil, país maravilhoso que me ajudou a crescer como pessoa e pesquisador, e que durante o decorrer da minha vida, vai ser sempre lembrado como um lugar mágico e especial que me ensinou o conhecimento e a alegria que seu povo irradia em qualquer canto.

**Ougy, Bertis, Javi y Juanito: Ustedes han sido definitivamente las cuatro columnas principales que fundamentan mis decisiones de vida, tornándolos en mi mayor fuente inspiración para la realización de grandes éxitos que reflejen el espíritu de sencillez y lucha que siempre les he admirado.**

Tuchis y Papito: Gracias porque siempre han sido parte de cada éxito, alegría, derrota o decepción de mi vida, lo que los convierte en parte de la semilla que un día fue plantada y hoy germina con la alegría de más un éxito.

Meo Momo: Gracias por estar siempre presente en la realización de mis grandes sueños y objetivos de vida.

À Nadia, obrigado por ser a pessoa que ascendeu a vela da esperança e amor no meu coração, por ter sido a força que eliminou a escuridão das lágrimas e da derrota, te tornando a luz do meu êxito, e por ser a ferramenta indispensável, absoluta e necessária na conclusão deste trabalho. Te amo!!!!

À professora Fernanda, que sempre me dedicou seu tempo para planejar, executar e discutir as etapas da pesquisa, assim como me auxiliou no desenvolvimento do sentido crítico de pesquisador e no aperfeiçoamento do meu português.

Aos membros da banca, pela paciência e atenção com que corrigiram este trabalho, especialmente à Professora Caroline Joy Steel, que desde o início foi de grande ajuda para o desenvolvimento deste projeto.

À minha segunda família, minha família do Brasil (*Dona Beth*, Paulo, Keyla, Gigi, Andressa, Rogério, Marcelo, Rosana, Leonardo e Bibi), que me acolheram num 25 de janeiro, e até agora tem sido fonte de inspiração e alegria nos momentos especiais.

À Gaby (*a menina da engenharia*), com quem lutei junto durante estes dois anos, conseguindo criar uma amizade especial que vai permanecer no meu coração a vida toda e que nunca vou esquecer.



Aos amigos Matheus, Aline, Laurindo, Dona Dete, Val, Regina, Mario, Valeria, Vitor, Marina, Lílian, Enrico, e o resto da família Depieri, que durante meus anos no Brasil me acolheram em sua casa demonstrando carinho, dedicação e respeito, e se tornaram as pessoas que sempre serão parte da minha vida.

Ao **\*Coisa feita\*** (André), **\*Rei de Araras\*** (Reinaldo), **\*É mesmo\*** (Eveline), turma de mestrado 2004 dos Cereal Killers que mantiveram a alegria em todo momento permitindo-me compartilhar com pessoas de diferentes partes do Brasil, e ensinando-me o valor da amizade sem importar-se da cidade ou país de origem.

Aos meus amigos do Laboratório de Cereais, Alessandra, Camila, Luciana, Luz, Cris, Larissa, Farayde, Teresa e Leomar, que sempre estiveram presentes para me ajudar durante o decorrer da minha pesquisa, moldando, congelando, avaliando sensorialmente, entre outras coisas. Obrigado mesmo pela força e solidariedade.

À Renata, a provadora mais crítica, sincera e entusiasta, que foi uma grande amiga durante o tempo do desenvolvimento da pesquisa, ajudando-me na interpretação e discussão dos resultados.

Ao pessoal da Padaria da FEA, que sabendo das dificuldades para eu aprender a técnica do pão de queijo, sempre liberaram o forno, a batedeira e outros materiais quando eu sempre precisei.

Aos meus amigos, Bei, Coco, Luciana Esper, Vanessa, Caiçara, Raúl, Roque, Guillame (Zidane), Catherine, Michelle, Emmanuelle, Kelly, Olga, Frampton, Janaina, Beto, Eliane, Kátia e Mateo pela demonstração de carinho, os *happy hour*, os jogos de futebol, as baladas, as festas e todos os momentos vividos durante estes anos.

À família Marangoni, que fez de Piracicaba um lugar especial mostrando-me o carinho e o acochegante que a família do interior Paulista pode oferecer-lhe aos estrangeiros.

À Fabiane, Sandra, Maristela, Bibiane, Rãnie e Bruno, que foram de grande ajuda durante as diferentes etapas da pesquisa, sendo valiosos todos os resultados obtidos que levaram à obtenção deste trabalho.

À embaixada do Brasil na Guatemala e a CAPES PEC-PG, que concedeu a bolsa de estudos para a obtenção deste trabalho.

À Tânia, minha amiga e professora de português na Guatemala que me ajudou e confiou plenamente em mim, deixando até por alguns momentos sua vida de mãe e esposa para me ajudar a chegar hoje até aqui.



**“Toda a nossa ciência,  
comparada com a realidade,  
é primitiva e infantil - ainda assim,  
é o bem mais precioso que temos.”**

**Albert Einstein**



## SUMÁRIO

|                               |               |
|-------------------------------|---------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> ..... | <b>xxi</b>    |
| <b>LISTA DE TABELAS</b> ..... | <b>xxvii</b>  |
| <b>RESUMO GERAL</b> .....     | <b>xxxiii</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....         | <b>xxxvii</b> |
| <b>INTRODUÇÃO GERAL</b> ..... | <b>1</b>      |

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....   | <b>9</b>  |
| 1.1 O pão de queijo.....  | 11        |
| 1.2 Ingredientes.....   | 13        |
| 1.2.1 Fécula de mandioca, polvilho doce e azedo.....                                      | 13        |
| 1.2.1.1 Aspectos gerais.....  | 13        |
| 1.2.1.2. Composição química da fécula de mandioca.....                                    | 15        |
| 1.2.1.3 Transformações ocorridas no polvilho azedo durante o processo de fermentação..... | 16        |
| 1.2.1.4 Viscosidade da fécula de mandioca.....  | 18        |
| 1.2.1.5 Cristalinidade da fécula de mandioca.....   | 20        |
| 1.2.1.6 Microscopia dos grânulos.....   | 22        |
| 1.2.1.7 Efeito da adição de fécula de mandioca e/ou polvilho azedo no pão de queijo.....  | 23        |
| 1.2.2 Queijo.....   | 24        |
| 1.2.3 Leite.....  | 25        |
| 1.2.4 Ovos.....   | 25        |
| 1.2.5 Sal.....  | 26        |
| 1.2.6 Óleos e gorduras.....   | 26        |
| 1.3 Processo de fabricação de pão de queijo.....  | 27        |
| 1.3.1 Escaldamento da fécula de mandioca e/ou polvilho (doce/azedo).....                  | 28        |
| 1.3.2 Amassamento.....  | 28        |
| 1.3.3 Moldagem.....   | 29        |
| 1.3.4 Forneamento.....  | 29        |
| 1.4 Amidos Modificados.....   | 30        |
| 1.5 Alimentos Funcionais.....   | 31        |
| 1.5.1 Polidextrose.....   | 32        |
| 1.5.2 Isolado protéico de soja.....   | 35        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | <b>39</b> |

## CAPÍTULO 1

## Estudo da proporção de fécula de mandioca e polvilho azedo: Efeito nas propriedades físicas, químicas, reológicas e sensoriais do pão de queijo

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMO</b> .....   | <b>53</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>57</b> |
| <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>61</b> |
| <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....  | <b>63</b> |
| 4.1 Materiais.....  | <b>63</b> |
| 4.1.1 Matérias-primas.....  | <b>63</b> |
| 4.1.2 Principais Equipamentos.....  | <b>64</b> |
| 4.2 Métodos.....  | <b>65</b> |
| 4.2.1 Análises das matérias-primas.....   | <b>65</b> |
| 4.2.1.1 Caracterização físico-química da fécula de mandioca/polvilho azedo...                       | <b>65</b> |
| 4.2.1.1.2 Acidez titulável.....   | <b>65</b> |
| 4.2.1.1.3 Determinação do pH.....   | <b>66</b> |
| 4.2.1.1.4 Cor.....  | <b>66</b> |
| 4.2.1.1.5 Distribuição do tamanho de partículas.....  | <b>67</b> |
| (i) Espectrômetro de difração de raios laser.....   | <b>67</b> |
| (ii) Agitador de peneira – Granutest.....   | <b>67</b> |
| 4.2.1.1.6 Densidade aparente.....   | <b>67</b> |
| 4.2.1.1.7 Propriedades de pasta.....  | <b>68</b> |
| 4.2.1.1.8 Difractometria de raios-X.....  | <b>69</b> |
| 4.2.1.2 Caracterização morfológica da fécula de mandioca/polvilho azedo.....                        | <b>69</b> |
| 4.2.1.2.1 Morfologia dos grânulos.....  | <b>69</b> |
| 4.2.2 Perfil reológico das massas de pão de queijo.....   | <b>70</b> |
| 4.2.3 Elaboração do pão de queijo.....  | <b>73</b> |
| 4.2.3.1 Escolha da formulação básica.....   | <b>73</b> |
| 4.2.3.2 Formulações de pão de queijo variando a proporção fécula de<br>mandioca/polvilho azedo..... | <b>74</b> |
| 4.2.3.3 Etapas do processamento dos pães de queijo.....   | <b>74</b> |
| (i) Escaldamento da massa.....  | <b>74</b> |
| (ii) Resfriamento da massa.....   | <b>75</b> |
| (iii) Incorporação dos ovos e do queijo à massa.....  | <b>75</b> |
| (iv) Moldagem da massa.....   | <b>75</b> |
| (v) Forneamento dos pães de queijo.....   | <b>76</b> |
| 4.2.4 Análise da massa de pão de queijo.....  | <b>76</b> |
| 4.2.4.1 Densidade aparente.....   | <b>76</b> |
| 4.2.5 Análise do pão de queijo assado.....  | <b>77</b> |
| 4.2.5.1 Volume específico.....  | <b>77</b> |
| 4.2.5.2 Coeficiente de expansão.....  | <b>77</b> |
| 4.2.5.3 Textura.....  | <b>78</b> |
| 4.2.5.4 Cor.....  | <b>79</b> |
| 4.2.5.5 Análise Sensorial.....  | <b>80</b> |
| 4.2.6 Análise estatística dos resultados.....   | <b>81</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....  | <b>82</b>  |
| 5.1 Caracterização físico-química e morfológica da fécula de mandioca e do polvilho azedo..... | <b>82</b>  |
| 5.1.1 Umidade, pH e acidez titulável.....  | <b>82</b>  |
| 5.1.2 Cor.....   | <b>83</b>  |
| 5.1.3 Distribuição do tamanho de partícula.....  | <b>84</b>  |
| 5.1.3.1 Por difração de raios laser.....   | <b>85</b>  |
| 5.1.3.2 Peneiras vibratórias.....  | <b>86</b>  |
| 5.1.4 Densidade aparente.....  | <b>87</b>  |
| 5.1.5 Propriedades de pasta.....   | <b>87</b>  |
| 5.1.6 Difração de raios-X.....   | <b>90</b>  |
| 5.1.7 Características morfológicas da fécula de mandioca e do polvilho azedo.....              | <b>91</b>  |
| 5.2 Análises da massa de pão de queijo.....  | <b>93</b>  |
| 5.2.1 Perfil reológico das massas de pão de queijo.....  | <b>93</b>  |
| 5.2.2 Densidade aparente.....  | <b>98</b>  |
| 5.3 Análises físicas do pão de queijo assado.....  | <b>99</b>  |
| 5.3.1 Volume específico.....   | <b>99</b>  |
| 5.3.2 Coeficiente de expansão.....   | <b>100</b> |
| 5.3.3 Textura.....   | <b>102</b> |
| 5.3.4 Cor.....   | <b>105</b> |
| 5.3.5 Análise sensorial dos pães de queijo.....  | <b>107</b> |
| <b>CONCLUSÕES</b> .....  | <b>115</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....  | <b>117</b> |

## CAPÍTULO 2

**Estudo do efeito do teor de polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose por metodologia de superfície de resposta na qualidade de pão de queijo com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada**

|  |            |
|--|------------|
| <b>RESUMO</b> .....  | <b>125</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>127</b> |
| <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>129</b> |
| <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | <b>131</b> |
| 4.1 Materiais.....   | <b>131</b> |
| 4.1.1 Matérias-primas.....   | <b>131</b> |
| 4.1.2 Equipamentos.....  | <b>132</b> |
| 4.2 Métodos.....   | <b>133</b> |
| 4.2.1 Análises físico-químicas dos ingredientes funcionais e da fécula de mandioca pré-gelatinizada..... | <b>133</b> |
| 4.2.1.1 Caracterização físico-química.....   | <b>133</b> |
| 4.2.1.1.1 Umidade.....   | <b>133</b> |
| 4.2.1.1.2 Densidade aparente.....  | <b>133</b> |

---

|  |            |
|--|------------|
| 4.2.1.1.3 Cor.....   | 134        |
| 4.2.1.1.4 Distribuição do tamanho de partícula.....  | 135        |
| 4.2.1.1.5 Difractometria de raios-X.....   | 135        |
| (i) Isolado protéico de soja e fécula de mandioca pré-gelatinizada..   | 136        |
| (ii) Polidextrose.....   | 136        |
| 4.2.1.2 Morfologia dos grânulos.....   | 136        |
| 4.2.2 Delineamento Experimental.....   | 137        |
| 4.2.3 Processo de elaboração do pão de queijo.....   | 139        |
| 4.2.3.1 Formulação básica de pão de queijo.....  | 139        |
| 4.2.3.2 Obtenção das massas de pão de queijo.....  | 139        |
| Escaldamento da massa.....   | 140        |
| (i) Processo com escaldamento.....   | 140        |
| (ii) Processo sem escaldamento.....  | 140        |
| Resfriamento da massa.....   | 140        |
| (i) Processo com escaldamento.....   | 140        |
| (ii) Processo sem escaldamento.....  | 141        |
| Incorporação dos ovos e do queijo à massa.....   | 141        |
| Moldagem da massa.....   | 141        |
| Obtenção dos pães de queijo.....   | 141        |
| 4.2.4 Análises do pão de queijo assado.....  | 142        |
| 4.2.4.1 Análises físicas.....  | 142        |
| 4.2.4.1.1 Volume específico.....   | 142        |
| 4.2.4.1.2 Textura.....   | 143        |
| 4.2.4.1.3 Cor.....   | 143        |
| 4.2.4.2 Análise Sensorial dos pães de queijo.....  | 145        |
| 4.2.5 Análise estatística dos resultados.....  | 146        |
| <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>   | <b>147</b> |
| 5.1 Caracterização física e morfológica dos ingredientes funcionais e fécula de mandioca pré-gelatinizada..... | 147        |
| 5.1.1 Umidade.....   | 147        |
| 5.1.2 Densidade aparente.....  | 148        |
| 5.1.3 Cor.....   | 149        |
| 5.1.4 Distribuição de tamanho de partícula.....  | 150        |
| 5.1.5 Difração de raios-X.....   | 152        |
| 5.1.6 Morfologia dos grânulos dos ingredientes funcionais e da fécula de mandioca pré-gelatinizada.....        | 155        |
| 5.2 Planejamento Experimental.....   | 157        |
| 5.2.1 Volume específico.....   | 159        |
| 5.2.2 Textura.....   | 168        |
| 5.2.3 Cor.....   | 172        |
| 5.2.3.1 Luminosidade da crosta (L*).....   | 172        |
| 5.2.3.2 Saturação da crosta (C*).....  | 173        |
| 5.2.3.3 Ângulo de tonalidade da crosta (h).....  | 174        |
| 5.2.3.4 Luminosidade do miolo (L*).....  | 175        |
| 5.2.3.5 Saturação do miolo (C*).....   | 176        |
| 5.2.3.6 Ângulo de tonalidade do miolo (h).....   | 176        |

|   |            |
|---|------------|
| 5.3 Análise sensorial dos pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose.....             | 184        |
| 5.3.1 Escolha da formulação dos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... | 184        |
| 5.3.1.1 Aceitação da aparência geral.....   | 185        |
| 5.3.1.2 Aceitação do volume.....  | 185        |
| 5.3.1.3 Aceitação da cor do miolo.....  | 186        |
| 5.3.1.4 Aceitação da textura.....   | 186        |
| 5.3.1.5 Aceitação do sabor.....   | 186        |
| 5.3.2 Escolha da formulação com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....                    | 187        |
| 5.3.2.1 Aceitação da aparência geral.....   | 188        |
| 5.3.2.2 Aceitação do volume.....  | 188        |
| 5.3.2.3 Aceitação da cor do miolo.....  | 189        |
| 5.3.2.4 Aceitação da textura.....   | 189        |
| 5.3.2.5 Aceitação do sabor.....   | 189        |
| <b>CONCLUSÕES.....</b>  | <b>191</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>193</b> |

### CAPÍTULO 3

#### Caracterização física, química, reológica e sensorial de pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada

|  |            |
|--|------------|
| <b>RESUMO.....</b>   | <b>199</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>   | <b>201</b> |
| <b>INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>203</b> |
| <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>   | <b>205</b> |
| 4.1 Materiais.....   | 205        |
| 4.1.1 Matérias-Primas.....   | 205        |
| 4.1.2 Principais Equipamentos.....                                     | 206        |
| 4.2 Métodos.....   | 207        |
| 4.2.1 Análise do perfil de consistência da massa de pão de queijo..... | 207        |
| 4.2.2 Processo de elaboração do pão de queijo.....                     | 210        |
| 4.2.2.1 Obtenção das massas de pão de queijo.....                      | 212        |
| Escaldamento da massa.....   | 213        |
| (i) Processo com escaldamento.....                                     | 213        |
| (ii) Processo sem escaldamento.....                                    | 213        |
| Resfriamento da massa.....   | 214        |
| (i) Processo com escaldamento.....                                     | 214        |
| (ii) Processo sem escaldamento.....                                    | 215        |
| Incorporação dos ovos e do queijo à massa.....                         | 215        |

---

|  |            |
|--|------------|
| Moldagem da massa.....                                 | 216        |
| Obtenção dos pães de queijo.....                       | 216        |
| 4.2.3 Análise física da massa de pão de queijo.....    | 217        |
| 4.2.3.1 Densidade aparente.....                        | 217        |
| 4.2.4 Análises físicas do pão de queijo assado.....    | 218        |
| 4.2.4.1 Volume específico.....                         | 218        |
| 4.2.4.2 Textura.....                                   | 219        |
| 4.2.4.3 Cor.....                                       | 220        |
| 4.2.5 Análises químicas do pão de queijo assado.....   | 221        |
| 4.2.5.1 Composição centesimal.....                     | 221        |
| 4.2.5.1.1 Umidade.....                                 | 221        |
| 4.2.5.1.2 Lipídios.....                                | 222        |
| 4.2.5.1.3 Proteína bruta.....                          | 222        |
| 4.2.5.1.4 Resíduo mineral fixo.....                    | 222        |
| 4.2.5.1.5 Carboidratos.....                            | 222        |
| 4.2.6 Análise Sensorial.....                           | 223        |
| 4.2.6 Análise estatística dos resultados.....          | 224        |
| <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                     | <b>225</b> |
| 5.1 Análise da massa de pão de queijo.....             | 225        |
| 5.1.1 Perfil reológico.....                            | 225        |
| 5.1.2 Densidade aparente.....                          | 229        |
| 5.2 Análises físicas do pão de queijo assado.....      | 230        |
| 5.2.1 Volume específico.....                           | 230        |
| 5.2.2 Coeficiente de expansão.....                     | 232        |
| 5.2.3 Textura.....                                     | 233        |
| 5.2.4 Cor da crosta.....                               | 235        |
| 5.2.4.1 Luminosidade da crosta (L*).....               | 236        |
| 5.2.4.2 Saturação da crosta (C*).....                  | 237        |
| 5.2.4.3 Ângulo de tonalidade da crosta (h).....        | 238        |
| 5.2.5 Cor do miolo.....                                | 238        |
| 5.2.5.1 Luminosidade do miolo (L*).....                | 239        |
| 5.2.5.2 Saturação do miolo (C*).....                   | 240        |
| 5.2.5.3 Ângulo de tonalidade do miolo (h).....         | 240        |
| 5.3 Análises físico-químicas dos pães de queijo.....   | 240        |
| 5.3.1 Composição centesimal.....                       | 240        |
| (i) Lipídios.....                                      | 241        |
| (ii) Proteína bruta.....                               | 242        |
| (iii) Resíduo mineral fixo.....                        | 243        |
| (iv) Carboidratos.....                                 | 243        |
| (v) Umidade.....                                       | 243        |
| 5.4 Análise de preferência por comparação pareada..... | 244        |
| <b>CONCLUSÕES.....</b>                                 | <b>247</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                 | <b>249</b> |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| <b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b> | <b>253</b> |
| <b>APÊNDICE.....</b>          | <b>255</b> |
| APÊNDICE 1.....               | 257        |
| APÊNDICE 2.....               | 261        |
| APÊNDICE 3.....               | 265        |
| APÊNDICE 4.....               | 275        |



## LISTA DE FIGURAS

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1.1</b> Produção de Fécula de mandioca por estado no Brasil no ano de 2004..... | <b>15</b> |
| <b>Figura 1.2</b> Estruturas químicas da: (a) amilose e (b) amilopectina.....             | <b>16</b> |
| <b>Figura 1.3</b> Processo de gelatinização do amido.....                                 | <b>19</b> |
| <b>Figura 1.4</b> Fluxograma do processo de produção de pão de queijo.....                | <b>27</b> |
| <b>Figura 1.5</b> Estrutura química da polidextrose (Litesse®).....                       | <b>33</b> |

### CAPÍTULO 1

#### **Estudo da proporção de fécula de mandioca e polvilho azedo: Efeito nas propriedades físicas, químicas, reológicas e sensoriais do pão de queijo**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 2.1</b> Espaço da cor Hunter L*, a*, b*.....   | <b>66</b> |
| <b>Figura 2.2</b> Interpretação da curva de consistência da massa de pão de queijo. A: homogeneização da fécula/polvilho; B: escaldamento da massa; C: mistura da massa escaldada; D: adição do ovo e E: adição do queijo meia cura..... | <b>72</b> |
| <b>Figura 2.3</b> Ensaio de força de compressão no texturômetro TA-XT2 de uma amostra de pão de queijo.....  | <b>78</b> |
| <b>Figura 2.4</b> Representação do sistema de cor L* C* h.....   | <b>79</b> |
| <b>Figura 2.5</b> Distribuição do tamanho de partícula da fécula de mandioca obtida no Mastersizer.....  | <b>85</b> |
| <b>Figura 2.6</b> Distribuição granulométrica do polvilho azedo obtido por ensaios em peneiras vibratórias.....  | <b>86</b> |
| <b>Figura 2.7</b> Perfil de viscosidade obtido no RVA para: (A) fécula de mandioca; (B) polvilho azedo.....  | <b>88</b> |
| <b>Figura 2.8</b> Difratogramas de raios-X de fécula de mandioca e polvilho azedo..  | <b>91</b> |

**Figura 2.9** Micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura: (A) Fécula de mandioca (4000X); (B) Fécula de mandioca (3000X); (C) Polvilho azedo (5000X); (D) Polvilho azedo (3000X)..... **93**

**Figura 2.10** Curvas de consistência de massas de pães de queijo. (i) Form.A: 100% fécula de mandioca; (ii) Form.B: 100% polvilho azedo; (iii) Form.C: 70% fécula de mandioca / 30% polvilho azedo; (iv) Form.D: 30% fécula de mandioca / 70% polvilho azedo e (v) Form.E: 50% fécula de mandioca / 50% polvilho azedo..... **94**

**Figura 2.11** Curvas de força média de compressão de diferentes formulações de pães de queijo: (A) 100% fécula de mandioca; (B) 100% polvilho azedo; (C) 70% fécula de mandioca e 30% polvilho azedo; (D) 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; (E) 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo ..... **105**

**Figura 2.12** Histogramas das medias sensoriais obtidas no teste de aceitação de pães de queijo. A: 100% fécula de mandioca; B: 100% polvilho azedo; C: 70% fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo; D: 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; E: 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo ..... **108**

**Figura 2.13A** Pães de queijo elaborados com (i) 100% fécula de mandioca e (ii) 100% polvilho azedo..... **109**

**Figura 2.13B** Pães de queijo elaborados com (i) 70% fécula de mandioca e 30% polvilho azedo; (ii) 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo e (iii) 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo..... **109**

## CAPÍTULO 2

**Estudo do efeito do teor de polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose por metodologia de superfície de resposta na qualidade de pão de queijo com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada**

**Figura 3.1** Espaço da cor Hunter L\*, a\*, b\*..... **135**

**Figura 3.2** Representação do sistema de cor L\* C\* h..... **144**

**Figura 3.3** Distribuição do tamanho de partícula obtida no Mastersizer para: (A) isolado protéico de soja e (B) polidextrose..... **150**

**Figura 3.4** Distribuição do tamanho de partícula para a fécula de mandioca pré-gelatinizada, obtida no Mastersizer..... **152**

**Figura 3.5** Difratoograma de raios-X do isolado protéico de soja..... **153**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figura 3.6</b> Difratoograma de raios-X da polidextrose.....   | <b>153</b> |
| <b>Figura 3.7</b> Difratoograma de raios-X da fécula de mandioca pré-gelatinizada ..  | <b>154</b> |
| <b>Figura 3.8</b> Micrografias do isolado protéico de soja, obtidas no microscópio eletrônico de varredura: (A) aumento de 4000X e (B) aumento de 3000X.....                            | <b>155</b> |
| <b>Figura 3.9</b> Micrografias das partículas de polidextrose, obtidas no microscópio eletrônico de varredura: (A) aumento de 2000X e (B) aumento de 100X .....                         | <b>156</b> |
| <b>Figura 3.10</b> Micrografias das partículas de fécula de mandioca pré-gelatinizada, obtidas no microscópio eletrônico de varredura: (A) aumento de 4000X e (B) aumento de 3000X..... | <b>157</b> |
| <b>Figura 3.11</b> Valores observados versus valores previstos para o volume específico de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....                        | <b>164</b> |
| <b>Figura 3.12</b> Superfície de resposta para o volume específico dos pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: isolado protéico de soja x polvilho azedo..... | <b>164</b> |
| <b>Figura 3.13</b> Curvas de contorno para o volume específico dos pães de queijo com fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: isolado protéico de soja x polvilho azedo.....   | <b>165</b> |
| <b>Figura 3.14</b> Superfície de resposta para o volume específico dos pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: polidextrose x polvilho azedo.....             | <b>165</b> |
| <b>Figura 3.15</b> Curvas de contorno para o volume específico dos pães de queijo com fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: polidextrose x polvilho azedo.....               | <b>166</b> |
| <b>Figura 3.16</b> Superfície de resposta para o volume específico dos pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: isolado protéico de soja x polidextrose.....   | <b>166</b> |
| <b>Figura 3.17</b> Curvas de contorno para o volume específico dos pães de queijo com fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: isolado protéico de soja x polidextrose .....    | <b>167</b> |
| <b>Figura 3.18</b> Valores observados versus valores previstos para o ângulo de tonalidade do miolo (h) de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....        | <b>180</b> |

**Figura 3.19** Superfície de resposta para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: isolado proteico de soja x polvilho azedo..... **180**

**Figura 3.20** Curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: isolado protéico de soja x polvilho azedo..... **181**

**Figura 3.21** Superfície de resposta para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: polidextrose x polvilho azedo..... **181**

**Figura 3.22** Curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: polidextrose x polvilho azedo..... **182**

**Figura 3.23** Superfície de resposta para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: isolado protéico de soja x polidextrose..... **182**

**Figura 3.24** Curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: isolado protéico de soja x polidextrose..... **183**

### **CAPÍTULO 3**

#### **Caracterização física, química, reológica e sensorial de pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada**

**Figura 4.1** Interpretação da curva de consistência da massa de pão de queijo durante o processo de elaboração. A: homogeneização da fécula de mandioca/polvilho azedo; B: escaldamento da massa; C: mistura da massa escaldada; D: adição do ovo e E: adição do queijo meia cura..... **210**

**Figura 4.2** Fluxograma do processo de elaboração dos pães de queijo com e sem escaldamento..... **212**

**Figura 4.3** (A) Mistura dos ingredientes secos da formulação (FCE) antes do escaldamento; (B) formulação (FCE) após o escaldamento; (C) mistura dos ingredientes secos da formulação (FSE); (D) formulação (FSE) após a mistura dos ingredientes líquidos..... **214**

**Figura 4.4** Característica visual das massas de pão de queijo. (A) Formulação (FCE) após a adição de ovo; (B) formulação (FSE) após a adição de queijo; (C)

formulação (FCE) após a adição do ovo; (D) formulação (FSE) após a adição de queijo..... **215**

**Figura 4.5** Características visuais das massas antes do forneamento. (A) e (B) Formulação FCE; (C) e (D) Formulação FSE..... **216**

**Figura 4.6** Pães de queijo assados com isolado protéico de soja e povidexose, com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **217**

**Figura 4.7** Ensaio de força de compressão no texturômetro TA-XT2 de uma amostra de pão de queijo..... **219**

**Figura 4.8** Representação do sistema de cor  $L^* C^* h$ ..... **220**

**Figura 4.9** Curvas de consistência das massas de pão de queijo FCE e FSE obtidas em farinógrafo Brabender..... **226**

**Figura 4.10** Perfil da força de compressão obtida no texturômetro para: (A) g de pão de queijo FCE; (B) g de pão de queijo FSE..... **234**

**Figura 4.11** Características da crosta e do miolo de pão de queijo: (A) FCE; (B) FSE..... **239**



## LISTA DE TABELAS

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- Tabela 1.1** Composição química média dos lotes analisados de pão de queijo massa assada..... **12**
- Tabela 1.2** Propriedades da fécula de mandioca, polvilho doce e azedo..... **14**
- Tabela 1.3** Distribuição de massas moleculares da polidextrose obtida pelo método convencional e por ultrafiltração..... **34**

### CAPÍTULO 1

#### **Estudo da proporção de fécula de mandioca e polvilho azedo: Efeito nas propriedades físicas, químicas, reológicas e sensoriais do pão de queijo**

- Tabela 2.1** Formulação básica utilizada para a produção de pão de queijo..... **73**
- Tabela 2.2** Formulações de pão de queijo utilizadas para a análise das propriedades físico-químicas, reológicas e sensoriais..... **74**
- Tabela 2.3** Valores médios de umidade, pH e acidez titulável para fécula de mandioca e polvilho azedo..... **82**
- Tabela 2.4** Valores médios das coordenadas L\* a\* b\* para fécula de mandioca e polvilho azedo..... **83**
- Tabela 2.5** Valores médios de densidade aparente para fécula de mandioca e polvilho azedo..... **87**
- Tabela 2.6** Propriedades de pasta para fécula de mandioca e polvilho azedo.. **89**
- Tabela 2.7** Valores médios de consistência de massas de pão de queijo obtidos no farinógrafo Brabender..... **95**
- Tabela 2.8** Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>) para massas de pão de queijo elaboradas com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo..... **98**
- Tabela 2.9** Volume específico (cm<sup>3</sup>/g) para pães de queijo elaborados com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo..... **99**

**Tabela 2.10** Coeficiente de expansão (%) para pães de queijo elaborados com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo..... **100**

**Tabela 2.11** Força de compressão (N) para pães de queijo elaborados com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo..... **103**

**Tabela 2.12** Valores médios de L\* C\* h para a crosta de pães de queijo elaborados com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo.... **106**

**Tabela 2.13** Médias sensoriais dos atributos sensoriais avaliados no teste de aceitação de pães de queijo..... **107**

## **CAPÍTULO 2**

**Estudo do efeito do teor de polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose por metodologia de superfície de resposta na qualidade de pão de queijo com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada**

**Tabela 3.1** Variáveis independentes com os seus respectivos níveis, utilizados no planejamento fatorial  $2^3$ ..... **138**

**Tabela 3.2** Delineamento estatístico do tipo composto central rotacional..... **138**

**Tabela 3.3** Valores médios de umidade dos ingredientes funcionais e fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **147**

**Tabela 3.4** Valores médios de densidade aparente dos ingredientes funcionais e da fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **148**

**Tabela 3.5** Valores médios de L\* a\* e b\* do isolado protéico de soja, polidextrose e fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **149**

**Tabela 3.6** Respostas de volume ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ), textura (g) e cor (L\*, C\*, h) da crosta e do miolo dos pães de queijo, sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **158**

**Tabela 3.7** Respostas de volume ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ), textura (g) e cor (L\*, C\*, h) da crosta e do miolo dos pães de queijo, com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **158**

**Tabela 3.8** Análise dos coeficientes de regressão para o volume específico de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada com escaldamento..... **160**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Tabela 3.9</b> Análise de variância para o volume específico de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada com escaldamento.....                       | <b>161</b> |
| <b>Tabela 3.10</b> Análise dos coeficientes de regressão para o volume específico de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....                      | <b>161</b> |
| <b>Tabela 3.11</b> Análise de variância para o volume específico de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....                                       | <b>162</b> |
| <b>Tabela 3.12</b> Valores de volume específico experimental e predito pelo modelo codificado e seus desvios absolutos e relativos.....   | <b>163</b> |
| <b>Tabela 3.13</b> Análise dos coeficientes de regressão para a força de compressão de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (com escaldamento)..... | <b>170</b> |
| <b>Tabela 3.14</b> Análise de variância para a força de compressão de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (com escaldamento).....                  | <b>170</b> |
| <b>Tabela 3.15</b> Análise de coeficientes de regressão para a força de compressão de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....                     | <b>171</b> |
| <b>Tabela 3.16</b> Análise de variância para a força de compressão de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....                                     | <b>171</b> |
| <b>Tabela 3.17</b> Análise dos coeficientes de regressão para o ângulo da tonalidade do miolo (h) dos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....     | <b>177</b> |
| <b>Tabela 3.18</b> Análise de variância para o ângulo de tonalidade do miolo (h) de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....                       | <b>178</b> |
| <b>Tabela 3.19</b> Valores e desvios absolutos e relativos do ângulo de tonalidade do miolo (h) de pães de queijo.....  | <b>179</b> |
| <b>Tabela 3.20</b> Resultados sensoriais para pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....   | <b>184</b> |
| <b>Tabela 3.21</b> Resultados sensoriais para pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....   | <b>187</b> |

**CAPÍTULO 3**

**Caracterização física, química, reológica e sensorial de pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Tabela 4.1</b> Formulação de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (FCE).....   | <b>211</b> |
| <b>Tabela 4.2</b> Formulação de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (FSE).....   | <b>211</b> |
| <b>Tabela 4.3</b> Perfil reológico das massas de pão de queijo FCE e FSE obtidas no farinógrafo Brabender.....   | <b>225</b> |
| <b>Tabela 4.4</b> Valores médios de densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) para os pães de queijo FCE e FSE.....  | <b>229</b> |
| <b>Tabela 4.5</b> Valores médios de volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) para os pães de queijo FCE e FSE.....   | <b>230</b> |
| <b>Tabela 4.6</b> Valores médios de coeficiente de expansão (%) para os pães de queijo FCE e FSE.....  | <b>232</b> |
| <b>Tabela 4.7</b> Valores médios de força de compressão (g) para os pães de queijo FCE e FSE.....  | <b>233</b> |
| <b>Tabela 4.8</b> Valores médios das coordenadas $L^* C^* h$ da crosta para os pães de queijo FCE e FSE.....   | <b>236</b> |
| <b>Tabela 4.9</b> Valores médios das coordenadas $L^* C^* h$ do miolo para os pães de queijo FCE e FSE.....  | <b>238</b> |
| <b>Tabela 4.10</b> Valores médios de umidade, lipídios, proteína bruta, resíduo mineral fixo e carboidratos para pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... | <b>241</b> |
| <b>Tabela 4.11</b> Resultados da análise de preferência por comparação pareada para os pães de queijo FCE e FSE.....   | <b>244</b> |

## APÊNDICE

|   |            |
|---|------------|
| <b>Tabela A.1</b> Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a luminosidade ( $L^*$ ) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....    | <b>267</b> |
| <b>Tabela A.2</b> Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a luminosidade ( $L^*$ ) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....    | <b>267</b> |
| <b>Tabela A.3</b> Análise de variância para a luminosidade ( $L^*$ ) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....   | <b>267</b> |
| <b>Tabela A.4</b> Análise de variância para a luminosidade ( $L^*$ ) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....   | <b>268</b> |
| <b>Tabela A.5</b> Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a saturação ( $C^*$ ) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....       | <b>268</b> |
| <b>Tabela A.6</b> Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a saturação ( $C^*$ ) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....       | <b>268</b> |
| <b>Tabela A.7</b> Análise de variância para a saturação ( $C^*$ ) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....  | <b>269</b> |
| <b>Tabela A.8</b> Análise de variância para a saturação ( $C^*$ ) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....  | <b>269</b> |
| <b>Tabela A.9</b> Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para o ângulo de tonalidade (h) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....  | <b>269</b> |
| <b>Tabela A.10</b> Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para o ângulo de tonalidade (h) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... | <b>270</b> |
| <b>Tabela A.11</b> Análise de variância para o ângulo de tonalidade (h) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....  | <b>270</b> |
| <b>Tabela A.12</b> Análise de variância para o ângulo de tonalidade (h) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.....  | <b>270</b> |

**Tabela A.13** Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a luminosidade ( $L^*$ ) do miolo de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **271**

**Tabela A.14** Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a luminosidade ( $L^*$ ) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **271**

**Tabela A.15** Análise de variância para a luminosidade ( $L^*$ ) do miolo de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **271**

**Tabela A.16** Análise de variância para a luminosidade ( $L^*$ ) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **272**

**Tabela A.17** Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a saturação ( $C^*$ ) do miolo de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **272**

**Tabela A.18** Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a saturação ( $C^*$ ) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **272**

**Tabela A.19** Análise de variância para a saturação ( $C^*$ ) do miolo de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **273**

**Tabela A.20** Análise de variância para a saturação ( $C^*$ ) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **273**

**Tabela A.21** Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para o ângulo de tonalidade (h) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **273**

**Tabela A.22** Análise de variância para o ângulo de tonalidade (h) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada..... **273**

## **RESUMO GERAL**

O pão de queijo, um produto tipicamente brasileiro, é considerado um produto de panificação que não contém glúten, pois em sua formulação não é utilizada farinha de trigo e sim fécula nativa de mandioca ou fécula de mandioca fermentada naturalmente e/ou modificada. Devido ao seu alto teor de carboidratos, possui grande aceitabilidade e pode ser utilizado por pessoas portadoras de doença celíaca.

O alto consumo deste produto no Brasil e a procura crescente dos consumidores por produtos alimentícios não somente nutritivos e saborosos, mas que também tragam benefício à saúde, estimula o estudo da incorporação de ingredientes nutricionais e funcionais à massa de pão de queijo que não afetem suas propriedades reológicas, físicas e sensoriais.

O objetivo deste trabalho, portanto, foi avaliar o efeito da incorporação de componentes nutricionais e funcionais, como o isolado protéico de soja e a polidextrose, na qualidade da massa e do pão de queijo assado, com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, visando determinar quais dos teores adicionados de cada um destes ingredientes conferem as melhores características físicas e sensoriais ao pão de queijo.

Para atingir este objetivo, o trabalho foi dividido em três etapas: (i) avaliação do teor adequado de fécula de mandioca e polvilho azedo adicionado à formulação de pão de queijo, através da determinação de suas propriedades físicas, reológicas e sensoriais; (ii) análise do efeito combinado dos ingredientes nutricionais e funcionais incorporados à massa de pão de queijo com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo, com e sem a etapa de escaldamento, nas suas propriedades reológicas, físicas e sensoriais, utilizando a metodologia de superfície de resposta; (iii) caracterização física, química, reológica e sensorial das formulações de pão de queijo, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, escolhidas no item anterior.

Na primeira etapa do trabalho, massas elaboradas com teores de 70% e 100% de fécula de mandioca apresentaram maiores consistências em U.F. em

relação às massas elaboradas com altos teores de polvilho azedo, durante o processo de mistura simulado no farinógrafo Brabender.

Os pães de queijo elaborados com altos teores de polvilho azedo apresentam coeficientes de expansão de até 80,00%, sendo que os pães elaborados com fécula de mandioca apresentaram valor máximo de expansão de 66,67%.

Devido a este poder de expansão apresentado pelos pães de queijo elaborados com polvilho azedo, a força de compressão (textura dos pães) obtida foi de 7,85% a 28,40% menor à reportada para pães de queijo elaborados com fécula de mandioca.

Sensorialmente, os pães de queijo elaborados com altos teores de fécula de mandioca apresentaram as maiores médias em relação aos atributos de aceitação geral, textura, cor e sabor em comparação com os pães de queijo com altos teores de polvilho azedo, que segundo os provadores lembra o biscoito de polvilho.

Na segunda etapa do trabalho, foi possível a determinação de um modelo matemático para o volume específico dos pães de queijo elaborados com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, e para o ângulo de tonalidade do miolo (h) de pães de queijo elaborados sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, explicando a interação que existe entre as variáveis (fécula de mandioca, polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose).

O modelo matemático do volume mostra que a utilização de teores entre 79,76% e 100% de polvilho azedo, 5,50% de isolado protéico de soja e teores abaixo de 1,03% de polidextrose confere grandes volumes ao pão de queijo, assim como teores de 0,00% de polvilho azedo, 5,50% de isolado protéico de soja e teores de polidextrose acima de 5,07%.

Para o ângulo de tonalidade (h), o modelo matemático determinou que a utilização dos valores extremos, teores mínimo e máximo, de polvilho azedo (0,00% e 100,00%) com teores de 0,00% a 9,00% de isolado protéico de soja e teores médios de polidextrose (2,21%) na formulação de pão de queijo, conferiu altos ângulos de tonalidade do miolo.

Os parâmetros de textura, luminosidade e saturação da cor da crosta e do miolo dos pães de queijo, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, não apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), sendo que a elaboração de pães de queijo utilizando concentrações na faixa estudada não produz alterações na qualidade do produto.

Na última etapa do trabalho, duas formulações de pão de queijo, selecionadas na 2ª etapa considerando os escores sensoriais de aparência geral, textura, aroma e sabor, foram caracterizadas física, química, reológica e sensorialmente, sendo que as duas formulações apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) no perfil reológico da massa, no volume, textura e cor dos pães de queijo assados, mas sensorialmente foram igualmente aceitas pelos consumidores, quanto à aparência geral, cor do miolo, textura, aroma e sabor.

**Palavras-chave: Fécula de mandioca, Polvilho azedo, Pão de queijo, Isolado protéico de soja e Polidextrose.**



## **ABSTRACT**

“Pao de queijo” (cheese bread), a typically Brazilian product, is considered a gluten-free bakery product, as its formulation does not contain wheat flour but native cassava starch, naturally fermented and/or modified. Due to its high content of carbohydrates, it has great acceptance and can be consumed by individuals who suffer from celiac disease.

The high consumption of this product in Brazil and the growing demand, by consumers, of food products that are not only nutritious and tasty, but also bring health benefits, stimulates the study of the incorporation of nutritional and functional ingredients to cheese bread doughs, which do not affect its rheological, physical and sensorial properties.

The objective of this study, therefore, was to evaluate the effect of the incorporation of the nutritional and functional components, such as soy protein isolate and the polydextrose, on the quality of cheese bread dough and of baked cheese bread, with or without the addition of pre-gelatinized cassava starch, with the objective of determining the contents of each of these ingredients that confer the best physical and sensorial characteristics to cheese bread.

In order to achieve this objective, the study was divided in three phases: (i) evaluation of the appropriate content of cassava starch and sour cassava starch added to the formulation, by determining physical, rheological and sensorial properties; (ii) analysis of the combined effect of functional and nutritional ingredients incorporated to the cheese bread dough with different contents of cassava starch and sour cassava starch, with and without the scalding process, on rheological, physical and sensorial properties, using the response surface methodology; (iii) physical, chemical and rheological characterization of the cheese bread formulations, with or without the addition of pre-gelatinized cassava starch, chosen in the previous stage/step.

In the first phase of the study, doughs elaborated with 70% and 100% of cassava starch presented greater consistency profiles when compared to high

contents of sour cassava starch, during the mixing process simulated in the Brabender farinograph.

The cheese breads elaborated with high contents of sour cassava starch presented expansion coefficients of up to 80.00%, while the cheese breads elaborated with cassava starch presented a maximum value of expansion of 66.67%.

Due to this power of expansion presented by the cheese breads elaborated with sour cassava starch, the force of compression (texture of breads) obtained was 7.85% to 28.40% lower than that of those reported for cheese breads elaborated with cassava starch.

Sensorially, the cheese breads produced with high contents of cassava starch presented the highest scores with respect to the attributes general acceptance, texture, color and flavor, in comparison to the cheese breads with high contents of sour cassava starch, which according to the panelists resembled the sour cassava starch biscuits (“biscoito de polvilho”).

In the second phase of the study, it was possible to determine a mathematical model for the specific volume of cheese breads elaborated with the addition of pre-gelatinized cassava starch, and for the shade angle (h) of cheese breads elaborated without the addition of pre-gelatinized cassava starch, explaining the interaction between the variables (cassava starch, sour cassava starch, soy protein isolate and polydextrose).

The mathematical model showed that the use of contents between 79.76% and 100% of sour cassava starch, 5.50 % of soy protein isolate and contents below 1.03% of polydextrose confers great volumes to cheese bread, as well as contents of 0.00% of sour cassava starch, 5.50% of soy protein isolate and contents of polydextrose above 5.07%.

For the shade angle (h), the mathematical model determined that the use of extreme values, minimum and maximum contents, of sour cassava starch (0.00% and 100.0%) with contents of 0.00% to 9.00% of soy protein isolate and intermediate contents of polydextrose (2.21%) in the formulation of cheese bread conferred high shade angles to the crumb.

The parameters of texture, luminescence ( $L^*$ ) and color saturation ( $C^*$ ) of the crust and crumb of the cheese breads, with and without the addition of pre-gelatinized cassava starch, did not present significant difference ( $p \leq 0.05$ ), indicating that the elaboration of cheese breads using the concentrations in the range studied for the different variables does not produce alterations in the quality of the product.

In the last phase of the study, two formulations of cheese bread, selected in the second phase considering the sensorial scores of general appearance, aroma and flavor, were characterized physically, sensorially, rheologically and chemically.

These two formulations presented significant differences ( $p \leq 0.05$ ) in the rheological profile of the dough, specific volume, texture and color of the baked cheese breads, but were equally accepted by consumers, as to general appearance, color of the crumb, texture, aroma and flavor.

**Keywords: Cassava starch, Sour cassava starch, Cheese bread, Soy protein isolate and Polydextrose.**



## **INTRODUÇÃO GERAL**

A origem do pão de queijo ainda não foi bem elucidada, acreditando-se que esse produto tenha surgido nas cozinhas das fazendas mineiras há mais de duzentos anos, de onde se disseminou por todo o país (PEREIRA, 1998), ou nos antigos casarões, onde os escravos faziam biscoito de polvilho, cuja formulação era desprovida de queijo; entretanto, acredita-se que, acrescentando-o à formulação chegou-se ao pão de queijo (MACHADO, 2001).

Outros historiadores, no entanto, acreditam que este produto surgiu no noroeste de Minas Gerais em consequência da criatividade de escravos de origem angolana no aproveitamento das sobras de ingredientes da cozinha colonial (JESUS, 1997). Adicionalmente, o Triângulo Mineiro também já foi apontado como berço do pão de queijo (RIBAS, 1997 citado por JESUS, 1997).

O pão de queijo é considerado um produto de panificação que não contém glúten, pois em sua formulação não é utilizada farinha de trigo, e sim, fécula nativa de mandioca, fermentada naturalmente e/ou modificada (PEREIRA et al., 1995).

Devido ao seu alto teor de carboidratos, possui grande aceitabilidade e pode ser utilizado por pessoas portadoras de doença celíaca, a qual consiste numa intolerância permanente à gliadina e a outras proteínas afins, contidas na dieta alimentar à base de trigo, aveia, cevada, centeio e triticale (PEREIRA, 2001; PIZZINATTO & ORMENESE, 2002). O consumo destes alimentos produz uma má absorção intestinal de vitaminas e minerais, levando a sérias consequências, como artrites, emagrecimento, redução no crescimento, osteopenia e diarreia crônica (JARMO et al., 1995, e POLANCO et al., 1995, citados por PEREIRA, 2002).

A ausência na legislação Brasileira, de padrões de qualidade e a não existência de tecnologia padronizada para a elaboração de pão de queijo contribuiu para o aparecimento de muitas receitas com diferentes ingredientes (MACHADO, 2003). Apesar desta variabilidade, o método de fabricação adotado pela grande maioria dos produtores utiliza como matérias-primas básicas a

fécua de mandioca, queijo, óleo e ovos, seguindo um princípio básico de escaldamento da fécula com água, óleo ou leite, amassamento com ovos, adição de queijo e assamento. O produto é comercializado cru e congelado ou assado em formatos que variam de fabricante para fabricante, diferindo na qualidade, aparência e composição centesimal (JESUS, 1997).

A composição centesimal determinada por Jesus (1997) para a massa assada de pão de queijo, comercializada em Belo Horizonte, mostrou que estes produtos apresentam 30,2% de umidade, 16,3% de lipídios 10,3% de proteínas, 2,3% de cinzas e 40,4% de carboidratos. Adicionalmente, esse produto apresenta um elevado valor calórico, sendo que cada unidade assada, com aproximadamente 24 g, fornece em média 85 kcal, valor considerado expressivo quando comparado com outros alimentos (CLARETO, 2000).

Como as matérias-primas utilizadas não são fontes de fibras, já que o polvilho, que é seu principal componente, apresenta teores entre 0,1 e 0,3% de fibras, e o resto dos ingredientes: queijo, ovos, leite, água e sal, são isentos, a incorporação de polidextrose no pão de queijo irá promover uma melhora, tanto no seu aspecto nutricional e nas suas propriedades físicas: textura, cor e volume (ESTELLER et al., 2005), como na produção no organismo de efeitos benéficos à saúde. A polidextrose é fermentada no intestino grosso, aumenta o volume da massa fecal e reduz o tempo de trânsito, assim como o a produção de ácidos graxos de cadeia curta e a supressão da produção de metabólitos carcinogênicos estão relacionados ao fato dela ser fermentada (ZHONG, 2000).

A incorporação de isolado protéico de soja no pão de queijo, além de conferir propriedades nutricionais e funcionais (MARTINS & NETO, 2006) melhorará a capacidade de hidratação e estabilidade coloidal, e funcionará como agente de corpo, melhorando a maciez do produto final.

O objetivo deste trabalho foi realizar a avaliação destes componentes nutricionais e funcionais na qualidade da massa, assim como do produto final após o forneamento dos pães de queijo, com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, visando determinar qual dos teores adicionados de cada um destes ingredientes confere as melhores características reológicas, físicas e sensoriais ao pão de queijo.

Este trabalho será apresentado na forma de Capítulos, conforme descritos a seguir:

**Revisão Bibliográfica.** Apresenta uma revisão sobre a história, consumo e composição centesimal do pão de queijo, os tipos e as propriedades físicas, químicas e morfológicas da fécula e polvilhos utilizados, ingredientes funcionais (isolado protéico de soja e polidextrose) e o processo de elaboração do pão de queijo.

**Capítulo 1. Estudo da proporção de fécula de mandioca e polvilho azedo: Efeito nas propriedades físicas, químicas, reológicas e sensoriais do pão de queijo.** Neste capítulo, foi apresentado o estudo de caracterização físico-química e morfológica da fécula de mandioca e o polvilho azedo, assim como o estudo do efeito da incorporação de diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo na densidade aparente, volume, coeficiente de expansão, força de compressão, cor e análise afetiva da aceitação de pães de queijo com escaldamento.

**Capítulo 2. Estudo do efeito do teor de polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose por Metodologia de Superfície de Resposta na qualidade de pão de queijo com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.** Neste capítulo, foi apresentada a caracterização físico-química e morfológica do isolado protéico de soja, da polidextrose e da fécula de mandioca pré-gelatinizada, e o estudo utilizando Metodologia de Superfície de

Resposta para avaliar o efeito das variáveis: (i) teor de polvilho azedo; (ii) teor de isolado protéico de soja e (iii) teor de povidexose, nas propriedades (volume, textura e cor) de pães de queijo com e sem a etapa de escaldamento, assim como a análise afetiva de aceitação da aparência geral, aroma, cor do miolo, textura e sabor destes produtos.

**Capítulo 3. Caracterização física, química, reológica e sensorial de pães de queijo com isolado protéico de soja e povidexose.** Neste capítulo, foi realizada a composição centesimal de pães de queijo com isolado protéico de soja e povidexose, com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada e a análise sensorial de preferência por comparação pareada das formulações definidas no Capítulo 2.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLARETO, S.S. **Influência da formulação e da adição de substitutos de gordura na qualidade de pão de queijo.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

ESTELLER, M.S.; DE LIMA, A.C.O.; LANNES, S.C. da S. **Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers.** Lebensm.-Wiss U. Technology, no prelo. 2005.

JARMO, K.; VISAKORPI, I.; MAKI, M. **Variaciones en las características clínicas de la enfermedad celíaca.** Alimentaria, Madri, v.33, n.264, p. 93-96. 1995. In. PEREIRA, G.I.S. Avaliação química e sensorial de pão de queijo enriquecido com folha de cenoura. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, 2002

JESUS, C.C. de. **Contribuição para a caracterização físico-química e sensorial do pão de queijo.** (Dissertação – Mestrado em Ciência de Alimentos), Faculdade de Farmácia, Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

MACHADO, A.V. **Efeito do escaldameto nas propriedades tecnológicas da massa e do pão de queijo.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Lavras, 2003.

MACHADO, E.C. **Monitoramento de perigos e pontos críticos de controle e estimativa de riscos em uma indústria mineria de pão de queijo.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)- Universidade Federal de Lavras, 2001.

MARTINS, V.B.; NETTO, F.M. **Physicochemical and functional properties of soy protein isolate as a function of water activity and storage.** Food Research International, v.39, p. 145-153. 2006.

PEREIRA, J. **Caracterização química, física, estrutural e sensorial do pão de queijo.** Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras. 2001.

PEREIRA, A.J.G.; JESUS, C.C. de; LABODSIERE, L.H.E.S. **Caracterização físico-químico, microbiológica e sensorial do pão de queijo.** In. SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIENCIA DE ALIMENTOS. 1995. Campinas. **Resumos....** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1995. p.63.

PEREIRA, A.J.G. **Fatores que afetam a qualidade do pão de queijo.** Belo Horizonte: CETEC, 1998. 52p.

PIZZINATTO, A; ORMENESE, R.C.S.C. **Seminário pão de queijo. INGREDIENTES, FORMULAÇÃO E PROCESSO.** Campinas. Governo do Estado de São Paulo/Secretaria de Agricultura e Abastecimento/Agencia Paulista de Tecnologia dos Agronegócios/Instituto de Tecnologia de Alimentos/Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolate, 2000. p 87-101.

POLANCO, I.; MOLINA, M.; PIETRO, G.; CARRACO, S.; LAMA, R. **Dieta y enfermedad celíaca.** Alimentaria, Madri, v.33, n.264, p. 91-93. 1995. In. PEREIRA, G.I.S. Avaliação química e sensorial de pão de queijo enriquecido com folha de cenoura. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, 2002

RIBAS, S. **Marcas de Minas**. *Gazeta Mercantil*, Belo Horizonte, 30 out. 1997. In. JESUS, C.C. de. **Contribuição para a caracterização físico-química e sensorial do pão de queijo**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Faculdade de Farmácia, Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

ZHONG, J; LUO, B-y.; XIANG, M-j.; LIU, H-w.; ZHAI, Z-k.; WANG, Ts.; STUART, A.C. **Estudo sobre os efeitos da ingestão de polidextrose sobre as funções fisiológicas em chineses**. *American Journal Clinical Nutrition*, v.72, p. 1503-1509. 2000.



## ***Revisão Bibliográfica***

---



## **1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 O pão de queijo**

A origem do pão de queijo ainda não foi bem elucidada, acreditando-se que esse produto tenha surgido nas cozinhas das fazendas mineiras há mais de duzentos anos, de onde se disseminou por todo o país (PEREIRA, 1998), ou nos antigos casarões, onde os escravos faziam biscoito de polvilho, cuja formulação era desprovida de queijo; entretanto, acredita-se que, acrescentando-o à formulação, chegou-se ao pão de queijo (MACHADO, 2001).

O método de fabricação adotado pela grande maioria dos produtores de pão de queijo utiliza como ingredientes básicos: fécula de mandioca, polvilho azedo (com grande volume de produção nos Estados de Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná e São Paulo) ou doce; queijo minas curado ou meia cura; óleo de soja, margarina ou gordura hidrogenada (que tem a capacidade de conferir maior plasticidade à massa, ou seja, aumentar a facilidade para ser trabalhada); leite integral; sal e ovo líquido ou desidratado. É utilizado o princípio básico de escaldamento do polvilho com água ou leite, óleo e sal, seguido da adição dos ovos e o queijo, até obter uma massa com textura desejada. O produto pode ser comercializado pronto ou como massa crua e congelada, em formatos que variam para cada fabricante, diferindo na qualidade, aparência, volume, sabor, vida-de-prateleira e valor comercial (JESUS, 1997).

Nas formulações descritas por Pirozi (1998), o polvilho a ser utilizado para a elaboração do pão de queijo deve ser uma mistura de fécula, polvilho doce ou azedo. A proporção de polvilho doce ou fécula de mandioca em relação ao polvilho azedo é maior, já que foram utilizados aproximadamente de 60-80% de polvilho doce e de 20-40% de polvilho azedo. A proporção de matéria graxa (margarina) utilizada nas formulações foi de 35% em relação ao peso do polvilho.

Vários consumidores preferem a adição de água no lugar de leite integral na formulação do pão de queijo, mas o produto final obtido apresenta variações quanto a suas características de textura e sabor.

Jesus (1997), em seu estudo sobre a caracterização de pão de queijo, avaliou três lotes distintos de três marcas do produto, comumente encontradas nos grandes supermercados de Belo Horizonte, sendo as amostras coletadas aleatoriamente. Os resultados, reproduzidos na Tabela 1.1, indicam a existência de variabilidade entre as marcas analisadas. A composição centesimal média encontrada foi a seguinte: 31% de umidade, 13% de proteínas, 21% de lipídios, 4% de cinzas, 30% de carboidratos e 1% de fibra.

Para cada marca, foi realizada uma comparação entre a composição química centesimal analisada e a composição declarada pelo fabricante na embalagem. Em todas as marcas, verificou-se que existe uma grande diferença entre os valores declarados e os analisados. Em alguns parâmetros, como por exemplo, o teor de proteína, o valor declarado pelo produtor chega a ser 62% menor que o determinado, subestimando o valor nutricional do produto.

**Tabela 1.1 Composição química média dos lotes analisados de pão de queijo massa assada.**

| Parâmetros analisados         | Marca<br>A | Marca<br>B | Marca<br>C |
|-------------------------------|------------|------------|------------|
| Umidade (%)                   | 30,58      | 31,35      | 30,09      |
| Proteínas* (%)                | 14,91      | 12,72      | 10,64      |
| Lipídios* (%)                 | 24,27      | 19,42      | 19,97      |
| Cinzas* (%)                   | 4,28       | 3,65       | 3,89       |
| Carboidratos* (%)             | 56,54      | 64,21      | 65,50      |
| Valor calórico<br>(kcal/100g) | 504,23     | 482,50     | 484,29     |

\*

Cálculo em base seca. O teor de carboidratos calculado foi calculado por diferença.

Fonte: Jesus (1997)

## 1.2 Ingredientes

### 1.2.1 Fécula de mandioca, polvilho doce e azedo

#### 1.2.1.1 Aspectos gerais

Segundo a Resolução 12/78, da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos – ABIA, **amido** é o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais (sementes, etc.), **fécula** é o produto amiláceo extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais (tubérculos, raízes e rizomas) e **polvilho ou fécula de mandioca** é o produto extraído da mandioca (*Manihot utilíssima*).

O teor de fécula nas raízes de mandioca pode variar de concentrações que vão de 13 a 37%, dependendo da variedade de raiz, idade do plantio, estação do ano e condições de clima e solo. A mandioca desenvolve seu ciclo vegetativo no verão, acumulando fécula nas raízes que alcança maiores quantidades no inverno. Dessa forma, o período compreendido de abril a setembro é a melhor época para extração da fécula. Nesse período, os valores de fécula extratíveis ficam entre 22 e 27% (ARIAS, 2000).

A fécula extraída da mandioca pode ser classificada de acordo com o grau de fermentação em:

- a. Fécula de mandioca;
- b. Polvilho doce;
- c. Polvilho azedo

A classificação do polvilho como doce e azedo, tem por base apenas o teor de acidez, que para o produto fermentado (polvilho azedo) pode chegar a 5 mL de NaOH/100g.

Tabela 1.2 Propriedades da fécula de mandioca, polvilho doce e azedo.

| Produto         | Umidade (%)<br>máxima | Acidez (mL NaOH/100)<br>máxima | Amido (g/100g)<br>mínimo | Resíduo mineral fixo (%) |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Polvilho doce   | 14,0                  | 1,0                            | 80                       | 0,50                     |
| Polvilho azedo  | 14,0                  | 5,0                            | 80                       | 0,50                     |
| Fécula mandioca | 14,0                  | <0,5                           | 80                       | 0,50                     |

Fonte: ABIA (1996).

O polvilho é um produto regional de grande produção, desde 1978, nos estados de Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, onde é elaborado por um grande número de pequenas indústrias rurais. Vilpoux (1997), baseando-se em dados recolhidos no final de 1996 em entrevistas com 26 empresários e entidades de pesquisa e extensão nas diferentes regiões de produção, observou que a produção brasileira de polvilho azedo apresentou um grande crescimento nesses últimos anos, principalmente devido ao aumento da comercialização e consumo de pão de queijo.

Com o desenvolvimento das tecnologias de extração do polvilho, algumas indústrias passaram a obter um produto de altíssima pureza, em equipamentos sofisticados, e o comercializam com o nome de fécula. Além da pureza, sua principal diferença em relação aos polvilhos deve-se provavelmente à utilização de equipamentos secadores que secam instantaneamente o produto, evitando ao máximo a fermentação. Por isso, a fécula tem baixíssima acidez (Tabela 1.2), e se apresenta como um pó finíssimo e muito branco (PIROZI & CANAVESI, 1998).

O mercado de fécula de mandioca movimentou a cifra de R\$ 573,3 milhões em 2004, quando o parque industrial brasileiro atingiu a produção de 395,4 mil toneladas, apesar das condições adversas, como a falta de matéria-prima e de preços médios altos, na maior parte do ano. O principal produtor de fécula de mandioca continua sendo o Estado do Paraná, que representou 66,9% do total produzido no ano passado, seguido pelo Estado do Mato Grosso do Sul

(23,2%); de São Paulo (7,3%); de Santa Catarina (2%); e de outros Estados - Minas Gerais e Ceará, que responderam por 0,6% do total produzido (Figura 1.1).



**Figura 1.1 Produção de Fécula de mandioca por estado no Brasil no ano de 2004.**

### 1.2.1.2 Composição química da fécula de mandioca

A fécula de mandioca é constituída principalmente por dois homopolímeros: amilose, que é um polímero essencialmente linear, com unidades de glicopirranose unidas entre si por meio de ligações glicosídicas  $\alpha$ -D-(1-4); amilopectina, um polímero altamente ramificado, com pequenas cadeias de amilose ligadas à hidroxila do C-6 por meio de ligações  $\alpha$ -D-(1-6) (CIACCO & CRUZ, 1982). As estruturas químicas destes constituintes são apresentadas na Figura 1.2.

Franco et al. (2001) mostram que o conteúdo total de amilose em fécula de mandioca pode variar de 8,5% a 25,4%, no entanto, segundo Hoover (2001), estes valores ficam na faixa de 18,6 a 23,6%.

A massa molecular da amilose reportada para a fécula de mandioca varia de 232.000 – 1.250.000 Da. Para a amilopectina, a massa molecular é de  $450 \times 10^6$  Da (SUSUKI et al., 1985 citado por MOORTHY 2002; BANKS et al., 1972).

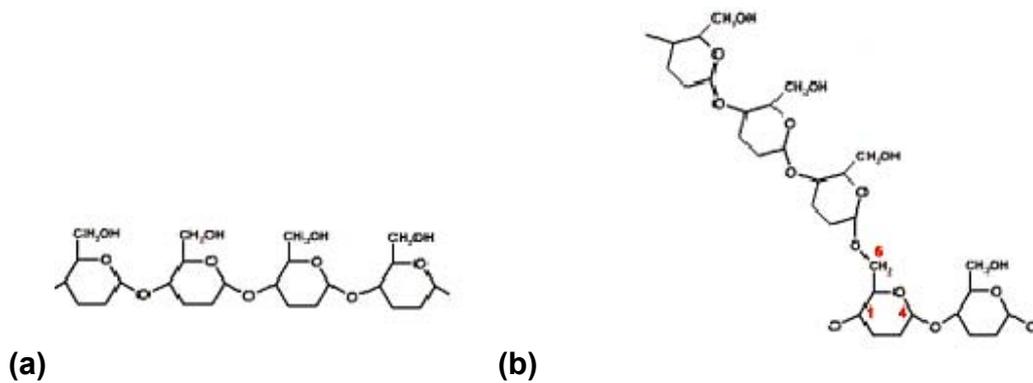


Figura 1.2 Estruturas químicas da: (a) amilose e (b) amilopectina.

### 1.2.1.3 Transformações ocorridas no polvilho azedo durante o processo de fermentação

A fécula de mandioca pode ser submetida à fermentação durante um período de 30 a 40 dias para a obtenção do polvilho azedo (GOMES et al., 2005).

Após a fermentação, o polvilho é submetido ao processo de secagem, o qual pode ser realizado naturalmente ao sol, tornando-o dependente das condições climáticas. A fermentação e secagem ao sol influenciam de forma significativa as propriedades físico-químicas e organolépticas do polvilho azedo (GOMES et al., 2005).

Devido à fermentação sofrida pelo polvilho azedo, aumenta-se o conteúdo de proteína, as propriedades de pasta e a solubilidade, e o poder de inchamento vê-se fortemente alterado (BERTOLINI et al., 2001). Adicionalmente, existe um aumento do teor de amido danificado, gerando alterações desejáveis no processo de obtenção de produtos de panificação como os biscoitos e pão de queijo.

Cereda (1973), citado por Machado (2003), comprovou que, durante a fermentação da fécula de mandioca, os grânulos de amido são degradados por amilases originadas por *Bacillus sp*, principalmente de *Bacillus subtilis*, cuja produção de enzimas amilolíticas é bastante conhecida. O efeito dessas amilases pode ser observado no aspecto alterado da superfície dos grânulos de amido após a fermentação, com pontuações e rugosidade características. Os grânulos de amido fermentado apresentaram, sob luz polarizada, perda parcial da birrefringência e tendência marcante para formar agregados.

A carga láctica microbiana aumenta durante os primeiros 5 dias de fermentação, enquanto que a produção de ácido láctico continua por 20 dias. Ao final do período de fermentação, a carga microbiana láctica e total se mantém relativamente baixas (abaixo de  $10^9$  CFU  $g^{-1}$ ) e o conteúdo de ácido láctico é próximo a 10 g/kg (BRABET, 1994, citado por DEMIATE, 2000). Durante a secagem, o decréscimo do ácido láctico pode ser observado preferencialmente quando é realizado ao sol ou sob luz ultravioleta (MESTRES, 1997).

Bertolini et al. (2001) mostraram que a fécula de mandioca com acidificação láctica exposta à irradiação UV, com uma lâmpada de vapor de mercúrio de banda larga de 250-600 nm, produziu uma capacidade de expansão considerável.

Vatanasuchart et al. (2005) determinaram que a combinação de acidificação láctica e suficiente energia UV resulta na despolimerização parcial das moléculas de fécula de mandioca.

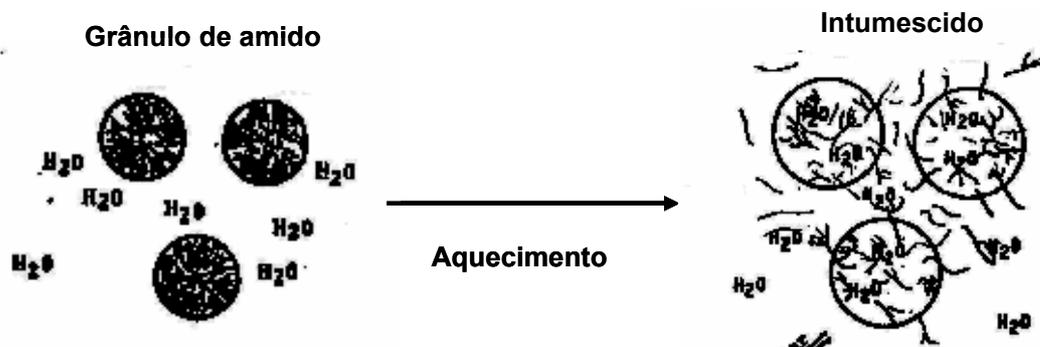
Mestres & Rouau (1997) definiram que durante a fermentação da fécula de mandioca, o pH decresce enquanto os ácidos orgânicos são liberados, apesar do ácido láctico e os outros ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico, fórmico, succínico) estarem presentes em concentrações que atingem aproximadamente 1% do produto final, proporcionando certas características de sabor, textura e volume aos produtos como o *pan de yuca* (produto de origem colombiana) e o pão de queijo (CÁRDENAS & BUCKLE, 1980).

A hidrólise parcial ácida e enzimática da fécula de mandioca (CAMARGO, COLONNA & BULEON, 1988; CÁRDENAS & BUCKLE, 1980; FRANCO & TAVARES, 1998), assim como a presença de alguns exopolissacarídeos bacterianos produzidos durante a fermentação (BRABET & DUFOUR, 1993; BRABET, 1994, citado por DEMIATE, 2000), têm sido considerados como os responsáveis pelo comportamento da expansão durante o cozimento.

A expansão durante o cozimento é causada pelo excesso de pressão nas células de gás, resultando num equilíbrio entre o aumento de pressão nas bolhas e a permeabilidade ao gás das paredes das bolhas, quando as propriedades reológicas mudam (BERTOLINI et al., 2001).

#### **1.2.1.4 Viscosidade da fécula de mandioca**

Quando uma suspensão de fécula ou amido é aquecida, ocorre uma série de mudanças irreversíveis dentro dos grânulos e, quando atinge uma temperatura crítica, conhecida como temperatura de pasta, o grânulo começa a inchar, aumentando a sua viscosidade (LEACH, 1965; FRENCH, 1975). As frações de amilose e amilopectina comportam-se de maneira diferente, tanto com relação às propriedades reológicas, como às viscoelásticas. Quando a amilose é liberada em solução, as pontes de hidrogênio são raramente formadas para a produção de um gel rígido e opaco. A fração de amilopectina, devido a sua estrutura ramificada, tem uma limitada habilidade em relação à formação de pontes de hidrogênio, o que mantém seu gel claro e fluido (BAHNASSEY & BREENE, 1994).



**Figura 1.3 Processo de gelatinização do amido.**

Franco et al. (2001) determinou que o poder de inchamento fornece evidência da união não-covalente entre as moléculas de fécula ou amido.

Fatores como o grau de amilose-amilopectina, comprimento da cadeia, distribuição da massa molecular, grau/comprimento da ramificação e a sua conformação determinam o grau de inchamento e a solubilidade. O poder de inchamento em fécula de mandioca encontrado variou consideravelmente entre 42 e 71 g/g de acordo com vários informes. O volume de inchamento para diferentes variedades de mandioca variou entre 25,5 e 41,8 mL/g.

Grânulos de amido e féculas nativas são insolúveis em água fria devido à força das pontes de hidrogênio que mantém unidos os polímeros do amido ou fécula. No entanto, como mencionado anteriormente, quando uma suspensão aquosa de amido ou fécula é aquecida em água, ocorre uma série de mudanças, já que os grânulos começam a inchar quando existe suficiente energia presente para enfraquecer as forças das pontes de hidrogênio das moléculas de amido ou fécula, e quando atinge a temperatura de pasta, o grânulo começa a inchar-se aumentando sua viscosidade (BAHNASSEY & BREENE, 1994).

A faixa de temperatura de pasta é diferente para cada fonte de amido ou fécula, e pode ser determinada por diferentes métodos: (i) Viscoamiloógrafo Brabender ou (ii) RVA (*Rapid Visco Analyser*).

Rosenthal et al. (1994) e Pacheco (1952), citados por Machado (2003), obtiveram valores de temperatura de pasta para fécula de mandioca entre 58°C a 62°C e 59,8°C a 60°C, respectivamente, observando a facilidade de cozimento a baixas temperaturas apresentadas por estas féculas. Após resfriamento, as féculas de mandioca exibiram pouca elevação de viscosidade.

Biliaderis et al. (1990) sugeriram que maiores temperaturas de transição indicam maiores regiões amorfas estavéis e menor grau de ramificação na cadeia.

Rivera (1997), citado por Machado (2003), constatou que valores baixos de temperatura inicial de gelatinização do polvilho fermentado podem significar que o grânulo de amido sofreu modificações na sua estrutura que o enfraqueceram, permitindo hidratação e ruptura do grânulo em temperaturas menores. Ainda em seu experimento, ele verificou que a fermentação afeta a estrutura do grânulo de fécula, o qual inicia o processo de hidratação em temperaturas mais baixas quando comparado ao material não-fermentado.

A entalpia de gelatinização depende de vários fatores, como a cristalinidade, enlace intermolecular, etc. Para a fécula de mandioca, os valores situam-se entre 4,8 e 16 J/g. Estes valores são influenciados pelas condições genéticas e do meio ambiente. Segundo o trabalho de Sriroth et al. (1991), o tratamento com SO<sub>2</sub> provocou um aumento na entalpia de gelatinização para a fécula de mandioca, resultando em valores entre 18,1 e 19,1 J/g.

#### **1.2.1.5 Cristalinidade da fécula de mandioca**

Grânulos de amido apresentam estruturas cristalinas que proporcionam padrões específicos de difração de raios-X, sendo classificados como dos tipos A, B ou C. A forma polimórfica do tipo C é considerada uma mistura das do tipo A e do tipo B.

O tipo C pode ainda ser classificado como C<sub>a</sub>, C<sub>b</sub> e C<sub>c</sub>, de acordo com sua proximidade com as estruturas típicas do tipo A ou B (FRANCO et al., 2001).

Segundo Biliaderis (1991), citado por Franco et al. (2001), o padrão A é característico do amido de cereais, e o padrão B, da fécula de tubérculos, de frutas, de milho com alto teor de amilose e dos amidos retrogradados. O padrão C é característico do amido de leguminosas. Os padrões de cristalinidade são definidos com base nos espaços interplanares e intensidade relativa das linhas de difração de raios-X.

Segundo Mestres (1996), os grânulos de amido apresentam as seguintes características de cristalinidade quanto ao tipo:

**Tipo A:** apresentam maiores picos de intensidade de refração para os ângulos de 2 Å a 15, 17, 18 e 23 Å.

**Tipo B:** apresentam maiores picos de intensidade de refração para os ângulos de 2 Å a 5,6, 17, 22 e 23 Å.

**Tipo C:** É uma mistura dos precedentes, sendo a fécula de mandioca um exemplo típico. Classifica-se a fécula como do tipo C com características de A e B, predominantemente de A.

O arranjo da amilose e da amilopectina nos grânulos leva à formação de zonas de deposição mais ou menos densas. A região onde se concentra a amilopectina é mais densa ou cristalina. Sendo mais compacta, dificultam a entrada de moléculas como as de água e enzimas, apresentando-se, portanto, mais resistente ao processo de hidrólise.

Camargo et al. (1988) determinaram que a fécula de mandioca e o polvilho azedo apresentam valores similares nos diagramas de difração de raio-X, sendo que a intensidade dos picos e formatos foram parecidos. A fécula de mandioca apresentou uma mistura do tipo A e tipo B, mostrando um pico a 5,65°C e outro pico, o que é típico de padrões B, bastante largo a 17°C, mas picos a 15 e 18°C sugerem uma cristalinidade do tipo A.

Estudos realizados por Plata-Oviedo e Camargo (1998) mostraram que padrões de difração de raios-X para fécula de mandioca e polvilho azedo obtido por secagem ao sol e por hidrólise ácida não apresentaram diferenças entre si.

No entanto, o tratamento ácido alterou o padrão de difração da fécula de mandioca do tipo C para A.

Franco et al. (2001) avaliaram amostras de fécula de mandioca nativa e fermentada com relação ao padrão de cristalinidade por difração de raios-X.

Para a fécula de mandioca fermentada naturalmente, eles obtiveram picos mais nítidos e definidos que a fécula de mandioca nativa, sugerindo que as áreas amorfas do grânulo de fécula são levemente degradadas pela fermentação natural. Posteriormente, estas féculas foram submetidas a 70% de hidrólise, obtendo-se picos menores e menos intensos que para a fécula sem tratamento nenhum. Possivelmente, a cristalinidade de uma ou da maioria das áreas foi reduzida pelo grau de hidrólise à que foram submetidas.

#### **1.2.1.6 Microscopia dos grânulos**

A estrutura dos grânulos de amido está intimamente ligada ao seu desenvolvimento na célula viva. Eles possuem estruturas semicristalinas compostas de macromoléculas lineares e ramificadas arranjadas na direção radial. Essas moléculas formam pontes de hidrogênio, pois estão associadas paralelamente, o que resulta no aparecimento de regiões cristalinas ou micelares. Assim, os grânulos são birrefringentes, mostrando uma cruz de polarização (cruz de malta) se observados sob luz polarizada (FRANCO et al, 2001).

Os tamanhos e forma dos grânulos de amido são característicos da planta de origem. As formas encontradas para a fécula de mandioca são: redonda, oval, truncada, poligonal e cilíndrica, de acordo com Rickard et al. (1991), citado por Franco et al. (2001), ou redonda, cupuliforme, pentagonal arredondada,

convexobicôncava ou hexagonal arredondada, de acordo com Rosenthal et al. (1974).

Defloor et al. (1998) determinaram as propriedades físicas de féculas de mandioca e encontraram uma distribuição de diâmetros dos grânulos das féculas entre 3 e 32  $\mu\text{m}$ , sendo o diâmetro médio dos grânulos de 9,5 a 13,6  $\mu\text{m}$ .

Devido à variedade de formatos e tamanhos que existem entre grânulos de amido de raízes, cereais e tubérculos, eles podem ser observados através do microscópio utilizando aumentos que vão desde magnificações baixas como 500 vezes para grânulos que são muito grandes, até aumentos de 10000 vezes para grânulos extremamente pequenos (JAY-LIN et al., 1994).

#### **1.2.1.7 Efeito da adição de fécula de mandioca e/ou polvilho azedo no pão de queijo**

As misturas de polvilho/fécula em diferentes proporções produzem pão de queijo de boa qualidade dependendo da formulação usada. Para a seleção do polvilho (doce ou azedo), devem ser observados os seguintes critérios: o produto deve ter baixa umidade, apresentar-se em forma de pó fino e homogêneo que, ao ser comprimido entre os dedos, deve produzir ligeira crepitação, ser isento de odor estranho ou rançoso (PEREIRA, 1998).

Segundo Pereira (1998), o polvilho azedo confere ao pão de queijo as seguintes características: (i) maior volume; (ii) textura mais porosa com maior número de células de ar; (iii) miolo esponjoso, mais leve e elástico; (iv) casca lisa e uniforme. Apesar da diferença pouco acentuada em relação ao polvilho azedo, com a utilização do polvilho doce, este pesquisador observou que o pão de queijo apresentou volume ligeiramente menor que o obtido como o polvilho azedo, miolo menos esponjoso e textura menos porosa.

No pão de queijo produzido exclusivamente com fécula, à exceção da aparência da casca que não apresenta diferença significativa, as características

observadas foram de miolo borrachento, muito compacto, sem formação de células de ar e menor volume do pão (PEREIRA, 1998).

### **1.2.2 Queijo**

Um dos problemas enfrentados na fabricação de um pão de queijo com qualidade diz respeito ao tipo de queijo empregado. Segundo informações de diversos produtores de pão de queijo, o queijo ideal deveria preencher os seguintes requisitos: (i) sabor ligeiramente picante e ácido, (ii) isento de ranço e (iii) apresentar textura adequada para um bom ralamento (PEREIRA, 1998).

Os queijos mais utilizados são o Minas curado ou Minas meia-cura típico (20 a 30 dias de cura). Este apresenta cerca de 43% de umidade; 1,6% de sal e pH entre 5,1 e 5,3. Seu formato é cilíndrico, com peso variando geralmente entre 0,8 e 1,2 kg.

Para uma boa textura do miolo, existe um teor ótimo de queijo. Em geral, teores superiores a 35% (em relação ao polvilho) fazem com que o miolo fique muito pesado; teores inferiores a 5%, conferem aos pães de queijo características similares às do biscoito de polvilho. Portanto, o queijo contribui para a elasticidade e melhor aspecto da casca, além de conferir uma maior maciez e uniformidade às células do miolo (JESUS, 1997).

Em alguns casos, principalmente por razões econômicas, é usado o aroma natural de queijo ou a essência de queijo, mas a qualidade destes produtos é normalmente inferior, pois perdem a contribuição da proteína do queijo que influi na capacidade de absorção de água da massa, com reflexos na textura, além de seu valor nutricional (PIROZI & CANAVESI, 1998).

### **1.2.3 Leite**

O leite tem sido utilizado na fabricação do pão de queijo substituindo parcial ou totalmente a água. Nas receitas tradicionais, o leite é adicionado à mistura de escaldamento do polvilho, alterando a consistência da massa e aumentando o valor nutritivo (PEREIRA, 2001), além de melhorar o sabor e a textura do pão de queijo, também aumenta a absorção de água (devido às frações de caseína), amaciando o miolo. Contribui também para a formação de uma crosta marrom dourada no produto. O leite utilizado deve ser de preferência pasteurizado, isento de sabores e odores estranhos e não deve apresentar sedimentos ou material em suspensão (PEREIRA, 1998).

### **1.2.4 Ovos**

Dentre os ingredientes comuns na fabricação do pão de queijo, o ovo é indubitavelmente o de maior valor nutritivo. Sua composição compreende elevados teores de proteínas e lipídios, sendo esta proteína de alta qualidade nutricional (PIROZI & CANAVESI, 1998).

Alleoni (1997), citado por Pereira (2001), relatou que o ovo tem propriedades funcionais das proteínas da clara que dependem da exposição de grupos hidrofóbicos na superfície da molécula e as interações desses grupos com o óleo (emulsão), ar (espuma) ou outras moléculas protéicas (géis ou coágulos).

Além da contribuição nutricional que o ovo possui, ele age também como agente corante e de sabor. Seu uso proporciona a obtenção de pães de queijo com melhor estrutura, textura mais leve e aerada, maior volume, cor amarela natural, além do fornecimento de vitaminas (A, D e E) e sais minerais (LEME, 2000; ZELAYA, 2000).

Os ovos utilizados na indústria de pão de queijo devem de apresentar-se sem alterações na gema e na clara, não apresentar podridão, presença de fungos e não devem de apresentar rompimento da casca e da membrana

externa propiciando o contato do material interno com a embalagem (PEREIRA 2001).

### **1.2.5 Sal**

O sal contribui essencialmente para o sabor. Utiliza-se o cloreto de sódio comum iodado na fabricação dos pães de queijo em proporção aproximada de 1 a 2,5% em relação ao peso do polvilho. Estudos amilográficos mostram que o sal retarda a gelatinização da fécula de mandioca, mantendo o grânulo intacto por um tempo mais longo durante o assamento (PEREIRA, 2001) e influencia também o escaldamento, por aumentar a temperatura da mistura (JESUS, 1997; PEREIRA, 1998).

### **1.2.6 Óleos e gorduras**

Existem diferentes formulações de pão de queijo que utilizam óleo de soja, margarina ou gordura vegetal hidrogenada como matéria graxa na elaboração do pão, mas o resultado final nem sempre é o mesmo, já que depende da qualidade do ingrediente e da proporção com relação ao peso do polvilho.

A gordura vegetal hidrogenada desempenha um papel importante na qualidade do pão de queijo, sendo que sua incorporação aumenta o volume e modifica a textura do produto, tornando-a mais macia e aveludada, com estrutura celular mais uniforme. Esse efeito é progressivo quando a adição é ao redor de 25 a 30% de gordura em relação ao peso do polvilho. Um excesso na adição provoca uma granulação mais grosseira.

De acordo com Canavesi et al. (1997), no pão de queijo, a gordura age como um lubrificante molecular, ajudando a massa a ter maior extensibilidade, contribuindo para maior elasticidade e melhor textura.

Quanto à utilização de margarina, deve-se empregar uma proporção maior do produto que se utilizaria normalmente para óleos e gorduras, devido a presença de água na composição da mesma (PEREIRA, 1998).

D`Appolonia e MacArthur (1974), citados por Pereira (2001), observaram que pão com reduzida quantidade de gordura produz volumes pequenos, crosta escura e miolo denso de cor acinzentada.

### 1.3 Processo de fabricação de pão de queijo

O processo de elaboração de pão de queijo envolve as seguintes etapas, apresentadas no fluxograma da Figura 1.4.

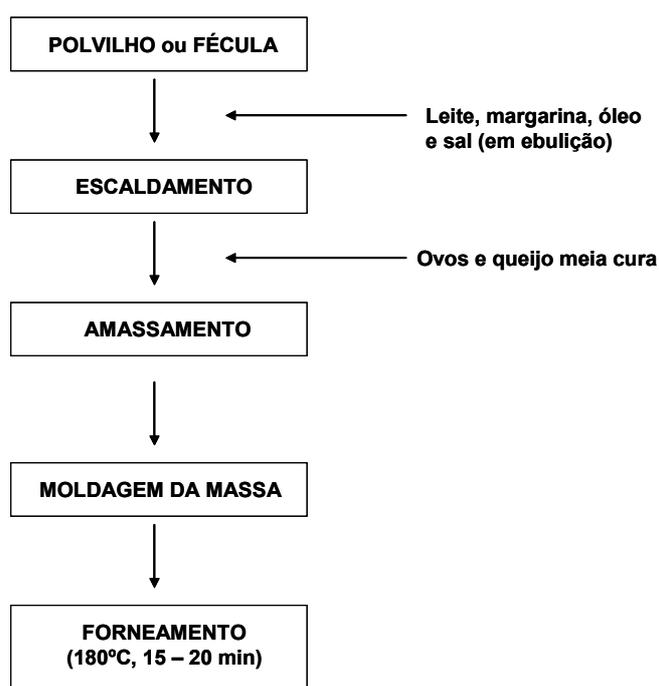


Figura 1.4 Fluxograma do processo de produção de pão de queijo.

### **1.3.1 Escaldamento da fécula de mandioca e/ou polvilho (doce/azedo)**

Para a obtenção de massas de pão de queijo de melhor qualidade, o escaldamento é uma etapa essencial, dando-se preferência à utilização de leite integral na mistura de escaldamento para obtenção de pães de queijo com melhor sabor, textura, maciez, coloração da casca e aumento de seu valor nutricional.

O escaldamento é realizado quando a mistura de água, leite, óleo, margarina e sal é levada até a sua ebulição para posterior adição à mistura de fécula ou polvilho. Esta etapa é realizada com o objetivo de iniciar o processo de gelatinização da fécula, proporcionando características desejáveis ao processamento, obtendo assim massas mais fáceis de trabalhar e resultando em pães de queijo mais saborosos e macios.

Segundo Machado (2003), os pães de queijo de polvilho azedo que são submetidos ao escaldamento, apresentam melhores resultados de volume, textura, índices de expansão e menor densidade.

### **1.3.2 Amassamento**

A etapa de amassamento inicia-se após o resfriamento, até temperatura ambiente, do polvilho escaldado, adicionando-se o sal (se este não foi adicionado no escaldamento), o queijo e os ovos (PEREIRA, 2002).

Havendo ou não escaldamento, a mistura deve garantir a homogeneização completa dos ingredientes e uma absorção adequada de umidade. Nesta etapa, ocorre a incorporação de certa quantidade de ar, o que irá melhorar o volume e a textura do produto assado (PIZZINATTO & ORMENESE, 2000; PEREIRA, 1998; JESUS, 1997).

### **1.3.3 Moldagem**

Após a mistura da massa, o produto é moldado manualmente ou através de equipamentos apropriados, em formatos de pequenas bolas ou cilindros, que variam de tamanho e peso, dependendo do tipo de pão de queijo a ser produzido. Este é um ponto crítico do processo, já que devido ao grande manuseio do produto, pode acarretar contaminação microbológica (PEREIRA, 1998).

### **1.3.4 Forneamento**

O produto deve ser assado imediatamente após sua preparação, já que esta é uma das etapas mais importantes que garante a expansão do produto final, mantendo a qualidade do mesmo.

Durante o assamento as paredes das células da massa sofrem modificações que impedem uma posterior expansão, formando simultaneamente, uma crosta na parte exterior do pão de queijo que impede o incremento posterior de volume (PEREIRA, 1998). Este crescimento é resultado de uma série de reações. Há o efeito puramente físico da expansão dos gases, fazendo com que a massa aumente de volume (PEREIRA, 2001).

Nos primeiros instantes do cozimento há um aumento constante de calor e, quando a temperatura chega próximo a 55°C, os grânulos da fécula de mandioca começam a inchar e isto pode ser verificado pela retirada de água de outros ingredientes, aumentando a proporção de fécula gelatinizada (MACHADO, 1996; PEREIRA, 1998). Próximo a 77°C, os grânulos de fécula de mandioca aumentam de tamanho e são fixados na estrutura protéica (PEREIRA, 1998). Se esta etapa não for bem controlada, pode-se comprometer a qualidade final do pão de queijo (PEREIRA, 1998; JESUS, 1997).

## **1.4 Amidos Modificados**

Os grânulos de amidos ou féculas podem ser modificados por reações químicas (ácido, ligações cruzadas, oxidação, etc.) ou físicas (pré-gelatinização), levando a alteração nas suas propriedades físico-químicas (HOSENEY, 1994).

Dentre estes tipos de modificação, a pré-gelatinização apresenta importância especial na aplicação de pães de queijo.

As féculas pré-gelatinizadas eliminam a etapa de escaldamento da massa de pão-de-queijo, pois a preparação pode ser feita apenas com a adição de água ou leite frio. Esse tipo de fécula pode ser usado em combinação com o polvilho azedo, doce ou mesmo substituir esse ingrediente, conforme o desejado. A fécula modificada liga água a frio, que é necessária para a formação da pressão de vapor de água, criando o efeito de expansão do pão de queijo durante o forneamento. Além disso, essa água ligada hidrata as proteínas do sistema, indispensáveis para o desenvolvimento da resistência da rede formada, prevenindo assim o colapso da estrutura do produto após o forneamento.

Durante o armazenamento refrigerado ou sob congelamento da massa, o amido ajuda a diminuir a formação de cristais de gelo, permitindo que a massa cresça adequadamente durante o forneamento (RAPOSO, 2002).

O recente aumento no consumo de alimentos pré-preparados, tais como: os congelados enlatados e alimentos instantâneos, expandiram o mercado para amidos pré-gelatinizados. A fécula pré-gelatinizada de mandioca tem sido regularmente modificada e interligada com a finalidade de aumentar sua utilização. A interligação confere ao grânulo uma alta resistência à: (i) ruptura mecânica durante a gelatinização, (ii) altas temperatura e (iii) níveis baixos de pH (NABESHIMA & GROSSMANN, 2000).

## **1.5 Alimentos Funcionais**

Os alimentos funcionais surgiram no Japão, em meados de 1980, principalmente em função da população crescente de idosos e da preocupação, tanto da população em geral como do governo, com a prevenção das doenças crônicas e degenerativas.

Alimento funcional é a denominação atribuída ao alimento que, além de suas funções nutricionais, como fonte de energia e de substrato para a formação de células e tecidos, possui, em sua composição, uma ou mais substâncias capazes de agir no sentido de modular os processos metabólicos, melhorando as condições de saúde, promovendo o bem-estar das pessoas e prevenindo o aparecimento precoce de doenças degenerativas, que levam a uma diminuição da longevidade (SGARBIERI & PACHECO, 1999).

No Brasil, a tendência é de classificar como alimentos funcionais fisiológicos, aqueles alimentos que, pela sua composição, irão produzir no organismo efeitos benéficos à saúde, que vão além das funções estritamente nutricionais, modulando processos bioquímico-fisiológicos que resultem em benefícios para a saúde. O alimento funcional deverá constituir parte da dieta normal, inclusive quanto à apresentação e forma de consumo. A adição de nutrientes aos alimentos, aqui no Brasil, é regulamentada pela Portaria nº31, de 13 de janeiro de 1998, da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério de Saúde (BRASIL, 1998).

Vários componentes dos alimentos, tradicionalmente conhecidos como nutrientes, podem atuar, em determinadas concentrações, como substâncias funcionais. Dentre estes componentes podem ser citados algumas vitaminas, minerais essenciais, proteínas e peptídios, ácidos graxos poliinsaturados da família do omega-3 e componentes da fibra alimentar (SGARBIERI & PACHECO, 1999).

Substâncias não nutrientes, como alguns carotenóides, compostos organosulfurados, compostos fenólicos, limonóides e substâncias indólicas, têm

sido apontadas como substâncias funcionais fisiológicas pelas suas ações antioxidante, anti-radicaís livres e anticarcinogênica.

Os grãos e seus derivados, como farinhas e farelos integrais, juntamente com as frutas e hortaliças são as principais fontes de fibra alimentar. Do ponto de vista químico, os constituintes da fibra alimentar podem ser divididos em componentes não-glicerídios, polissacarídeos não-amido e amido resistente, que além do efeito terapêutico, fornece uma melhor textura, aparência e sabor (CHARALAMPOPOULOS et al., 2002).

Quanto às propriedades físico-químicas, a fibra alimentar é composta de uma fração insolúvel e outra solúvel em água (SGARBIERI & PACHECO, 1999).

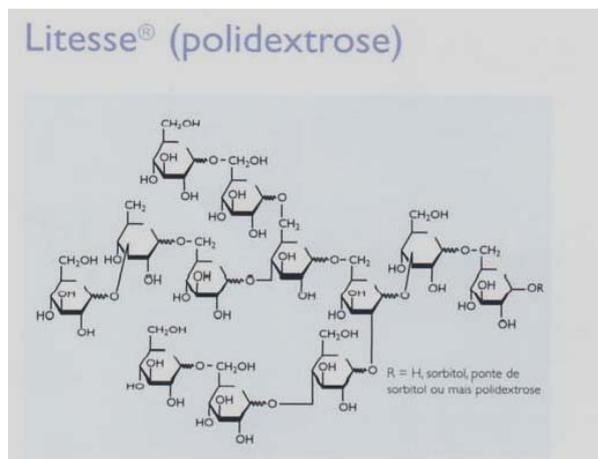
A fração insolúvel é formada principalmente de celulose, lignina e hemiceluloses insolúveis. Essa fração exerce um efeito físico-mecânico, aumentando o volume do bolo alimentar e das fezes e diminuindo o tempo de trânsito intestinal. Esses componentes, ao se hidratarem, ligam não somente água, mas também elementos minerais, vitaminas, sais biliares, hormônios e lipídios, dificultando a absorção e aumentando a excreção dessas substâncias (SGARBIERI & PACHECO, 1999)

A fração solúvel forma uma rede de gel ou uma rede viscosa, em determinadas condições físico-químicas, e desta forma ligam água, o que aumenta a capacidade de retenção de água e absorção lipídica. Elas são vistas como substratos fermentativos que podem alterar a microflora e conduzir a uma redução ou modificação dos agentes mutagênicos (THEBAUDIN et al., 1997).

### **1.5.1 Polidextrose**

A polidextrose, reconhecida como fibra alimentar em muitos países, incluindo, por exemplo, o Brasil, a China, o Japão, o México, os E.U.A, entre outros, é um polissacarídeo sintetizado pela polimerização randômica da glicose, na presença de quantidades menores de sorbitol e um catalizador ácido adequado (ácido fosfórico), sob alta temperatura e vácuo parcial (Figura 1.5). O

produto obtido da condensação não apresenta uma estrutura química definida, mas apresenta uma mistura de produtos de polimerização com massas moleculares entre 150 – 20.000 Da, como observado na Tabela 1.3 (STRUMM & BALTES, 1997).



**Figura 1.5 Estrutura química da polidextrose (Litesse®).**

A polidextrose é um pó não cristalino que pode ser utilizado, para estabilizar alimentos, prevenindo cristalização de açúcares e polióis. A polidextrose é solúvel em água e possui um grau de polimerização (DP) de 10 resíduos de glicose. Devido a seu processo de polimerização randômica, pode conter qualquer quantidade de combinações de ligações  $\alpha$  e  $\beta$  na sua estrutura (RIBEIRO et al., 2003).

**Tabela 1.3 Distribuição de massas moleculares da polidextrose obtida pelo método convencional e por ultrafiltração.**

| <b>Massa molecular da polidextrose por método convencional</b> | <b>Proporção de massa molecular (%)</b> | <b>Massa molecular da polidextrose por ultrafiltração</b> | <b>Proporção de massa molecular (%)</b> |
|--|---|---|---|
| 162 – 5.000  | 88,7                                    | 0 – 500   | 8                                       |
| 5.000 – 10.000   | 10,0                                    | 500 – 1.000   | 28                                      |
| 10.000 – 16.000  | 1,2                                     | 1.000 – 5.000   | 42                                      |
| 16.000 – 18.000  | 0,1                                     | 5.000 – 10.000  | 20                                      |
|  |   | >10.000   | 2                                       |

A polidextrose é parcialmente fermentada no intestino grosso, mas não é digerida nem absorvida no intestino delgado e, em sua maioria parte, é excretada nas fezes. Como a polidextrose se fermenta parcialmente no intestino grosso, aumenta o volume da massa fecal, reduz o tempo de trânsito, suaviza e abaixa o pH do bolo fecal. A fermentação da polidextrose conduz: (i) ao crescimento de microflora favorável; (ii) à redução da microflora putrefativa; (iii) à maior produção de ácidos graxos de cadeia curta e (iv) à supressão da produção de metabólitos carcinogênicos (por exemplo, o indol e o p-cresol) (ZHONG, 2000).

Flood et al. (2004) encontraram, em estudo realizado em humanos, que a polidextrose não provoca diarreia em adultos com uma ingestão abaixo de 50 gramas por dia, mas, possivelmente, a ingestão de doses superiores pode conduzir a este sintoma.

Quando a polidextrose é submetida a temperaturas acima da sua temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), acontece a redução da viscosidade do material, e após o seu resfriamento, é produzido um material vítreo claro com textura quebradiça (RIBEIRO et al., 2003). Outros polímeros de D-glicose têm estruturas similares à polidextrose. Por exemplo, a maltodextrina, a qual é obtida por hidrólise do amido, pode apresentar o mesmo DP que a polidextrose, no entanto, possui propriedades físicas completamente diferentes devido às ligações  $\alpha(1-4)$  e  $\alpha(1-6)$ , das ligações randômicas na polidextrose.

A indústria de alimentos vem se dedicando à busca por alimentos de baixas calorias, e, conseqüentemente, o desenvolvimento de substitutos de gordura vem evoluindo muito. A polidextrose fornece 1 kcal/g em comparação com 4 kcal/g da sacarose, o que a coloca como ingrediente potencial na elaboração de produtos alimentícios com calorias reduzidas (HICSASMAZ et al., 2003).

O baixo conteúdo de calorias da polidextrose se deve à baixa digestibilidade no intestino delgado e a sua fermentação incompleta no intestino grosso. Esta propriedade tem levado a polidextrose a ser utilizada como fibra dietética em vários países (CRAIG et al. citado por FLOOD et al., 2004).

O estudo realizado por Hicsasmaz et al. (2003) sobre o efeito da substituição da sacarose por polidextrose na estrutura da célula de bolo *\*high-ratio\**, resultou numa distribuição uniforme de tamanho das bolhas na massa, sendo semelhante às obtidas com a formulação convencional, inclusive ao nível de substituição completa. O aumento de polidextrose afetou significativamente as propriedades de expansão, favorecendo a formação de pequenas células esféricas com conectividade diminuída, além de influenciar na cor do miolo devido à reação de Maillard.

Esteller et al. (2004) estudaram o efeito na cor de pães tipo hamburger de diferentes teores de substituição de sacarose pela polidextrose. Os resultados obtidos nos pães foram evidentes, sendo que os pães apresentaram uma coloração mais brilhante e dourada, proporcional à adição deste ingrediente.

### **1.5.2 Isolado protéico de soja**

A proteína de soja é aplicada principalmente em produtos de panificação, fórmulas infantis, formulações para nutrição clínica, como substituto em alimentos cárneos, entre outros.

A presença de fatores antinutricionais pode afetar a qualidade nutricional de produtos à base de proteína de soja, sendo que alguns destes fatores são parcial ou totalmente inativados pelo calor durante o processamento, como é o caso dos inibidores de tripsina, as hemaglutininas e os fatores antivitaminicos.

Outros não são destruídos pelo calor, como as saponinas, fitatos e fatores de flatulência, que também podem comprometer a qualidade nutricional da proteína (LUSAS & RIAZ, 1995).

O isolado protéico de soja (IPS) contém pelo menos 90% de proteína (N x 6,25), apresentando, como principais componentes, as frações glicinina e  $\beta$ -conglucina, sendo virtualmente livres de lipídios e carboidratos (SINGH & MOHAMED, 2005).

Baker et al., citados por Hua et al. (2005), relataram que o isolado protéico de soja por extração alcoólica a partir de flocos de soja apresentou uma coloração, sabor e tamanho de partícula superior aos obtidos pelo processo convencional, melhorando suas propriedades espumantes pela remoção dos fosfolipídios e outros componentes solúveis em álcool.

Além de sua utilização como ingrediente em produtos alimentícios devido às suas propriedades nutricionais e funcionais, os isolados protéicos de soja possuem: capacidade de hidratação, solubilização, estabilidade coloidal, gelificação e agem como emulsificante (MORR, 1990, citado por MARTINS & NETO, 2006).

A capacidade de absorção de água depende das frações insolúveis dos isolados protéicos. Outras propriedades como a gelificação e a capacidade de formação de espuma dependem das frações solúveis. O aumento da temperatura conduz ao decréscimo das frações solúveis (poliA- 11S e subunidades da 7S), que são essenciais no processo de agregação. Quando o processo de agregação é avançado, ocorre a perda da capacidade de gelificação, uma vez que esta propriedade depende da possibilidade de novas interações proteína-proteína da fração solúvel (SORGENTINI et al., 1996, BARBOSA et al., 2006).

Crouse et al., citados por Barbosa et al. (2006), demonstraram que a diminuição do colesterol em humanos devido ao consumo de isolados protéicos de soja está relacionada ao seu conteúdo de isoflavonas. As isoflavonas representam o grupo mais conhecido dos fitoestrógenos e são encontrados particularmente em grandes proporções em grãos de soja, sendo associados a efeitos benéficos em humanos, como a prevenção do câncer, doenças cardiovasculares, osteoporose e sintomas menstruais (ADLERCREUTZ & MAZUR, 1997). As diferenças nas estruturas químicas das isoflavonas podem influenciar sua atividade biológica, ou seja, a biodisponibilidade como resultado dos efeitos fisiológicos de seus constituintes (SETCHELL & CASSIDY, 1999).

O grão de soja contém basicamente três tipos de isoflavonas que se apresentam em quatro diferentes formas: glicosiladas (daidzina, genistina e glicitina); formas acetilglicosiladas (acetildaidzina, acetilgenistina e acetilglicitina); formas malonilglicosiladas (malonildaidzina, malonilgenistina e malonilacetilglicitina) e na forma estrutural não conjugada, aglicona (daidzeína, genisteína e gliciteína), as quais encontram-se em concentrações que vão de 0,1 a 5 mg/g, sendo que esta variação está ligada a fatores genéticos, locais de plantio e condições climáticas (PARK et al., 2002).

Os isolados protéicos de soja apresentam um aroma semelhante ao feijão verde, sendo que a maioria deles possui aproximadamente de 33 compostos voláteis, sendo a maioria devido à quantidade de ácidos graxos livres produzidos pela degradação lipídica, incluindo aldeídos alifáticos, cetonas, álcoois e compostos adicionais, como o benzaldeído e 2-pentilfurano (SOLINA et al., 2005). Estes produtos obtidos na degradação lipídica podem, posteriormente, reagir com outros constituintes dos alimentos, como por exemplo, as proteínas.

De acordo com Boatright & Hettiarachy, citados por Takeiti (2002), os lipídios associados com as proteínas do isolado protéico de soja contribuem para o decréscimo da solubilidade e para a oxidação protéica.

Recentemente, alguns pesquisadores avaliaram o potencial de substituição de parte da farinha de trigo por isolado protéico de soja em produtos de panificação. Singh & Mohamed (2005) estudaram as propriedades reológicas

e físicas de biscoitos elaborados com a substituição de diferentes teores de farinha de trigo por misturas de isolado protéico de soja e glúten. A substituição de 30% não afetou significativamente a textura, umidade e atividade de água dos biscoitos, que se deve em grande parte ao ajuste realizado na absorção de água no farinógrafo Brabender para esta mistura. A luminosidade dos biscoitos obtidos apresentou uma queda com 30% de substituição, tornando-se mais escuros quando aumentava a incorporação do isolado protéico.

Mohamed et al. (2006) estudaram a incorporação de isolado protéico de soja em farinhas de trigo para a produção de pães com baixo conteúdo de carboidratos, baseando-se no estudo realizado por Sahni e Krishnamurthy (1975), onde foi observado que substituições de 4% de isolado protéico de soja em pães produz volume final aceitável.

Os resultados observados são próximos aos reportados por Singh & Mohamed (2005) para o biscoito, já que foram obtidos ótimos resultados quando foi substituída 30% da farinha de trigo. Quando 50% da farinha foi substituída, o conteúdo de carboidratos foi reduzido para 50%, mas a firmeza do pão sofreu alteração após 5 dias de armazenamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLERCREUTZ, H.; MAZUR, W. **Phyto-estrogens and Estern diseases**. 29., 1997. *Annals of Medicine...* 95-120. 1997.

ALLEONI, A.C.C. **Efeito da temperatura e do período de armazenamento na qualidade do ovo, nos teores de s-ovalbumina e nas propriedades funcionais das proteínas da clara do ovo**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) - Universidade Estadual de Campinas. 1997. In. PEREIRA, J. **Caracterização química, física, estrutural e sensorial do pão de queijo**. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Lavras, 2001.

ARIAS, L.V.B. **Fécula de mandioca e polvilho azedo para fabricação de pão de queijo**. In. PIZZINATTO, A; ORMENESE, R.C.S.C. SEMINÁRIO PÃO DE QUEIJO. INGREDIENTES, FORMULAÇÃO E PROCESSO. Campinas. Governo do Estado de São Paulo/Secretaria de Agricultura e Abastecimento/Agência Paulista de Tecnologia de Agronegócios/Instituto de Tecnologia de Alimentos/Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolate, 2000. p.1-14.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS. *Compêndio da Legislação de alimentos*. Atos do Ministério de Saúde. São Paulo: ABIA, 1996.

BAHNASSEY, Y.A.; BREENE, W.M., **Rapid Visco-Analyzer (RVA) pasting profiles of wheat, corn waxy, tapioca and Amaranth starches (*A. hypochondriacus* and *A. cruentus*) in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locust bean gums**. *Starke*, v. 46, n.4, p.131-141, 1994.

BAKER, E.C.; MUSTAKAS, G.C.; WARNER, K.A. **Extraction of defatted soybean flours and flakes with aqueous alcohols: evaluation of flavor and color.** Food Industry, n.16, p. 616, 664. 1979. In. HUA, Y.; HUANG, Y.; QIU, A.; LIU, X. Protein of soy isolate prepared from aqueous alcohol washed soy flakes. Food Research International v.38, p. 273-279. 2005.

BANKS, W.; GEDDES, C.; GREENWOOD, T.; JONES, G. **Physicochemical studies on starches.** Starke v. 24, p. 245-251. 1972.

BARBOSA, A.C.L.; LAJOLO, F.M.; GENOVESE, M.I.; **Influence of temperature, pH and ionic strength on the production of isoflavone-rich soy protein isolates.** Food Chemistry, no prelo. 2006.

BERTOLINI, A.C.; MESTRES, C.; LOUDIN, D.; VALLE, G.D.; COLONNA, P. **Relationship between thermomechanical properties and baking expansion of sour cassava starch (Polvilho azedo).** Journal of Science and Food Agricultural v.81, p. 429-435. 2001.

BILIADERIS, C.G. **Thermal analysis of food carbohydrates in thermal analysis of foods.** (Eds. V.R. Harwalker, C.Y. Ma) Elsevier Science Publishers Ltd. Essex, v.162, p. 168-220. 1990.

BILIADERIS, C.G. **The structure and interactions of starch with food.** Canadian Physiological Pharmacology v.69, p. 60-78. 1991. In FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. Propriedades gerais de amido, v.1, Fundação Cargill. 2001. 224 p.

BOATRIGHT, W.L.; HETTIARACHCHY, N.S. **Effect of lipids on soy protein isolate solubility.** Journal of the American Oil Chemists Society. Champaign, v.72, p.1439-1444. 1995. In. TAKEITI, C.Y. Influência do tratamento térmico nas

propriedades funcionais de isolados protéicos de soja e de seus hidrolisados enzimáticos. 2002. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas. 2002.

BRBAET, C. **Estude des mecanismes physico-cheniques et biologiques responsables du pouvoir de panification de lalmidon fermenté de manioc.** Tese de Doctorado. Université de Montpellier II. 1994. In. DEMIATE, I.M.; DUPUY, N.; HUVENNE, J.P.; CEREDA, M.P.; WOSIACKI, G. Relationship between baking behavior of modified cassava starches and starch chemical structure determined by FTIR spectroscopy. Carbohydrate polymers. v.42, p.149-158. 2000.

BRABET, C.; DUFUOR, D. **El almidón agrio de yuca. Producción y estudio de las propiedades fisicoquímicas.** Simposio de Carbohidratos. Escuela Politécnica Nacional de Quito, 4-6 octubre. 1993.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 31/98 da ANVISA. Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Alimentos Adicionados de Nutrientes Essenciais. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, ano 30, mar. 1998. Seção I-E, p.4. Disponível em: <[http://www.Anvisa.gov.Br/legis/portarias/31\\_98.htm](http://www.Anvisa.gov.Br/legis/portarias/31_98.htm)>. acesso 18 outubro.2004.

CANAVESI, E.; PIROZI, M.R.; MACHADO, P.T.; MINIM, V.P.R.; **Efeito da concentração dos ingredientes nas características fisico-químicas do pão de queijo.** In. II Simpósio Latino Americano de Ciências de Alimentos. **Resumos....** Campinas: Universidade Estadual de Campinas 1997. p.39.

CAMARGO, C.; COLONNA, P.; BULEON, A.; MOLARD, D.R. **Functional properties of sour cassava (*Manihot utilissima*) Starch: povilho azedo.** Journal of Science and Food Technology. London, v.45, n.3, p. 273-289. 1988.

CÁRDENAS, O.S; BUCKLE, T.S. **Sour cassa starch production: a preliminary study.** Journal of Food Science, v.45, n.6, p.1509-1512, e 1528. 1980.

CHARALAMPOPOULOS, R.; WANG, S.S.; PANDIELLA, C.; WEBB, C. **Application of cereals and cereal components in functional foods: a review.** International Journal of Food Microbiology, v.79, p.131-141. 2002.

CEREDA, M.P. **Estudos físico-químicos e microbianos da estabilização e da fermentação da fécula de mandioca.** 2001, 155p. Tese livre docência, São Paulo. 1981

CIACCO, F.C.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização.** Série Tecnologia Industrial n.7, Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, São Paulo, 1982.

CRAIG, S.A.S.; ITOLDEN, J.I.; TROUP, J.P.; AUERBACH, M.T. **Polydextrose as soluble fiber and complex carbohydrate.** 1999 In. FLOOD, M.T.; AUERBACH, M.H.; CRAIG, S.A.S. A review of the clinical toleration studies of polydextrose in food. Journal of Food and Chemical Toxicology, v.42, p.1531-1542. 2004.

CROUSE, J.R.; MORGAN T.; TERRY, J.G.; ELLIS, J.; VITOLINS, M.; BURKE, G.L. **A randomized trial comparing the effect of casein with that of soy protein containing varying amounts of isoflavones on plasma concentration of lipids and lipoproteins.** Archives of International Medicine, v.159, p.2070-2076. In. BARBOSA, A.C.L.; LAJOLO, F.M.; GENOVESE, M.I.; Influence of temperature, pH and ionic strength on the production of isoflavone-rich soy protein isolates. Food Chemistry, no prelo. 2006.

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

ESTELLER, M.S. **Fabricação de pães com reduzido teor de calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, USP. 2004.

FLOOD, M.T.; AUERBACH, M.H.; CRAIG, S.A.S. **A review of the clinical toleration studies of polydextrose in food**. Journal of Food and Chemical Toxicology, v.42, p. 1531-1542. 2004.

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

FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais de amido**. v.1, Fundação Cargill. 224p. 2001.

FRANCO, C.M.L.; TAVARES, D.Q. **Estudos microscópicos dos amidos de mandioca natural e fermentado**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de alimentos XVI, v.15, 1998. Rio de Janeiro. **Anais.....** Rio de Janeiro, 1998. (CD-ROM).

FRENCH, D. **Chemical and biochemistry of starch**. In. MACHADO, A.V. **Efeito do escaldamento nas propriedades tecnológicas da massa e do pão de queijo**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, 2003.

GOMES, A.M.M.; da SILVA, C.E.M.; NÁGLIA, M.P.S.R. **Effects of annealing of the physicochemical properties of fermented cassava starch (*polvilho azedo*)** Carbohydrates Polymers. v.60, p. 1-6. 2005.

HICSASMAZ, Z.; YAZGAN, Y.; BOZOGLU, F.; KATNAS, Z. **Effect of poludextrose-substitution on the cell structure of the high-ratio cake system.** Lebensm.-Wiss U. Technology v.36, p. 441-450. 2003.

HOSENEY, R.C. **Principles of cereal science and technology.** 2nd. Edition. AACC Inc. St Paul, Minnesota, USA. 378p. 1994.

JAY-LIN, J.; TUNYAWAT, K.; SHARON, L.; AMES, I.A; HENZY, Z.; DARIEN, IL.; ROBYT, F.; AMES, IA. **Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy.** Starch/starke, v.46, p. 121-129. 1994.

JESUS, C.C. de. **Contribuição para a caracterização físico-química e sensorial do pão de queijo.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte 1997.

LEACH, H.W. **Gelatinization of starch,** In. MACHADO, A.V. **Efeito do escaldamento nas propriedades tecnológicas da massa e do pão de queijo.** (Dissertação – Mestrado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Lavras, 2003. p.99.

LEME, L.L. **Ovos pasteurizados resfriados e desidratados e sua importância.** In. PIZZINATTO, A; ORMENESE, R.C.S.C. SEMINÁRIO DE PÃO DE QUEIJO: Ingredientes, formulação e processo, 2000. Campinas. 2000. p.29-41.

LUSAS, E.W.; RIAZ, M.N. **Soy protein products: processing and use.** Journal Nutritional, Chicago, Connecticut, v.67, p. 2711-2722. 1984. In. MARTINS, V.B.; NETTO, F.M. Physicochemical and functional properties of soy protein isolate as a function of water activity and storage. Food Research International, v.39, p. 145-153. 2006.

MACHADO, A.V. **Efeito do escaldameto nas propriedades tecnológicas da massa e do pão de queijo.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, 2003.

MACHADO, E.C. **Monitoramento de perigos e pontos críticos de controle e estimative de riscos em uma indústria mineira de pão de queijo.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)- Universidade Federal de Lavras, 2001.

MARTINS, V.B.; NETTO, F.M. **Physicochemical and functional properties of soy protein isolate as a function of water activity and storage.** Food Research International, v.39, p. 145-153. 2006.

MESTRES, C.; ROUAU, X. **Influence of natural fermentation and drying conditions on the physicochemical characteristics of cassava starch.** Journal of Science of Food and Agricultural, v.74, p.147-155. 1997.

MESTRES, C. **Los estados físicos del almidón.** In. Conferencia Internacional de Almidón, 1996, Quito. **Anais....**Quito, 1996. p.2.

MOHAMED, A.A.; RAYAS-DUARTE, P.; SHOGREN, R.L.; SESSA, D.J. **Low carbohydrates bread: Formulation, processing and sensory quality.** Food Chemistry, no prelo. 2006.

MORR, C.V. **Current status of soy protein functionality in food systems.** Journal of the American Oil Chemists Society. Champaign, v.67, p 265-271.

1990. In. MARTINS, V.B.; NETTO, F.M. Physicochemical and functional properties of soy protein isolate as a function of water activity and storage. Food Research International, v.39, p. 145-153. 2006.

NABESHIMA, E.H; GROSSMANN, M.V.E. **Functional properties of pregelatinized and croo-linked cassava starch obtained by extrusion with sodium trimetaphosphate.** Carbohydrates Polymers v.45, p. 347-353. 2001.

PACHECO, J.A. de C. **Alterações de qualidade de fécula durante o armazenamento das raízes de mandioca.** Brangantia, Campinas, v.12, n.7/9, p. 297-298, jul/set. 1952, In. MACHADO, A.V. Efeito do escaldameto nas propriedades tecnológicasda massa e do pão de queijo. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)- Universidade Federal de Lavras, 2003.

PARK, Y.K.; AGUIAR, C.L.; ALENCAR, S.M. **Conversão de malonil  $\beta$ -glicosil isoflavonas em isoflavonas glicosiladas presentes em alguns cultivares de soja Brasileira.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas v. 22, n.2, p. 130-135, maio-ago. 2002.

PEREIRA, A.J.G. **Fatores que afetam a qualidade do pão de queijo.** Belo Horizonte: CETEC, 1998. 52p.

PEREIRA, J. **Caracterização química, física, estrutural e sensorial do pão de queijo.** Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Lavras, 2001.

PEREIRA, S.G.I. **Avaliação química e sensorial de queijo enriquecido com folhas de cenoura.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)- Universidade Federal de Lavras, 2002.

PIROZI, M.R; CANAVESI, E; **Como montar uma pequena fábrica de pão de queijo**. Viçosa, CPT. 1998, 42p.

PIZZINATTO, A; ORMENESE, R.C.S.C. **Seminário pão de queijo. INGREDIENTES, FORMULAÇÃO E PROCESSO**. Campinas. Governo do Estado de São Paulo/Secretaria de Agricultura e Abastecimento/Agencia Paulista de Tecnologia dos Agronegócios/Instituto de Tecnologia de Alimentos/Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolate, 2000. p 87-101.

PLATA-OVIEDO, M.; CAMARGO, C; **Effect of acid treatments and drying processes on physico-chemical and functional properties of cassava starch**. Journal of Science and Food Agricultural, v.77, p. 103-108. 1998.

RAPOSO, B.B. **Pão de queijo. O sabor mineiro que, na versão industrial, conquistou o consumidor**. Food Ingredients. Mai/jun, n.12. 2002.

RIBEIRO, C.; ZIMERI, J.E.; YILDIZ, E.; KOKINI, J.L. **Estimation of effective diffusivities and glass transition temperature of polydextrose as a function of moisture content**. Carbohydrate polymers v.51, p. 273-280. 2003.

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

RIVEIRA, H.H.P. **Fermentação de amido de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Avaliação e caracterização do polvilho azedo**. Tese Doutorado (Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1997. In. MACHADO, A.V. Efeito do escaldamento nas propriedades tecnológicas da massa e do pão de queijo. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, 2003.

ROSENTHAL, F.R.T.; NAKAMURA, T.; ESPINDOLA, A.M.; JOCHIMECK, M.R. **Sturcture of starch granules**. 3. Some considerations on leguminosae and tuberosae. *Starke, Weinhein*, v.26, n.2, p. 50-56. 1974.

SAHNI, S.K.; KRISHNAMURTHY, K. **Development of high protein bread. Part I. Groundnut flour and ground nut protein isolate utilisation**. *Journal of Food Science and Technology*, v.12, p. 283-289. 1975. In. MOHAMED, A.A.; RAYAS-DUARTE, P.; SHOGREN, R.L.; SESSA, D.J. **Low carbohydrates bread: Formulation, processing and sensory quality**. *Food Chemistry*, no prelo. 2006.

SETCHELL, K.D.R.; CASSIDY, A. **Dietary isoflavones: biological effects and relevance to human health**. *Journal of Nutrition*, v.129, 758S-767S. 1999.

SINGH, M.; MOHAMED, A. **Influence of gluten-soy protein blends on the quality of reduced carbohydrates cookies**. *Food Science and Technology*, no prelo. 2005.

SGARBIERI, V.C.; PACHECO, M.T.B, **Revisão: Alimentos Funcionais Fisiológicos**. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.21, n.12, p. 7-19. 1999.

SOLINA, M.; BAUMGARTNER, P.; JOHNSON, R.L.; WHITFIELD, F.B. **Volatile aroma components of soy protein isolate and acid-hydrolysed protein**. *Food Chemistry* v.90, p. 861-873. 2005.

SORGENTINI, D.A.; WAGNER, J.R.; AÑON, M.C. **Effects of thermal treatment of soy protein isolate on the characterisitcs and structure-function relationships of soluble and insoluble fractions**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Washington, v.43, p. 2471-2479. 1996.

SRIROTH, K.; WANLAPATIT, S.; PIYACHOMKWAN, K.; OATES, C.G. **Improved cassava starch granule stability in the presence of sulphur dioxide.** *Starch/Starke*, v.50, p. 466-473. 1998.

STRUMM, I.; BALTES, W. **Analysis of the linkage positions in polydextrose by the reductive cleavage method.** *Food Chemistry*, v 59, n.2, p. 291-297. 1997.

SUSUKI, A.; TAKEDA, Y.; HIZUKURI, S. **Relationship between the molecular structures and retrogradation properties of tapioca, potato and kuzu starches.** *Denpun Kagaku*, v.32, p. 205-210. 1985. In. MOORTHY, S.M. *Physicochemical and Functional Properties of Tropical Tuber Starches: A Review*, *Starch/Starke* v.54, p. 559-592. 2002.

THEBAUDIN, J.Y.; LEFEBRE, A.C.; HARRINGTON, M.; BOURGEOIS, C.M. **Dietary fibers.** Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science and Technology*, v.8, p. 41-48. 1997.

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

VILPOUX, O. **Coordinações verticais entre empresas transformadoras de mandioca e produtores agrícolas**, au Sud du Brésil 1997, 233p. In. FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. *Propriedades gerais de amido. Volume 1, Fundação Cargill.* 224p. 2001.

ZELAYA, M.P.; **Tecnología y química de almidones nativos y modificados.** In. PIZZINATTO, A; ORMENESE, R.C.S.C. Seminário de pão de queijo: Ingredientes, formulação e processo, 2000. Campinas. 15-28.

ZHONG, J; LUO, B-y.; XIANG, M-j.; LIU, H-w.; ZHAI, Z-k.; WANG, Ts.; STUART, A.C. **Estudo sobre os efeitos da ingestão de polidextrose sobre as funções fisiológicas em chineses.** American Journal Clinical Nutrition, v.72, p. 1503-1509. 2000.

## **Capítulo 1**

---

***Estudo da proporção fécula de mandioca e polvilho azedo:  
Efeito nas propriedades físicas, químicas, reológicas e  
sensoriais do pão de queijo***



## RESUMO

O presente trabalho analisou a incorporação de diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo (100%/0%; 70%/30%; 30%/70%; 50%/50% e 0%/100%, respectivamente) à massa de pão de queijo utilizando o processo de escaldamento para sua elaboração, objetivando a escolha de uma formulação de pão de queijo com ótimo coeficiente de expansão, baixa força de compressão, coloração amarela e boa aceitação em relação aos atributos sensoriais: (i) aparência geral; (ii) aroma; (iii) textura e (iv) sabor.

Previamente à escolha da formulação do pão de queijo, as principais matérias-primas (fécula de mandioca e polvilho azedo) foram caracterizadas na suas propriedades físicas (distribuição granulométrica, padrão de cristalinidade, cor e densidade aparente), físico-químico (umidade, pH e acidez), reológica (propriedades de pasta) e morfologicamente (microscopia eletrônica de varredura - MEV).

Os valores de pH, acidez e umidade ficaram dentro do estabelecido pela legislação brasileira 12/78 para produtos amiláceos.

O tamanho médio de partícula, determinado por Difração de Raios Laser, foi de 21,76  $\mu\text{m}$  para a fécula de mandioca e de 3 a 20  $\mu\text{m}$  para o polvilho azedo. Estes resultados foram confirmados no estudo morfológico dos grânulos, utilizando o microscópio eletrônico de varredura (MEV). A densidade aparente da fécula de mandioca obtida foi 21,31% menor à densidade aparente do polvilho azedo, devido à formação de interstícios maiores entre as partículas na sua acomodação no recipiente.

O padrão de Difração de Raios-X, encontrado para ambas matérias-primas, foi o Tipo B, que é característico para féculas de tubérculos.

Na análise no RVA, a fécula de mandioca e o polvilho azedo apresentaram temperaturas de pasta entre 66 e 67°C. Quanto às suas viscosidades máxima e final, a fécula de mandioca apresentou valores 30,00% e 37,75% superiores, respectivamente, em relação ao polvilho azedo.

O breakdown obtido para a fécula de mandioca foi 26,99% superior à do polvilho azedo, indicando que a fécula de mandioca apresenta menor estabilidade à agitação mecânica e ao calor. Os pães de queijo elaborados com diferentes proporções de fécula de mandioca e polvilho azedo foram analisados quanto às suas propriedades físicas da massa crua (densidade aparente), propriedades físicas dos pães de queijo assados (volume específico, coeficiente de expansão, textura, cor da crosta e do miolo dos pães de queijo assados) e sensoriais (aparência geral, textura, sabor e cor).

O volume específico dos pães de queijo assados, produzidos com estas matérias-primas, oscilou entre 3,36 e 4,28 cm<sup>3</sup>/g, sendo que os pães elaborados com 100% de fécula de mandioca foram os que apresentaram a menor densidade aparente de massa e um baixo coeficiente de expansão, 27,09% menor que o encontrado para os pães de queijo elaborados com 100% de polvilho azedo.

A força de compressão obtida para os pães de queijo oscilou entre 15,29 e 23,59 N, sendo que os produtos elaborados com 100% de fécula de mandioca e/ou polvilho azedo apresentaram os maiores valores deste parâmetro.

Os pães de queijo elaborados com fécula de mandioca apresentaram a crosta mais firme e crocante em comparação aos pães de queijo elaborados com polvilho azedo, os quais apresentaram uma textura mais leve e macia.

Os pães de queijo elaborados unicamente com fécula de mandioca ou polvilho azedo apresentaram os maiores valores de luminosidade (L\*), saturação (C\*) e ângulo de tonalidade (h) da crosta, parâmetros estes obtidos pela análise de cor pelas coordenadas L\*, C\* e h.

A análise afetiva de aceitação realizada com 30 provadores não treinados, mas consumidores potenciais do produto mostraram que os pães de queijo elaborados com altos teores de fécula de mandioca apresentaram os melhores escores sensoriais quanto à aparência geral, aroma, textura e sabor, em comparação aos elaborados com altos teores de polvilho azedo.

A formulação de pão de queijo com 70% de fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo foi escolhida como a melhor formulação, pois apesar de

apresentar valores de força de compressão e coeficiente de expansão intermediários, sensorialmente foram considerados ótimos quanto à aparência geral, aroma, textura e sabor, como observado na análise de aceitação.

**Palavras-chave: Fécula de mandioca, Polvilho azedo, Pão de queijo, Análise sensorial**



## ABSTRACT

The present work analyzed the incorporation of different contents of cassava starch and sour cassava starch (100%/0%, 70%/30%, 0%/70%, 50%/50%, 0%/100%, respectively) to cheese bread dough, using the scalding process, with the objective of choosing a cheese bread formulation with optimized expansion coefficient, low compression force, yellow color and good acceptance as to sensorial attributes: (i) overall appearance; (ii) aroma; (iii) texture; (iv) flavor.

Prior to the choice of the cheese bread formulation, the main raw materials (cassava starch and sour cassava starch) were characterized physically (granulometric distribution, crystallinity pattern, color and apparent density), physico-chemically (moisture, pH, and acidity), rheologically (pasting properties) and morphologically (Scanning Electronic Microscope, SEM) .

The values of pH, acidity and moisture were within the parameters established by Brazilian legislation 12/78 for amylaceous products.

The particle size, determined by Laser Diffraction was 21.76  $\mu\text{m}$  for cassava starch and 3 to 20  $\mu\text{m}$  for sour cassava starch. These results were confirmed in the morphological study of the granules, using a Scanning Electronic Microscope (SEM). The apparent density obtained for cassava starch was 21.31% lower than the apparent density of sour cassava starch, due to the formation of larger interstices between the particles in their accommodation in the recipient.

The X-ray diffraction pattern found for both raw materials was type B, which is characteristic for tuber starches.

Cassava starch and sour cassava starch presented pasting temperatures between 66 and 67°C. As to their final maximum viscosity, cassava starch presented values 30.00% and 37.75% greater, respectively, in relation to sour cassava starch.

The breakdown obtained for cassava starch was 26.99% greater than that obtained for sour cassava starch, which shows that cassava starch presents less stability to shearing and to heat.

The cheese breads elaborated with different proportions of cassava starch and sour cassava starch were analyzed as to their physical (apparent density (of dough), specific volume, expansion coefficient, texture, color of crust and crumb) and sensorial (overall appearance, texture, flavor and color) properties.

The specific volume of cheese breads, produced with these raw materials, ranged from 3.36 to 4.28 cm<sup>3</sup>/g, noting that the breads elaborated with 100% cassava starch were the ones which presented the lowest dough apparent density and lowest expansion coefficient, being 27.09% lower than that found for cheese breads elaborated with 100% sour cassava starch.

The compression force obtained for the cheese breads ranged from 15.29 to 23.59 N, noting that the products elaborated with 100% cassava starch and/or sour cassava starch presented the greatest values for this parameter.

The cheese breads elaborated with cassava starch presented a firmer and crunchier crust, when compared to the cheese breads elaborated with sour cassava starch, which presented a softer and lighter texture.

The cheese breads elaborated only with cassava starch or sour cassava starch presented greater values of luminosity, saturation and hue angle, parameters obtained through the analysis of color by the coordinates L\*, C\* and h.

The affective analysis performed with 30 untrained panelists, potential consumers of the product, showed that the cheese breads elaborated with high contents of cassava starch presented the best sensorial scores as to overall appearance, aroma, texture and flavor, if compared to those elaborated with high contents of sour cassava starch.

The formulation of cheese bread with 70% cassava starch and 30% sour cassava starch was chosen as the best formulation as it produced cheese breads presenting intermediate values of compression and expansion coefficient, that were considered excellent as to overall appearance, aroma, texture and flavor, as observed in the acceptance analysis.

**Keywords: Cassava starch, Cassava sour starch, Cheese bread and Sensory analysis.**



## INTRODUÇÃO

O pão de queijo é um alimento que está ligado à tradicional culinária do estado de Minas Gerais há mais de duzentos anos. Como as massas de pão de queijo fabricadas nas cozinhas mineiras eram colocadas imediatamente para assar, a qualidade do pão de queijo dependia basicamente da receita, da cozinheira, do queijo e do polvilho utilizado (PIZZINATTO & ZAMBRANO, 2002).

Apesar de não haver uma tecnologia padronizada para a elaboração de pão de queijo (PEREIRA, 2001), e a sua escala de produção tem crescido durante os últimos anos (JESUS et al., 2001), o método de fabricação adotado pela grande maioria de produtores de pão de queijo utiliza como ingredientes básicos: polvilho, queijo, óleo e ovos (MACHADO, 2003). O processo segue o princípio básico de escaldamento do polvilho com água ou leite, óleo e sal; amassamento com ovos; adição de queijo, amassamento e forneamento (JESUS, 1997).

A utilização de fécula de mandioca, polvilho doce ou azedo no pão de queijo produz diferenças nas propriedades físico-químicas (textura, cor, densidade, volume, coeficiente de expansão) e sensoriais. Portanto, a escolha da proporção destes ingredientes na sua elaboração é fundamental para garantir a qualidade e aceitação final por parte dos consumidores.

Machado (2003) reportou que pães de queijo elaborados unicamente com polvilho azedo apresentaram volumes de 4,90 cm<sup>3</sup>/g. Enquanto Pereira (2001) reportou volumes de 2,34 cm<sup>3</sup>/g para pães de queijo elaborados com polvilho doce, o que evidencia o poder de expansão do polvilho azedo em relação ao polvilho doce.

Segundo Jesus (1997), a aparência dos pães de queijo elaborados com fécula de mandioca e/ou polvilho doce e azedo é similar, não sendo detectada diferença por parte dos provadores que avaliaram o produto. Ao contrário, em relação ao sabor, foi detectada uma maior preferência por pães de queijo elaborados somente com polvilho doce, em comparação aos pães de queijo elaborados com fécula de mandioca ou polvilho azedo.

Devido a esta falta de padronização de ingredientes para a obtenção de um produto final de alta qualidade, neste trabalho, foi avaliado o efeito da incorporação de diferentes proporções de fécula de mandioca e polvilho azedo nas propriedades físicas, químicas, reológicas e sensoriais do pão de queijo, permitindo assim, obter uma formulação de pão de queijo sucedida e semelhante à encontrada no mercado nacional.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos, Planta Piloto de Panificação, Laboratório de Análise Sensorial, Laboratório de Apoio e Instrumentação do DTA/FEA/UNICAMP e no Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração da FEQ/UNICAMP.

### 4.1 Materiais

#### 4.1.1 Matérias-primas

Para a produção dos pães de queijo, foram utilizados os seguintes ingredientes:

- Fécula de mandioca, marca **Amilogill 1500** (lote: 410038 07, validade 26/01/06), da empresa Cargill Agrícola S.A. (Tatuí, SP);
- Polvilho azedo, marca **Yoki** (lote: 140306, validade: 14/03/07), da empresa Yoki Alimentos (Paranavaí, SP);
- Leite UHT integral homogeneizado, marca **Shefa** (lote: 110605, validade: 11/10/05), da Usina de Beneficiamento Agropecuária Tuiuti Ltda. (Amparo, SP);
- Óleo de soja, marca **Liza** (lote: L:33 23:01 MK, validade: 17/08/06), da empresa Cargill Agrícola S.A. (Tatuí, SP);
- Queijo Minas meia cura, marca **Promissão** (lote: 260505, validade: 26/01/06), da Usina de Beneficiamento Cooperativa de Laticínios de Promissão (Promissão, SP);
- Margarina, marca **Amélia** (lote: 18042005, validade: 18/01/06), da Cia. Leco de Produtos Alimentícios (São Caetano do Sul, SP);
- Ovos vermelho grandes, marca QUALITY EGGS.

- Sal, marca **Lebre** (lote: 415CA, validade: 12/2006), da empresa Norte Salineira S.A. Indústria e Comércio NORSAL (Area Branca, RN).

#### 4.1.2 Principais Equipamentos

Além da vidraria e dos utensílios de laboratório para a elaboração das massas e dos pães de queijo, foram utilizados os seguintes equipamentos na caracterização físico-química e morfológica das matérias-primas e dos pães de queijo, análise reológica das massas e análise sensorial dos pães de queijo:

1. Agitador de peneiras para análises granulométricas, marca Bertel, modelo 295, Brasil;
2. Balança semi-analítica marca Mettler Toledo, modelo PB 3002, capacidade de 3100 g;
3. Dessecador de 200 mm, marca Pyrex;
4. Difrátômetro de raios-X, marca PHILIPS, U.S.A;
5. Espectrofotômetro COLOR QUEST II, HUNTERLAB, Reston, VA, EUA;
6. Espectrômetro de varredura a laser, MALVERN, modelo S-MAM 5005, Inglaterra;
7. Estufa, marca Titã Electrocomerciais, modelo w 4, linha W, Brasil;
8. Estufa com circulação e renovação de ar, marca Tecnal, modelo TE 394/2 Piracicaba, SP, Brasil;
9. Farinógrafo, marca BRABENDER 8101001, Duisburg, Alemanha;
10. Forno a gás, marca HYPO, modelo HF 4B, São Paulo, Brasil;
11. pH-metro, Digimed DM-20;
12. Rapid Visco Analyser, marca NEWPORT SCIENTIFIC, modelo RVA 3D+, W. Arriewood, Austrália;
13. Texturômetro TA-XT2, Stable Micro Systems, Haslemere, Inglaterra, com software XTRA DIMENSION;

14. Microscópio Eletrônico de Varredura, marca LEICA, modelo 440i, software LEO versão 3.01, Alemanha.

## **4.2 Métodos**

### **4.2.1 Análises das matérias-primas**

Foram realizadas as seguintes análises, em triplicata, tanto para a fécula de mandioca como para o polvilho azedo.

#### **4.2.1.1 Caracterização físico-química da fécula de mandioca/polvilho azedo**

##### **4.2.1.1.1 Umidade**

Determinou-se a umidade das matérias-primas por secagem em estufa, por 1 hora, a 130°C, segundo o método nº 44-15A da AACCC (1995).

##### **4.2.1.1.2 Acidez titulável**

O teor de acidez foi determinado por titulação de uma suspensão preparada da amostra (10 g de fécula de mandioca e/ou polvilho azedo em 100 mL de água destilada) com uma solução de hidróxido de sódio 0,1 N, usando-se fenoftaleína como indicador, conforme descrito nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985).

#### 4.2.1.1.3 Determinação do pH

A metodologia descrita por Plata Oviedo (1998) foi utilizada para determinação do pH. Foram pesados 10 gramas de amostra em um béquer e misturados com 100 mL de água destilada, com o auxílio de um bastão de vidro.

Após agitação em um agitador magnético, por dez minutos, o pH foi determinado.

#### 4.2.1.1.4 Cor

A cor das matérias-primas foi determinada utilizando-se o método de triestímulos (X Y Z) com o sistema  $L^*$   $a^*$   $b^*$ , como mostra a Figura 2.1 (MINOLTA, 1994), no espectrofotômetro Color Quest II HUNTERLAB (Reston, VA, EUA). Os parâmetros significam basicamente:  $L^*$  medida da luminosidade de um material, e varia do zero (para o preto) até o 100 (para o branco);  $a^*$  medida do vermelho ( $a^*$  positivo) ou do verde ( $a^*$  negativo); e  $b^*$  medida do amarelo ( $b^*$  positivo) ou do azul ( $b^*$  negativo). A medição foi realizada utilizando-se o iluminante  $D_{65}$ , refletância (objetos opacos), com ângulo do observador de  $10^\circ$  e com a especular excluída.

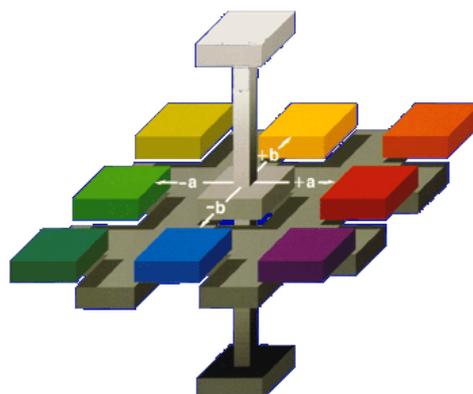


Figura 2.1 Espaço da cor Hunter  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ .

#### 4.2.1.1.5 Distribuição do tamanho de partículas

##### (i) Espectrômetro de difração de raios laser

A distribuição do tamanho de partículas da fécula de mandioca foi determinada no espectrômetro de difração de raios laser (*laser scattering spectrometer*) da marca MALVERN, modelo S-MAM 5005 (Inglaterra) utilizando o método por via úmida, onde foi utilizado como meio dispersante o álcool etílico P.A. Os dados obtidos foram processados com o programa Mastersizer-S v2.18.

##### (ii) Agitador de peneira - Granutest

A granulometria do polvilho azedo foi determinada segundo Matsuo & Dexter (1980), utilizando-se um agitador de peneiras. Foram utilizados 100 g de amostra e o conjunto de peneiras de 20, 35, 60, 80 e 100 mesh (ABNT). Após 20 minutos de vibração, calculou-se, após pesagem, a porcentagem de amostra retida em cada peneira.

#### 4.2.1.1.6 Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada pela pesagem de um volume conhecido da amostra (20 mL) numa proveta graduada de 50 mL (após três batimentos leves do polvilho dentro da proveta). Calculou-se a densidade aparente pela seguinte relação da amostra:

$$\rho = m/V$$

equação 1.1

Onde:

$\rho$  = densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m$  = massa (g);

$V$  = volume ( $\text{cm}^3$ ).

#### 4.2.1.1.7 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram avaliadas no equipamento Rapid Visco Analyser (RVA), segundo a metodologia proposta pelo ICC (1995), utilizando o programa de aquecimento Standard 1. Uma amostra de 3.5 g foi misturada com 25 mL de água, em cadinho de alumínio, utilizando uma pá de plástico descartável. A suspensão foi, então, aquecida até  $60^\circ\text{C}$ , numa taxa de  $12^\circ\text{C}/\text{min}$  e mantida a  $60^\circ\text{C}$  por 4 minutos. Em seguida, a temperatura foi elevada até  $95^\circ\text{C}$ , permanecendo 8 minutos. Finalmente, a amostra foi resfriada até  $50^\circ\text{C}$  por 8 minutos. O perfil de viscosidade foi registrado e os parâmetros calculados pelo software Thermocline para Windows (versão 1.10), acoplado ao equipamento. Os parâmetros analisados foram:

a. **Temperatura de pasta:** definida como a temperatura na qual a viscosidade aumenta pelo menos 2 RVU durante um período de 20 segundos, utilizando o programa Standard 1;

b. **Viscosidade máxima (RVU):** valor máximo de viscosidade obtido durante o teste (pico da curva);

c. **Tempo de pico da viscosidade máxima:** tempo no qual apresenta-se a viscosidade máxima;

d. **Viscosidade mínima a  $95^\circ\text{C}$  (RVU):** menor valor de viscosidade obtido após a viscosidade máxima, geralmente no começo do ciclo de resfriamento;

e. **Setback:** Valor obtido pela diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima;

f. **Breakdown:** Valor obtido pela diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade mínima;

g. **Viscosidade final a 50°C (RVU):** viscosidade obtida ao final do teste.

#### 4.2.1.1.8 Difractometria de raios-X

A difração de raios-X é uma técnica versátil, não-destrutiva, usada para a identificação e determinação quantitativa das várias formas cristalinas presentes em um pó e em amostras sólidas. Os difratogramas, tanto para a fécula de mandioca como para o polvilho azedo, foram obtidos em aparelho de difração de raios-X (*X-ray powder diffraction*), marca PHILIPS, modelo Xpert (USA). As condições da análise foram: radiação de cobre linha  $K\alpha$ ,  $L = 1,54\text{\AA}$ , em condições de trabalho de 40 Kv, 40 mA e aumento de  $0,1^\circ$  a cada cinco segundos. O ângulo de varredura foi de  $2\theta = 38^\circ$  a  $5^\circ$ , conforme Pereira (2001). A estrutura física dos grânulos foi estudada pela sobreposição dos difractogramas.

#### 4.2.1.2 Caracterização morfológica da fécula de mandioca/polvilho azedo

##### 4.2.1.2.1 Morfologia dos grânulos

Para o estudo morfológico das matérias-primas, utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura de alto vácuo (*SEM scanning electron microscope*) modelo LEO 440i, Inglaterra.

As matérias-primas foram previamente secas em estufa com circulação forçada de ar, a  $105^\circ\text{C}$ , por 24 horas. As amostras utilizadas foram dispostas sob suportes de alumínio (*stubs*) contendo uma fita de carbono de dupla face,

sendo assim possível a fixação do material. Após a montagem dos suportes, estes foram recobertos por uma camada de ouro de 92 Angstroms de espessura.

#### 4.2.2 Perfil reológico das massas de pão de queijo

O farinógrafo foi originalmente desenvolvido para a análise da qualidade da farinha de trigo, no entanto, neste trabalho, este aparelho foi utilizado na fabricação das massas de pão de queijo para o registro do perfil da consistência (em U.F.) durante o processo de mistura. A preparação da massa de pão de queijo foi realizada em um misturador contendo duas pás horizontais em forma de "Z", que giram em sentido contrário, com diferencial de velocidade de 3:2, sendo que a pá mais lenta gira a 63 rpm. A resistência que a massa ofereceu ao movimento das pás foi transmitida a um dinamômetro, o qual está conectado a um sistema de alavanca e de escala e a uma pena, que traça uma curva chamada farinograma, sobre uma carta que caminha a velocidade constante.

Para minimizar a oscilação no sistema de alavanca, um amortecedor é inserido no circuito. A temperatura no vaso misturador e no amortecedor é mantida constante, a 30°C, por um banho de água circulante, cuja temperatura é controlada por um termostato.

Para determinar os tempos necessários para cada etapa do processo de mistura da massa de pão de queijo, vários ensaios com as diferentes formulações foram realizados previamente para evitar que o tempo de mistura fosse uma variável na determinação da consistência da massa de pão de queijo.

Os tempos de mistura em cada etapa foram registrados, e o tempo ótimo foi determinado quando a consistência da mistura se manteve constante, ou seja, após um determinado período, não apresentava mudanças na leitura de consistência (U.F.).

Os ensaios no farinógrafo foram conduzidos em triplicata, obedecendo a sequência de etapa de mistura apresentadas a seguir:

- *Homogeneização da fécula de mandioca/polvilho azedo*

Uma quantidade específica (em gramas) de fécula de mandioca e/ou polvilho azedo foi adicionada no vaso e misturada por um minuto, objetivando homogeneizar o material previamente ao seu escaldamento.

- *Escaldamento da fécula de mandioca/polvilho azedo*

A mistura de leite integral, óleo de soja, sal e margarina foi previamente levada à fervura em fogão doméstico, utilizando uma panela de alumínio, antes de adicioná-la aos poucos à mistura de fécula de mandioca e/ou polvilho azedo previamente homogeneizada, conforme descrito acima. O tempo de mistura da massa do pão de queijo após o escaldamento foi de 10 minutos.

- *Incorporação de ovo*

Depois de atingido o tempo de mistura, foram adicionados à massa de pão de queijo os ovos frescos (cuja clara e gema foram previamente homogeneizados), misturando-se por um período de 2 minutos.

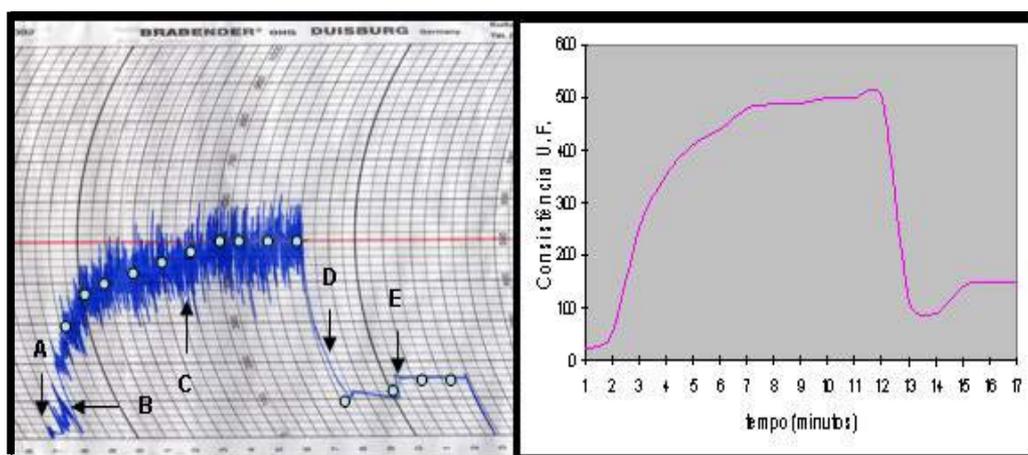
- *Incorporação de queijo Minas meia cura*

Depois de atingido o tempo de mistura do ovo, foi incorporado à massa o queijo Minas meia cura previamente ralado, misturando-se por mais 3 minutos, até obtenção da consistência final. Após esta etapa, o equipamento foi desligado.

- *Interpretação dos resultados*

As curvas de consistência da massa de pão de queijo, geradas pelo farinógrafo Brabender, foram analisadas da seguinte forma:

- (i) Para cada minuto das diferentes etapas de operação, foi calculado o valor médio em U.F. (Figura 2.2);
- (ii) Os resultados (em U.F.) obtidos no farinograma foram transladados para uma planilha do Excel para a elaboração da curva de consistência de massa de pão de queijo.



**Figura 2.2** Interpretação da curva de consistência da massa de pão de queijo. A: homogeneização da fécula/polvilho; B: escaldamento da massa; C: mistura da massa escaldada; D: adição do ovo e E: adição do queijo meia cura.

### 4.2.3 Elaboração do pão de queijo

#### 4.2.3.1 Escolha da formulação básica

Ensaio exploratórios em escala laboratorial foram conduzidos para determinar quais ingredientes e suas respectivas concentrações seriam utilizadas na elaboração dos pães de queijo. Diferentes formulações de pão de queijo foram avaliadas sensorialmente pela própria equipe de trabalho, baseando-se nos seguintes parâmetros:

- (i) Aparência da crosta e do miolo do pão de queijo;
- (ii) Textura do pão de queijo assado;
- (iii) Expansão após o forneamento;
- (iv) Sabor do pão de queijo assado.

A formulação de pão de queijo que apresentou os melhores resultados nesta avaliação preliminar é apresentada na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1. Formulação básica utilizada para a produção de pão de queijo.**

| <b>Ingredientes</b>       | <b>(g)</b> | <b>(%)</b> |
|---------------------------|------------|------------|
| <b>Fécula de mandioca</b> | 204,56     | 35,00      |
| <b>Leite</b>              | 105,00     | 17,96      |
| <b>Óleo soja</b>          | 75,00      | 12,83      |
| <b>Margarina</b>          | 10,97      | 1,88       |
| <b>Sal</b>                | 8,96       | 1,54       |
| <b>Ovos</b>               | 75,00      | 12,83      |
| <b>Queijo meia cura</b>   | 105,00     | 17,96      |

#### 4.2.3.2 Formulações de pão de queijo variando a proporção fécula de mandioca/polvilho azedo

Considerando-se a formulação básica de pão de queijo apresentada na Tabela 2.1., foram avaliadas diferentes proporções de fécula de mandioca e polvilho azedo, para a produção de cinco formulações diferentes de pães de queijo, apresentadas na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2 Formulações de pão de queijo utilizadas para a análise das propriedades físico-químicas, reológicas e sensoriais.**

| Ingredientes       | Formulações |          |          |          |          |
|--------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|
|                    | A           | B        | C        | D        | E        |
| Fécula de mandioca | 204,56 g    | 0,00 g   | 143,19 g | 61,37 g  | 102,28 g |
| Polvilho azedo     | 0,00 g      | 204,56 g | 61,37 g  | 143,19 g | 102,28 g |
| Leite integral     | 105,00 g    | 105,00 g | 105,00 g | 105,00 g | 105,00 g |
| Óleo soja          | 75,00 g     | 75,00 g  | 75,00 g  | 75,00 g  | 75,00 g  |
| Margarina          | 10,97 g     | 10,97 g  | 10,97 g  | 10,97 g  | 10,97 g  |
| Sal                | 8,96 g      | 8,96 g   | 8,96 g   | 8,96 g   | 8,96 g   |
| Ovos               | 75,00 g     | 75,00 g  | 75,00 g  | 75,00 g  | 75,00 g  |
| Queijo meia cura   | 105,00 g    | 105,00 g | 105,00 g | 105,00 g | 105,00 g |

A: 100% fécula de mandioca; B: 100% polvilho azedo; C: 70% fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo; D: 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; E: 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.

#### 4.2.3.3 Etapas do processamento dos pães de queijo

As massas de pão de queijo foram elaboradas de acordo com as seguintes etapas de processamento:

##### (i) Escaldamento da massa

Inicialmente, a fécula de mandioca e/ou o polvilho azedo foram pesados, misturados e homogeneizados. O resto dos ingredientes, com exceção dos ovos e o queijo Minas meia cura, foram despejados em uma panela de alumínio para

seu aquecimento até fervura. A mistura quente foi transladada para uma bacia plástica onde se encontrava a mistura dos ingredientes secos, visando a gelatinização da mistura de fécula de mandioca/polvilho azedo. A massa quente foi trabalhada com as mãos até a obtenção de uma consistência homogênea.

#### **(ii) Resfriamento da massa**

A massa escaldada foi deixada a temperatura ambiente por um período aproximado de 25 minutos (tempo necessário para atingir uma temperatura de 25-30°C).

#### **(iii) Incorporação dos ovos e do queijo à massa**

Após o resfriamento da massa, foram adicionados os ovos previamente homogeneizados, misturando-os com as mãos para a completa incorporação, conseguindo assim uma diminuição da consistência da massa pelo efeito emulsificante que o ovo possui e pelo teor de umidade. Posteriormente, foi adicionado o queijo Minas meia cura previamente ralado, trabalhando a massa da mesma forma como foi realizada na incorporação do ovo, até a obtenção de uma massa consistente para a moldagem dos pães de queijo.

#### **(iv) Moldagem da massa**

A massa obtida no ítem anterior foi dividida em pequenas porções pesadas em balança semi-analítica (entre 25,00 g a 25,30 g). A moldagem de pequenos cilindros (formato coquetel) de pão de queijo foi realizada manualmente.

#### **(v) Forneamento dos pães de queijo**

Após a moldagem do pão de queijo, estes foram depositados em uma forma de alumínio e, posteriormente, assados em forno a gás, com o lastro desligado e sem adição de vapor. As massas foram assadas por um período de 15 minutos, a uma temperatura de 180°C.

#### **4.2.4 Análise da massa de pão de queijo**

##### **4.2.4.1 Densidade aparente**

A densidade aparente da massa de pão de queijo foi determinada em uma proveta de 1000 mL, pelo método de deslocamento de sementes de painço (GRISWOLD, 1972). A massa de pão de queijo foi previamente embrulhada em filme plástico transparente, para evitar a aderência das sementes de painço à massa. Posteriormente, a densidade aparente foi calculada utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\rho = m/V$$

**equação 1.2**

**Onde:**

**$\rho$  = densidade aparente g/cm<sup>3</sup>;**

**m = massa crua do pão de queijo (g);**

**V = volume da massa crua do pão de queijo (cm<sup>3</sup>).**

## 4.2.5 Análise do pão de queijo assado

### 4.2.5.1 Volume específico

Após a pesagem em balança semi-analítica, o volume dos pães de queijo assados foi medido pelo método de deslocamento de sementes de painço (GRISWOLD, 1972). Nesse método, o volume do produto é calculado subtraindo-se o volume obtido na proveta pelas sementes de painço contendo o pão de queijo, do volume fixo na proveta com as sementes de painço sem produto. O cálculo do volume específico é realizado utilizando a seguinte equação:

$$V_{\text{esp}} = V / m \quad \text{equação 1.3}$$

Onde:

$V_{\text{esp}}$  = volume específico (cm<sup>3</sup>/g)

$V$  = volume do pão de queijo, (cm<sup>3</sup>);

$m$  = massa do pão de queijo (g)

### 4.2.5.2 Coeficiente de expansão

O coeficiente de expansão dos pães de queijo ( $C_e$ ) foi calculado de acordo com a relação:

$$C_e = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \quad \text{equação 1.4}$$

Onde:

$C_e$  = coeficiente de expansão (%);

$V_2$  = volume do pão de queijo assado ( $\text{cm}^3$ );

$V_1$  = volume da massa crua, ( $\text{cm}^3$ )

#### 4.2.5.3 Textura

Para determinar a força de compressão dos pães de queijo assados, foi utilizado o analisador de textura Stable Micro Systems TAXT2i (Haslemere, Inglaterra, com software XTRA DIMENSION).

Os ensaios foram realizados com “probe” cilíndrico de alumínio com extremidade plana e 100 mm de diâmetro. Os resultados foram expressos em (N). A temperatura de análise foi de aproximadamente 25°C e os parâmetros de configuração do aparelho foram: (i) velocidade de teste = 2,0 mm/s; (ii) velocidade de pré-teste = 2,0 mm/s; (iii) velocidade de pós-teste = 10,0 mm/s e (iv) distância de compressão = 50,0%. Os valores médios dos parâmetros de textura dos pães de queijo foram obtidos a partir da média de 5 replicatas. Os pães de queijo foram deixados a temperatura ambiente por um período de 1 hora previamente à sua avaliação no aparelho.



**Figura 2.3** Ensaio de força de compressão no texturômetro TA-XT2 de uma amostra de pão de queijo.

#### 4.2.5.4 Cor

A cor da crosta dos pães de queijo foi determinada em três diferentes pontos, utilizando-se o sistema  $L^* C^* h$ , o qual é uma representação polar do sistema de coordenadas do sistema  $L^* a^* b^*$ . Este sistema utiliza o mesmo diagrama do sistema  $L^* a^* b^*$ , no entanto, em coordenadas cilíndricas em vez de coordenadas retangulares (ver Figura 2.4).

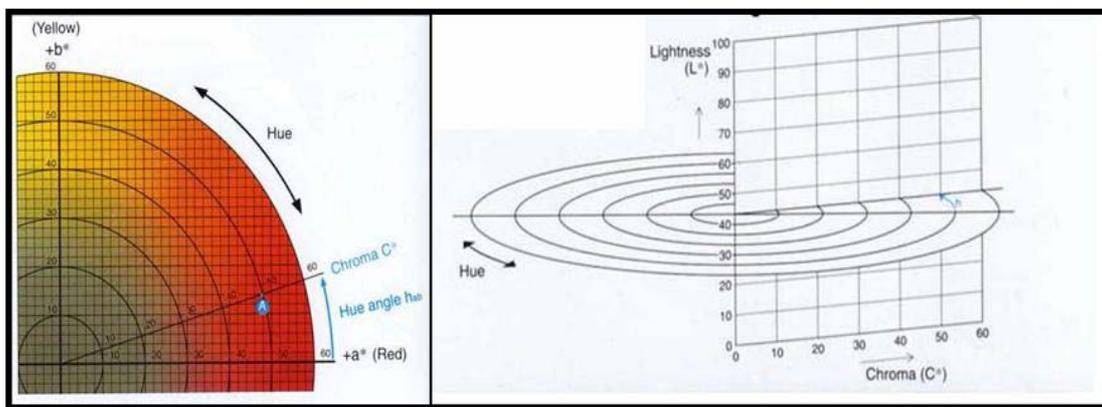


Figura 2.4 Representação do sistema de cor  $L^* C^* h$ .

O cromia  $C^*$  foi determinado utilizando a seguinte equação:

$$\text{Croma } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{equação 1.5}$$

O ângulo de saturação  $h$  foi calculado pela equação:

$$h_{ab} = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad \text{equação 1.6}$$

Neste sistema, o  $L^*$  indica a luminosidade, e é o mesmo  $L^*$  do sistema  $L^* a^* b^*$ . O  $C^*$  representa o cromia, e o  $h$  representa o ângulo de saturação. O valor

de  $C^*$  é 0 no centro, e aumenta em função da distância do centro. O ângulo de saturação  $h$  é definido como o ponto inicial do eixo  $+a^*$  expresso em graus, sendo que  $0^\circ$   $+a^*$  (vermelho),  $90^\circ$  seria o  $+b^*$  (amarelo),  $180^\circ$  seria  $-a^*$  (verde), e  $270^\circ$  igual  $-b^*$  (azul).

As análises foram realizadas no espectrofotômetro Color Quest II HUNTERLAB (Reston, VA, EUA), com o iluminante  $D_{65}$ , refletância (objetos opacos), com ângulo do observador de  $10^\circ$  e com especular excluída.

#### 4.2.5.5 Análise Sensorial

As cinco formulações de pão de queijo com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo foram avaliadas sensorialmente por 30 provadores não treinados, entre 18-35 anos, todos eles consumidores potenciais do produto e estudantes de graduação e pós-graduação da Universidade Estadual de Campinas. Foi utilizada uma ficha sensorial (APÊNDICE 1) com escala hedônica de 7 pontos, sendo o extremo de valor igual a 1 correspondente ao termo hedônico *desgostei extremamente* e o de valor 7, atribuído ao termo *gostei extremamente*.

Os atributos avaliados pelos provadores foram: (i) aparência geral; (ii) aroma; (iii) textura e (iv) sabor. O teste afetivo de aceitação foi conduzido em um laboratório de análise sensorial, utilizando-se cabines individuais com luz normal para cada provador.

As amostras de pão de queijo, de 23 gramas aproximadamente, foram servidas aos provadores à temperatura em que são consumidas ( $45^\circ\text{C}$ , aquecidos em forno elétrico) e de forma monádica, em pratos descartáveis codificados com números de três dígitos escolhidos ao acaso, de forma a não influenciá-los.

#### **4.2.6 Análise estatística dos resultados**

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente por ANOVA e o teste de Tukey, utilizando o programa Statistica 5.0 (Stat Soft, Inc., Tulsa, OK, EUA), objetivando a identificação da existência de diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as diferentes formulações de pão de queijo avaliadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização físico-química e morfológica da fécula de mandioca e do polvilho azedo.

#### 5.1.1 Umidade, pH e acidez titulável

Os valores médios de umidade, pH e acidez titulável para a fécula de mandioca e polvilho azedo são apresentados na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3 Valores médios de umidade, pH e acidez titulável para fécula de mandioca e polvilho azedo.**

| Matérias-primas    | Umidade (%)               | pH                       | Acidez Titulável         |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Fécula de mandioca | 11,31 ± 0,01 <sup>b</sup> | 5,23 ± 0,05 <sup>a</sup> | 0,45 ± 0,05 <sup>b</sup> |
| Polvilho azedo     | 11,64 ± 0,11 <sup>a</sup> | 4,08 ± 0,02 <sup>b</sup> | 4,91 ± 0,07 <sup>a</sup> |

Médias na mesma coluna, seguidas por letras distintas, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A análise estatística mostrou haver diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), pelo teste de Tukey, tanto para a umidade, como para o pH e a acidez titulável entre as duas matérias-primas.

A legislação (BRASIL, 1978) estabelece que a fécula de mandioca e o polvilho azedo podem apresentar, no máximo, 14% de umidade, o que garante a conservação do produto. Pelos resultados obtidos, as matérias-primas encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

Plata e Oviedo (1998) observaram valores de umidade de 13,67% e 18,31% para polvilho azedo com 8 e 6 horas de exposição ao sol, concluindo que o tipo de secagem influencia na umidade do produto final.

O pH da fécula de mandioca apresentou um valor médio de 5,23, considerado pelo CONCEX (BRASIL, 1993) como tipo A ou B, devido ao fato que o pH destes tipos varia de 4,5 a 6,5.

O polvilho azedo apresentou um valor médio para o pH de 4,08, sendo este menor que o reportado por Pereira et al. (1999), que foi de 4,18. Plata e Oviedo (1998) e Arias (2000) encontraram valores médios de 3,81 e 3,50, respectivamente.

Os valores baixos de pH para o polvilho azedo se-devem à formação de ácidos orgânicos durante a fermentação (CAMARGO et al., 1988), sendo considerado como um dos fatores principais de controle de crescimento de microrganismos.

A acidez titulável para o polvilho azedo foi de 4,91, diferindo em 36,46% do valor apresentado por Machado (2003).

Os resultados obtidos encontram-se dentro do estabelecido pela ABIA (1996), onde para a fécula de mandioca o valor máximo de acidez titulável deve ser 0,5 mL NaOH/100g, e para o polvilho azedo de 5,0 mL NaOH/100g.

### 5.1.2 Cor

As médias dos valores de L\*, a\* e b\*, tanto para a fécula de mandioca como para o polvilho azedo são apresentadas na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4 Valores médios das coordenadas L\* a\* b\* para fécula de mandioca e polvilho azedo.**

| Matérias-primas    | Coordenadas da cor |              |             |
|--------------------|--------------------|--------------|-------------|
|                    | L*                 | a*           | b*          |
| Fécula de mandioca | 97,09 ± 0,01       | -0,19 ± 0,01 | 1,76 ± 0,01 |
| Polvilho azedo     | 94,30 ± 0,02       | -0,01 ± 0,01 | 3,83 ± 0,01 |

A fécula de mandioca apresentou uma luminosidade, (L\*) de 97,09, classificando-a como uma amostra extremamente branca, possivelmente pelo fato dela ser obtida da primeira extração das raízes de mandioca, não sofrendo

assim, o processo de fermentação e secagem ao sol. A luminosidade ( $L^*$ ) apresentada pelo polvilho azedo foi de 94,30, sendo, portanto, mais escura que a fécula de mandioca, devido às mudanças ocorridas durante a etapa de fermentação e secagem ao sol, onde são liberados ácidos orgânicos e outros componentes que modificam a sua estrutura.

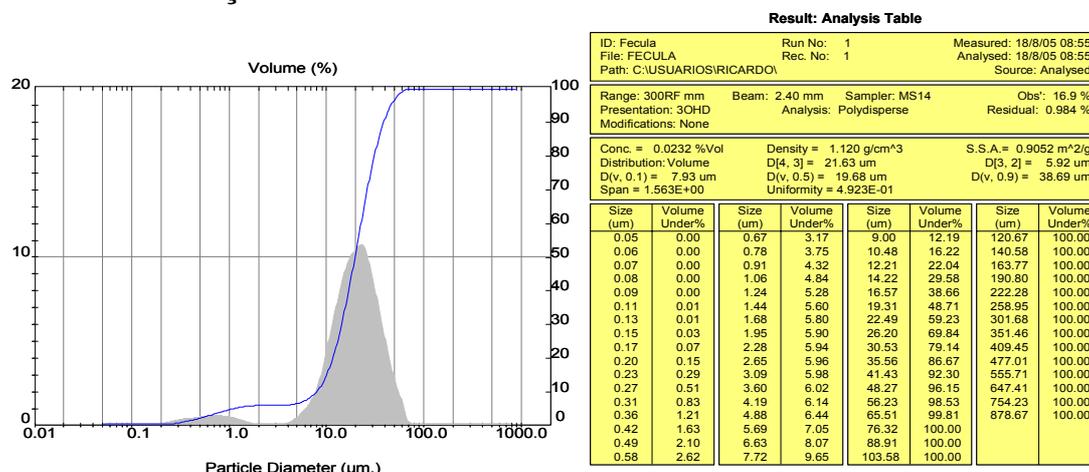
A fécula de mandioca e o polvilho azedo apresentaram valores médios para  $a^*$  de -0,19 e -0,01, respectivamente, mostrando uma coloração neutra.

Quanto ao parâmetro  $b^*$ , os valores médios obtidos para a fécula de mandioca e o polvilho azedo, foram iguais a 1,76 e 3,83, respectivamente, evidenciando uma leve tendência ao amarelo por parte do polvilho azedo em relação à fécula de mandioca. O processo de fabricação do polvilho azedo possivelmente influencia a coloração final do produto.

### **5.1.3 Distribuição do tamanho de partícula**

Os resultados da análise granulométrica, pelo método de difração de raios laser, usando o MALVERN 4001, para fécula de mandioca são apresentados na Figura 2.5.

### 5.1.3.1 Por difração de raios laser



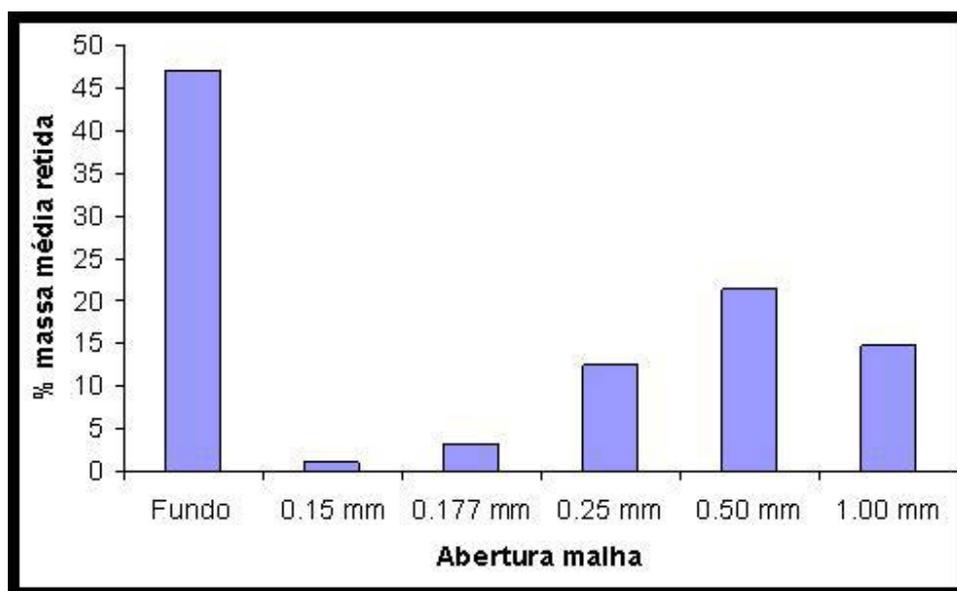
**Figura 2.5** Distribuição do tamanho de partícula da fécula de mandioca obtida no Mastersizer.

A fécula de mandioca apresentou duas curvas de distribuição normal de tamanho de partícula. A primeira distribuição apresentou tamanhos de partículas na faixa de 0,1 µm a 7,72 µm, e a segunda apresentou tamanhos na faixa de 9,00 µm a 76,32 µm. A obtenção destas duas regiões confirmou a presença, em menor proporção, de partículas finas, sendo que o valor do diâmetro médio calculado pelo software (D[4,3]) foi igual a 21,76 µm, o qual ficou próximo aos valores obtidos (5 a 24 µm) para a fécula de mandioca no estudo morfológico através da microscopia eletrônica de varredura.

Cárdenas e Buckle (1980) estudaram a produção de polvilho doce e azedo, observando que os grânulos de polvilho doce apresentaram um diâmetro de partícula de 11,95 µm, valor este inferior ao encontrado neste trabalho, possivelmente pela variedade ou condições de plantio usadas na Colombia.

### 5.1.3.2 Peneiras vibratórias

A análise da distribuição granulométrica do polvilho azedo por peneiras vibratórias apresentou uma distribuição normal entre 0,15 mm – 1,00 mm de abertura da malha da peneira e outra concentração de partículas no fundo.



**Figura 2.6** Distribuição granulométrica do polvilho azedo obtido por ensaios em peneiras vibratórias.

A maior concentração de partículas de polvilho azedo na distribuição (46,96%) ficou no fundo das peneiras vibratórias, demonstrando a fragilidade do material. A segunda maior concentração (36%) ficou retida nas peneiras com malha superior a 0,50 mm.

Hoover (2001), Cárdenas e Buckle (2001) e Franco et al (2001) apresentaram tamanhos médios de partícula para o polvilho azedo iguais a 5,40  $\mu\text{m}$ , 11,75  $\mu\text{m}$  e 11-12  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Os grânulos de polvilho azedo apresentaram diâmetros muito pequenos, e, portanto, a determinação do tamanho de partícula por difração de raios laser teria sido a forma mais efetiva de se obter resultados satisfatórios. Uma análise do tamanho de partícula do polvilho azedo foi conduzida neste experimento, no

entanto, a amostra apresentou aglomeração quando foi dispersa em álcool, sendo impossível a sua determinação.

A característica de aglomeração dos grânulos de polvilho azedo pode ser visualizada nas micrografias obtidas no estudo de morfologia dos grânulos obtidas em microscópio eletrônico de varredura (Figura, 2.9C e 2.9D).

#### 5.1.4 Densidade aparente

Os valores médios de densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) para fécula de mandioca e polvilho azedo são apresentados na Tabela 2.5.

**Tabela 2.5 Valores médios de densidade aparente para fécula de mandioca e polvilho azedo.**

| Matéria-prima      | Densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) |
|--------------------|--|
| Fécula de mandioca | $0,48 \pm 0,01^b$                      |
| Polvilho azedo     | $0,61 \pm 0,00^a$                      |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os valores de densidade aparente para a fécula de mandioca e para o polvilho azedo foram significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey, estando em acordo com os tamanhos de partículas destes produtos. O polvilho azedo, por apresentar tamanhos de partículas menores, possui densidade aparente maior devido à formação de interstícios menores entre as partículas.

#### 5.1.5 Propriedades de pasta

Os perfis de viscosidade obtidos por análise no RVA da fécula de mandioca e do polvilho azedo são apresentados nas Figuras 2.7A e 2.7B, e os parâmetros de propriedades de pasta, na Tabela 2.6.

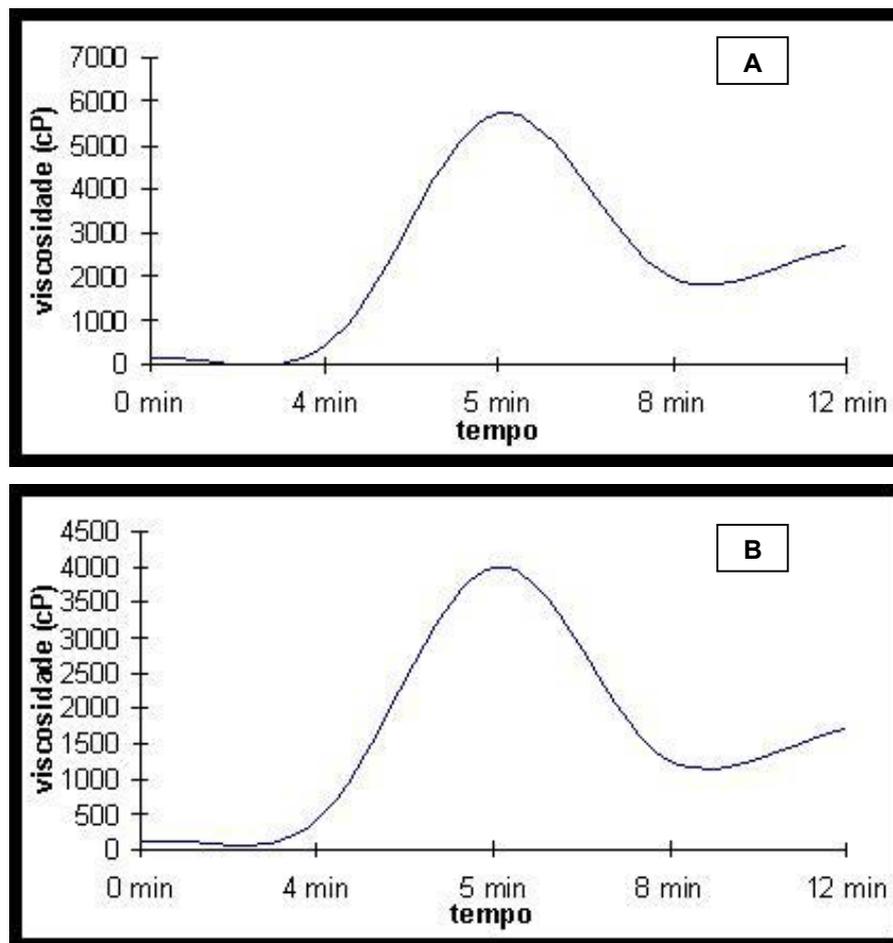


Figura 2.7 Perfil de viscosidade obtido no RVA para: (A) fécula de mandioca; (B) polvilho azedo.

**Tabela 2.6 Propriedades de pasta para fécula de mandioca e polvilho azedo.**

| <b>Parâmetros</b>                     | <b>Fécula de mandioca</b>    | <b>Polvilho Azedo</b>         |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Temperatura de pasta (°C)</b>      | 66,37 ± 0,06 <sup>a</sup>    | 67,95 ± 0,47 <sup>a</sup>     |
| <b>Tempo pico máximo (min)</b>        | 3,74 ± 0,01 <sup>a</sup>     | 3,49 ± 0,00 <sup>a</sup>      |
| <b>Viscosidade máxima (cP)</b>        | 5742,67 ± 76,93 <sup>a</sup> | 4020,00 ± 112,10 <sup>b</sup> |
| <b>Breakdown (cP)</b>                 | 3789,67 ± 26,71 <sup>a</sup> | 2766,67 ± 99,66 <sup>b</sup>  |
| <b>Viscosidade mínima a 95°C (cP)</b> | 1953,00 ± 55,97 <sup>a</sup> | 1253,33 ± 20,68 <sup>b</sup>  |
| <b>Viscosidade final a 50°C (cP)</b>  | 2729,67 ± 72,50 <sup>a</sup> | 1699,33 ± 25,42 <sup>b</sup>  |
| <b>Setback (cP)</b>                   | 794,33 ± 65,27 <sup>a</sup>  | 446,00 ± 14,97 <sup>b</sup>   |

Amidos e féculas nativas são insolúveis em água fria devido às pontes de hidrogênio que mantêm juntos os polímeros que os constituem. Quando uma suspensão de amido e/ou fécula é aquecida em excesso de água (>60%), os grânulos começam a se hidratar e inchar lentamente, perdendo a capacidade de refratar luz polarizada (birrefringência).

Com o aquecimento e agitação constante da suspensão de amido e/ou fécula, as ligações relativamente fracas em regiões amorfas entre as micelas cristalinas se dissociam, ocorrendo uma expansão tangencial e hidratação parcial para formar, eventualmente, uma rede de moléculas altamente debilitadas, mantida unida pelas micelas ainda persistentes, aumentando a sua viscosidade. A viscosidade máxima obtida para a fécula de mandioca foi de 5742 cP, evidenciando a presença de grânulos mais íntegros, enquanto que para o polvilho azedo foi igual a 4020 cP, devido à presença de grânulos mais fracos em consequência, da fermentação sofrida. Estes valores são parecidos com os reportados por Franco et al. (2002).

Segundo Mestres (1996), a temperatura de pasta varia com a umidade da amostra. Devido a esse fator, a análise realizada no RVA para as propriedades de pasta da fécula de mandioca e do polvilho azedo foi determinada com base em uma amostra com 14% de umidade, mantendo-se o teor de sólidos constante.

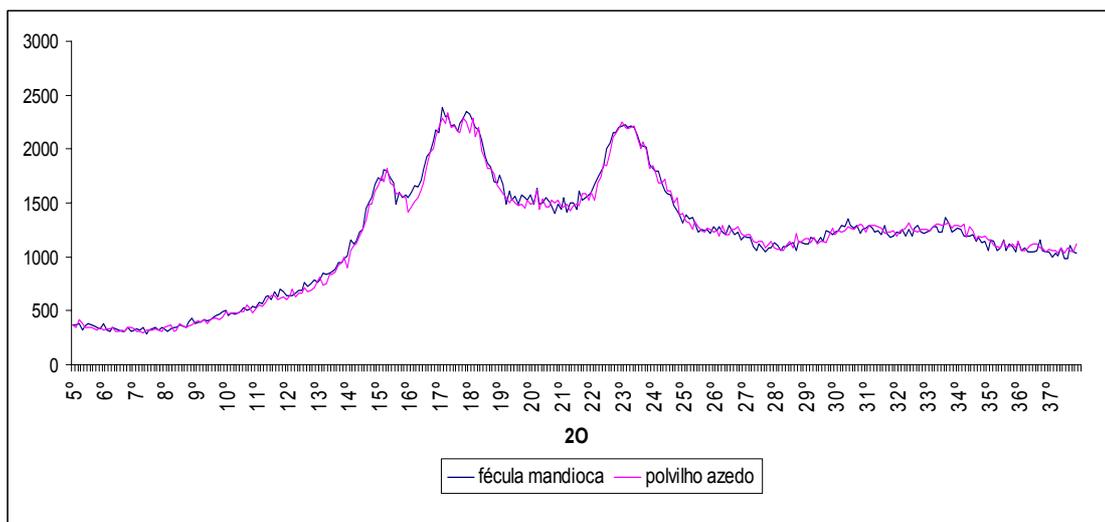
As temperaturas de pasta obtidas para a fécula de mandioca e polvilho azedo diferiram entre si apenas 2,32%, sendo os valores similares aos reportados por Franco et al. (2002) e por Cereda (2001). A temperatura observada por Ciacco & D'Appolonia (1977) para o polvilho azedo foi de 49°C, portanto, muito menor à obtida para a fécula de mandioca e o polvilho. Neste estudo a razão pela qual se podem encontrar diferentes valores de temperatura de pasta para a mesma fonte é o fato de existirem féculas e/ou amidos com alta cristalinidade, que fornecem uma maior estabilidade estrutural. As moléculas de água precisam, portanto, de maior tempo para penetrar nestas áreas cristalinas, descartando a possibilidade de que o tamanho do grânulo influencie nesta faixa de temperatura (MOORTHY, 2002).

O breakdown obtido para a fécula de mandioca foi 26,99% superior à do polvilho azedo, indicando que a fécula de mandioca apresenta menor estabilidade à agitação mecânica e ao calor, o que também foi observado por Franco et al. (2002). As duas matérias-primas apresentaram textura longa e coesa após o resfriamento a 50°C.

A viscosidade final e o valor de setback da fécula de mandioca também foram superiores ao polvilho azedo (37,75% e 43,85%, respectivamente). O valor de setback indica que o polvilho azedo apresenta melhor estabilidade a sinérese e ciclos de congelamento e descongelamento em relação à fécula de mandioca.

#### **5.1.6 Difração de raios-X**

Os difratogramas de raios-X para a fécula de mandioca e polvilho azedo são apresentados na Figura. 2.8.



**Figura 2.8 Difratogramas de raios-X de fécula de mandioca e polvilho azedo.**

Os difratogramas de raios-X das amostras de fécula de mandioca e polvilho azedo apresentaram o mesmo comportamento, caracterizando-se como de padrão B, devido à presença de picos em  $2\theta$  em  $15^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $18^\circ$  e  $23^\circ$ .

Segundo Franco et al. (2001), este padrão apresentado é típico de raízes e tubérculos.

O resultado obtido nos difratogramas permite confirmar as regiões cristalinas presentes na fécula de mandioca, e que o processo de fermentação natural não afeta a cristalinidade do polvilho azedo.

### **5.1.7 Características morfológicas da fécula de mandioca e do polvilho azedo.**

A estrutura do grânulo do amido e/ou fécula está intimamente ligada ao seu desenvolvimento na célula viva, e, portanto, o tamanho e a forma dos grânulos são característicos da planta de origem.

A fécula de mandioca e o polvilho azedo apresentaram características físicas muito interessantes, pois apesar de ambos serem grânulos de fécula

mandioca, o processo de fermentação sofrido pelo polvilho azedo produziu mudanças em relação à fécula de mandioca.

As micrografias para a fécula de mandioca (Figuras 2.9A e 2.9B), em aumentos de 4000 e 3000 vezes, apresentaram um polimorfismo com estruturas esféricas, ovais e truncadas, com uma superfície lisa e homogênea, as quais estão de acordo com os formatos apresentados por Cárdenas e Buckle (1980), no estudo morfológico de grânulos de polvilho doce. Jay-lin et al. (1994) observaram grânulos de fécula de mandioca com formatos esféricos e ovais.

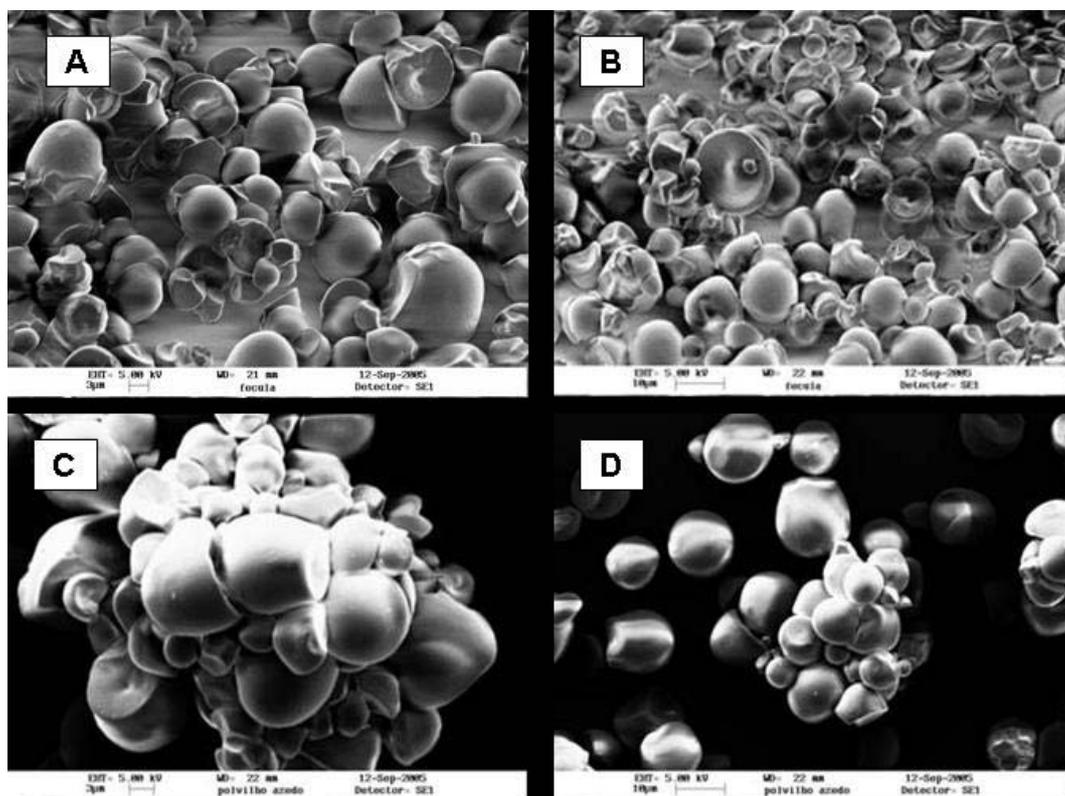
Moorthy (2002), no estudo das propriedades físico-químicas e funcionais de féculas de tubérculos tropicais, determinou que os grânulos de fécula de mandioca apresentaram um formato esférico, em sua maioria com uma superfície plana e com um extremo cônico. Franco et al. (2001) reportaram formatos parecidos, predominando os ovais e truncados.

O tamanho dos grânulos encontrado para a fécula de mandioca e o polvilho azedo oscilou entre 5 e 24  $\mu\text{m}$  e 3 e 20  $\mu\text{m}$ , respectivamente, valores que se encontram dentro dos reportados por Moorthy (2002).

Defloor et al. (1998) determinaram as propriedades físico-químicas de féculas de mandioca, encontrando uma distribuição de diâmetros entre 3 e 32  $\mu\text{m}$ , com uma média de 9,5 a 13,6  $\mu\text{m}$ . García et al. (1997) reportaram diâmetros médios de 15  $\mu\text{m}$ .

As micrografias para o polvilho azedo, apresentadas nas Figuras 2.9C e 2.9D (aumentos de 5000 e 3000 vezes), evidenciam a presença de formatos muito parecidos aos encontrados para a fécula de mandioca; com a diferença que eles registram um maior número de grânulos esféricos e ovais em relação aos outros formatos, o que está de acordo com o trabalho de Cárdenas & Buckle (1980).

Uma característica observada nos grânulos do polvilho azedo, em relação aos grânulos de fécula de mandioca, é a tendência à aglomeração e emaranhamento.

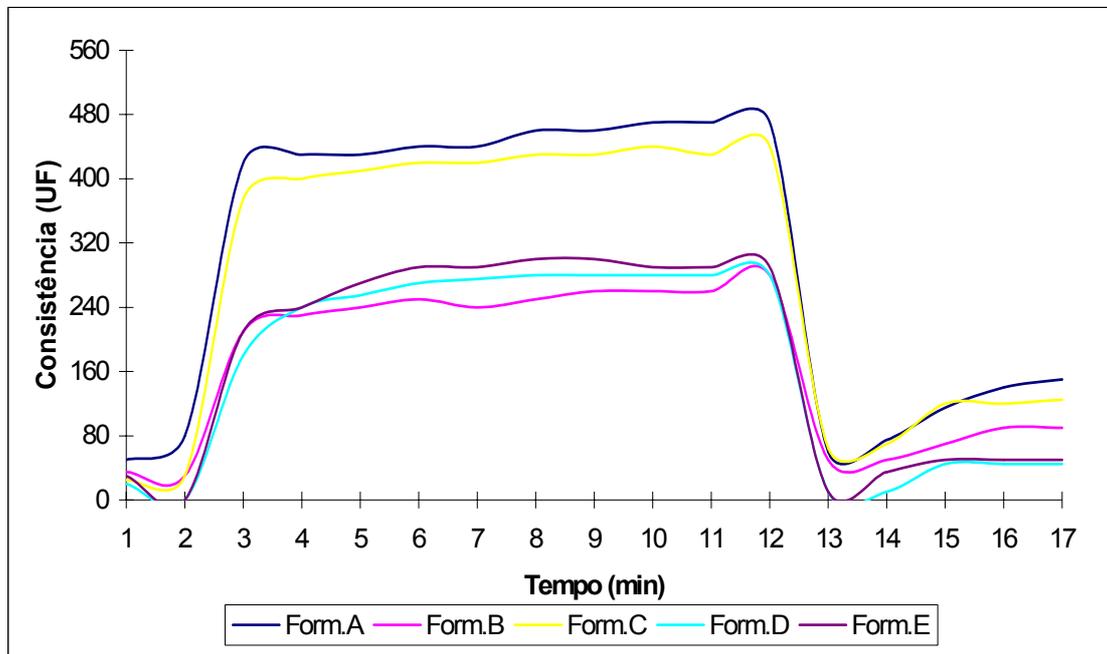


**Figura 2.9** Micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura: (A) Fécula de mandioca (4000X); (B) Fécula de mandioca (3000X); (C) Polvilho azedo (5000X); (D) Polvilho azedo (3000X).

## 5.2 Análises da massa de pão de queijo

### 5.2.1 Perfil reológico das massas de pão de queijo

O perfil de consistência para cada etapa do processo da mistura das massas de pão de queijo, no farinógrafo Brabender, são apresentados na Figura 2.10 e na Tabela 2.7.



**Figura 2.10** Curvas de consistência de massas de pães de queijo. (i) Form.A: 100% fécula de mandioca; (ii) Form.B: 100% polvilho azedo; (iii) Form.C: 70% fécula de mandioca / 30% polvilho azedo; (iv) Form.D: 30% fécula de mandioca / 70% polvilho azedo e (v) Form.E: 50% fécula de mandioca / 50% polvilho azedo.

**Tabela 2.7 Valores médios de consistência de massas de pão de queijo obtidos no farinógrafo Brabender.**

| Etapa processo<br>(minutos) | FORMULAÇÕES           |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                             | A                     | B                     | C                     | D                     | E                     |
| <b>Homogeneização</b>       |                       |                       |                       |                       |                       |
| 0                           | 50 ± 0 <sup>a</sup>   | 35 ± 5 <sup>a</sup>   | 25 ± 5 <sup>a</sup>   | 20 ± 0 <sup>a</sup>   | 30 ± 5 <sup>a</sup>   |
| <b>Escaldamento</b>         |                       |                       |                       |                       |                       |
| 1                           | 80 ± 0 <sup>a</sup>   | 30 ± 5 <sup>b</sup>   | 30 ± 0 <sup>b</sup>   | 0 ± 0 <sup>c</sup>    | 0 ± 0 <sup>c</sup>    |
| 2                           | 420 ± 20 <sup>a</sup> | 210 ± 10 <sup>b</sup> | 375 ± 15 <sup>a</sup> | 180 ± 0 <sup>b</sup>  | 210 ± 13 <sup>b</sup> |
| 3                           | 430 ± 26 <sup>a</sup> | 230 ± 10 <sup>b</sup> | 400 ± 0 <sup>a</sup>  | 240 ± 9 <sup>b</sup>  | 240 ± 5 <sup>b</sup>  |
| 4                           | 430 ± 28 <sup>a</sup> | 240 ± 5 <sup>b</sup>  | 410 ± 10 <sup>a</sup> | 255 ± 5 <sup>b</sup>  | 270 ± 18 <sup>b</sup> |
| 5                           | 440 ± 35 <sup>a</sup> | 250 ± 17 <sup>b</sup> | 420 ± 0 <sup>a</sup>  | 270 ± 10 <sup>b</sup> | 290 ± 26 <sup>b</sup> |
| 6                           | 440 ± 33 <sup>a</sup> | 240 ± 10 <sup>b</sup> | 420 ± 5 <sup>a</sup>  | 275 ± 5 <sup>b</sup>  | 290 ± 20 <sup>b</sup> |
| 7                           | 460 ± 35 <sup>a</sup> | 250 ± 20 <sup>b</sup> | 430 ± 20 <sup>a</sup> | 280 ± 13 <sup>b</sup> | 300 ± 5 <sup>b</sup>  |
| 8                           | 460 ± 13 <sup>a</sup> | 260 ± 26 <sup>b</sup> | 430 ± 18 <sup>a</sup> | 280 ± 13 <sup>b</sup> | 300 ± 0 <sup>b</sup>  |
| 9                           | 470 ± 10 <sup>a</sup> | 260 ± 26 <sup>b</sup> | 440 ± 0 <sup>a</sup>  | 280 ± 0 <sup>b</sup>  | 290 ± 5 <sup>b</sup>  |
| 10                          | 470 ± 15 <sup>a</sup> | 260 ± 26 <sup>b</sup> | 430 ± 22 <sup>b</sup> | 280 ± 0 <sup>b</sup>  | 290 ± 0 <sup>b</sup>  |
| 11                          | 470 ± 15 <sup>a</sup> | 280 ± 20 <sup>b</sup> | 440 ± 5 <sup>b</sup>  | 280 ± 5 <sup>b</sup>  | 290 ± 9 <sup>b</sup>  |
| <b>Adição de ovo</b>        |                       |                       |                       |                       |                       |
| 12                          | 60 ± 8 <sup>a</sup>   | 50 ± 8 <sup>a</sup>   | 65 ± 10 <sup>a</sup>  | 10 ± 0 <sup>b</sup>   | 10 ± 0 <sup>b</sup>   |
| 13                          | 75 ± 5 <sup>a</sup>   | 50 ± 5 <sup>a</sup>   | 70 ± 10 <sup>a</sup>  | 10 ± 0 <sup>b</sup>   | 35 ± 5 <sup>a</sup>   |
| <b>Adição de queijo</b>     |                       |                       |                       |                       |                       |
| 14                          | 115 ± 5 <sup>a</sup>  | 70 ± 5 <sup>a</sup>   | 120 ± 9 <sup>a</sup>  | 45 ± 5 <sup>a</sup>   | 50 ± 5 <sup>a</sup>   |
| 15                          | 140 ± 5 <sup>a</sup>  | 90 ± 9 <sup>b</sup>   | 120 ± 10 <sup>a</sup> | 45 ± 5 <sup>b</sup>   | 50 ± 5 <sup>b</sup>   |
| 16                          | 150 ± 10 <sup>a</sup> | 90 ± 5 <sup>b</sup>   | 125 ± 10 <sup>a</sup> | 45 ± 5 <sup>b</sup>   | 50 ± 5 <sup>b</sup>   |

Médias na mesma linha seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). A: 100% fécula de mandioca; B: 100% polvilho azedo; C: 70% fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo; D: 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; E: 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.

Os perfis apresentados pelas curvas de consistência para as diferentes massas de pão de queijo mostraram-se muito parecidos entre si em todas as etapas do processo (homogeneização, escaldamento, adição de ovo e adição do queijo meia cura).

Durante o minuto zero, onde a homogeneização da matéria seca foi realizada, a consistência oscilou entre 20 e 50 UF para as cinco formulações estudadas, não diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Os valores reportados por Machado (2003) e Pereira (2001), nos primeiros minutos de homogeneização do material foram próximos a 0 U.F.

Para o primeiro minuto, quando foi realizado o escaldamento dos ingredientes secos, observou-se uma leve elevação na consistência da massa,

devido à gelatinização do amido, que leva ao intumescimento dos grânulos de amido. Nesta etapa do processo, a consistência das cinco formulações de massas de pão de queijo apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

No minuto seguinte, a consistência das massas de pão de queijo oscilou entre 180 e 420 U.F., apresentando diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as massas com alto teor de fécula de mandioca (acima de 70%) comparado com as massas com alto teor de polvilho azedo (acima de 50%). As massas de pão de queijo elaboradas com teores acima de 70% de fécula de mandioca mostraram consistências muito maiores às massas elaboradas com teores acima de 50% de polvilho azedo. A fermentação sofrida pelo polvilho azedo, confere aos grânulos a capacidade de absorver água muito mais rapidamente, provocando uma menor consistência, fato também observado no estudo das propriedades de pasta obtidas no Rapid Visco Analyzer (RVA).

Pereira (2001) e Machado (2003) reportaram valores máximos de consistência de 400 U.F. para massas de pão de queijo elaboradas com polvilho doce e próximo a 300 U.F. para as massas elaboradas com polvilho azedo.

A partir do oitavo minuto de mistura, a consistência se manteve praticamente constante para todas as massas, sendo que a gelatinização da fécula foi atingida. Os valores oscilaram entre 270 e 460 U.F., apresentando diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey para as mesmas formulações descritas no primeiro minuto.

As maiores consistências reportadas durante esta etapa continuaram sendo para as massas elaboradas com teores acima de 70% de fécula de mandioca, enquanto que as menores foram para as massas com teores acima de 50% de polvilho azedo, mantendo-se a discussão mencionada anteriormente.

As consistências máximas reportadas por Pereira (2001) para massas de pães de queijo elaboradas com polvilho doce encontraram-se entre 400 e 450 U.F. e de 250 a 400 U.F. para massas de pão de queijo elaboradas com polvilho azedo, as quais são próximas às reportadas neste trabalho.

As massas de pão de queijo estudadas por Machado (2003) apresentaram valores máximos de consistência próximos de 350 U.F., sendo que estas foram elaboradas com polvilho azedo.

Após o tempo de mistura, a incorporação do ovo provocou uma queda drástica na consistência das massas das diferentes formulações de pão de queijo, devido ao poder emulsificante das proteínas e também ao teor de água do ovo. Nesta etapa, todas as massas de pão de queijo apresentaram uma consistência de 10 a 75 U.F., apresentando diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey entre as formulações A, B e C com as formulações D e E.

Pereira (2001) e Machado (2003) também observaram a queda substancial na consistência das massas de pão de queijo elaboradas com polvilho doce e polvilho azedo, as quais oscilaram entre 100 e 200 U.F.

A incorporação do queijo meia cura às massas de pão de queijo forneceu um leve aumento na consistência, atingindo valores que oscilaram entre 45 e 150 U.F., os quais não apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) para o primeiro minuto após a incorporação. Enquanto que para os últimos dois minutos, as consistências obtidas apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), sendo 31,82% e 47,06% menores às observadas por Pereira (2001) para polvilho doce e polvilho azedo respectivamente e 55,00% inferior à reportada por Machado (2003) para massas elaboradas com polvilho azedo.

As consistências finais das diferentes massas foram muito parecidas, apresentando uma alta coesividade e, portanto, certa resistência para retirá-las do aparelho.

### 5.2.2 Densidade aparente

Os valores médios de densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) para cada massa de pão de queijo são apresentados na Tabela 2.8

**Tabela 2.8 Densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) para massas de pão de queijo elaboradas com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo.**

| Formulação | Densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) |
|------------|--|
| A          | $0,24 \pm 0,01^{bc}$                   |
| B          | $0,27 \pm 0,00^{ab}$                   |
| C          | $0,30 \pm 0,01^a$                      |
| D          | $0,25 \pm 0,00^{bc}$                   |
| E          | $0,24 \pm 0,01^c$                      |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).  
 A: 100% fécula de mandioca; B: 100% polvilho azedo; C: 70% fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo; D: 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; E: 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.

Os resultados de densidade aparente obtidos para as diferentes massas de pão de queijo apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), pelo teste de Tukey.

As densidades médias obtidas para as massas dos pães de queijo foram próximas às reportadas por Pereira (2001) para pães de queijo elaborados com mistura de polvilho doce/azedo ( $0,31 \text{ g/cm}^3$ ), mas diferente do valor médio de  $0,20 \text{ g/cm}^3$  para massas de pães de queijo elaborados com polvilho azedo reportado por Machado (2003). Em geral, as formulações de pão de queijo elaboradas com polvilho azedo, apresentaram densidades aparentes maiores às obtidas pelos pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca.

### 5.3 Análises físicas do pão de queijo assado

#### 5.3.1 Volume específico

Os valores médios de volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) para cada formulação de pão de queijo são apresentados na Tabela 2.9.

**Tabela 2.9 Volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) para pães de queijo elaborados com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo.**

| Formulação | Volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) |
|------------|--|
| A          | $4,05 \pm 0,02^{ab}$                         |
| B          | $3,68 \pm 0,01^{bc}$                         |
| C          | $3,36 \pm 0,01^c$                            |
| D          | $4,06 \pm 0,00^{ab}$                         |
| E          | $4,28 \pm 0,00^a$                            |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A: 100% fécula de mandioca; B: 100% polvilho azedo; C: 70% fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo; D: 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; E: 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.

O volume específico e a densidade aparente dependem diretamente da expansão, sendo que a mesma estabelece uma relação direta com o volume e inversa com a densidade. Os valores médios de volume específico obtidos para as formulações de pão de queijo apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

O valor médio para o volume específico do pão de queijo elaborado com polvilho azedo obtido por Machado (2003), foi de  $4,90 \text{ cm}^3/\text{g}$ . Pereira (2001) reportou um valor de  $3,31 \text{ cm}^3/\text{g}$  para pães de queijo elaborados com uma mistura de polvilho doce/azedo. O valor obtido por Pereira (2001) é muito mais próximo às formulações de pão de queijo elaboradas com 100% de polvilho azedo ou 70% fécula de mandioca e 30% polvilho azedo, e o valor obtido por Machado (2003) é similar aos valores médios obtidos para as formulações de

pão de queijo elaboradas com 100% fécula de mandioca e mistura de fécula de mandioca com polvilho azedo 70%/30% e 50%/50%, sendo que o valor médio é para pães de queijo elaborados unicamente com polvilho azedo.

Bertolini et al. (2001) relataram que a maior mudança reportada em pães de queijo elaborados com polvilho azedo foi o desenvolvimento de uma estrutura porosa parcialmente aberta que leva a uma redução da densidade, desidratação e mudanças na cor. Neste caso, não foi observado para os pães de queijo elaborados com 100% de polvilho azedo, já que a densidade obtida foi 11,11% menor aos com fécula de mandioca, mas a estrutura porosa e levemente aberta foi observada nos pães elaborados com polvilho azedo.

### 5.3.2 Coeficiente de expansão

Os valores médios do coeficiente de expansão (%), para cada formulação de pão de queijo, são apresentados na Tabela 2.10.

**Tabela 2.10. Coeficiente de expansão (%) para pães de queijo elaborados com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo.**

| Formulação | Coeficiente de expansão (%) |
|------------|-----------------------------|
| A          | 58,33 ± 0,02 <sup>c</sup>   |
| B          | 80,00 ± 0,01 <sup>a</sup>   |
| C          | 33,33 ± 0,01 <sup>d</sup>   |
| D          | 66,67 ± 0,00 <sup>b</sup>   |
| E          | 66,67 ± 0,01 <sup>b</sup>   |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).  
A: 100% fécula de mandioca; B: 100% polvilho azedo; C: 70% fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo; D: 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; E: 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.

O coeficiente de expansão obtido para os pães de queijo com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo apresentou diferença significativa

( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey, a diferença das formulações D e E, as quais não apresentaram diferença.

O poder de expansão é um dos fatores mais importantes para a qualidade do pão de queijo, pois a expansão faz com que o miolo fique muito mais areado, leve, e esponjoso, em vez de compacto, duro e gomoso, que acontece com pães de queijo que tem pouco crescimento.

Apesar da obtenção de pães de queijo com volumes específicos menores quando elaborados com polvilho azedo, eles apresentaram coeficientes de expansão muito maiores em relação aos pães de queijo elaborados unicamente ou com alto teor de fécula de mandioca, evidenciando assim, o poder de expansão natural fornecido pelo polvilho azedo.

Os pães de queijo elaborados com 70% de fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo apresentaram um miolo macio e leve, parecido com as características obtidas pelos pães de queijos elaborados com altos teores de polvilho azedo. Confirmando que a incorporação do polvilho azedo na formulação de pão de queijo fornece estas características ao miolo.

No mercado brasileiro, existem diferentes tipos de féculas e polvilhos que são utilizados na elaboração de pães de queijo, sendo que no estudo realizado por Maeda & Cereda (2001), na avaliação de duas metodologias de expansão do polvilho azedo no forno, classificou-se os polvilhos azedos em A, B e C, devido ao grau de expansão obtido após o forneamento. Sendo fundamental a escolha de polvilho azedo tipo A, para a obtenção de pães de melhor qualidade, ou seja, de maior expansão.

Em 1998, Plata-Oviedo e Camargo (1998) estudaram o efeito da modificação do polvilho azedo com HCl por secagem natural e ao forno.

Tais polvilhos apresentaram valores muito baixos de volume específico (2,5 a 3,1  $\text{cm}^3/\text{g}$ ), resultando em biscoitos duros e densos, parecidos aos obtidos com fécula de mandioca. Para biscoitos elaborados com polvilho azedo obtido por secagem natural, os valores de expansão foram muitos maiores em relação ao obtido por secagem ao forno.

Bertolini (2001) determinou que a expansão do polvilho azedo, durante o forneamento, pode ser atribuída ao incremento da pressão causado pela evaporação da água, e a uma menor viscosidade causada pela despolimerização do amido, o que reduz a força de resistência à expansão.

Além disso, a transição térmica modifica as propriedades termomecânicas da massa, afetando o caráter reológico e a expansão. Vatanasuchart et al. (2005) informaram que a expansão no forno pode envolver a reassociação de moléculas de amido de tamanho reduzido de amilose e/ou amilopectina em regiões amorfas.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos na análise reológica da massa de pão de queijo no farinógrafo Brabender. As massas de pão de queijo que obtiveram consistências mais baixas foram aquelas elaboradas com teor de polvilho azedo acima de 50%, onde as massas obtidas apresentaram-se muito mais pegajosas do que as massas com alto teor de fécula de mandioca, provocando uma maior expansão durante o forneamento.

### **5.3.3 Textura**

Os valores médios de força de compressão (N) para cada formulação de pão de queijo são apresentados na Tabela 2.11.

**Tabela 2.11 Força de compressão (N) para pães de queijo elaborados com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo.**

| Formulação | Força Compressão (N)       |
|------------|----------------------------|
| A          | 23,59 ± 1,93 <sup>a</sup>  |
| B          | 21,74 ± 0,63 <sup>a</sup>  |
| C          | 21,13 ± 0,52 <sup>ab</sup> |
| D          | 15,30 ± 0,29 <sup>bc</sup> |
| E          | 18,20 ± 1,34 <sup>c</sup>  |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A: 100% fécula de mandioca; B: 100% polvilho azedo; C: 70% fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo; D: 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; E: 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.

A força de compressão determinada para as diferentes formulações de pão de queijo não apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey entre a formulação A e B, mas apresentou diferença com as outras formulações.

Os valores oscilaram entre 15,30 N e 23,59 N, evidenciando que a utilização de diferentes teores de fécula de mandioca e/ou polvilho azedo nas diferentes formulações de pão de queijo influenciaram nas propriedades de resistência do produto final, o que também foi observado no perfil reológico das massas no farinógrafo Brabender.

A capacidade de expansão que o polvilho azedo fornece ao pão de queijo permite que a força necessária para comprimi-lo uma distância de 50% (da altura do pão de queijo) seja muito menor à necessária para pães de queijo elaborados com alto teor de fécula de mandioca, tornando-os mais leves e macios.

Machado (2003) obteve uma força de compressão para pão de queijo elaborado com polvilho azedo de 16,64 N, sendo similar à força observada, neste trabalho, para comprimir os pães elaborados com 50% de fécula de mandioca e 50% de polvilho azedo.

Pereira (2001) apresentou valores de compressão similares aos mostrados por Machado (2003), sendo que pães elaborados com 100% de

polvilho doce ou azedo, e mistura de ambos na proporção de 50%/50%, apresentaram uma força de compressão de 16,34 N, 16,44 N e 15,87N, respectivamente.

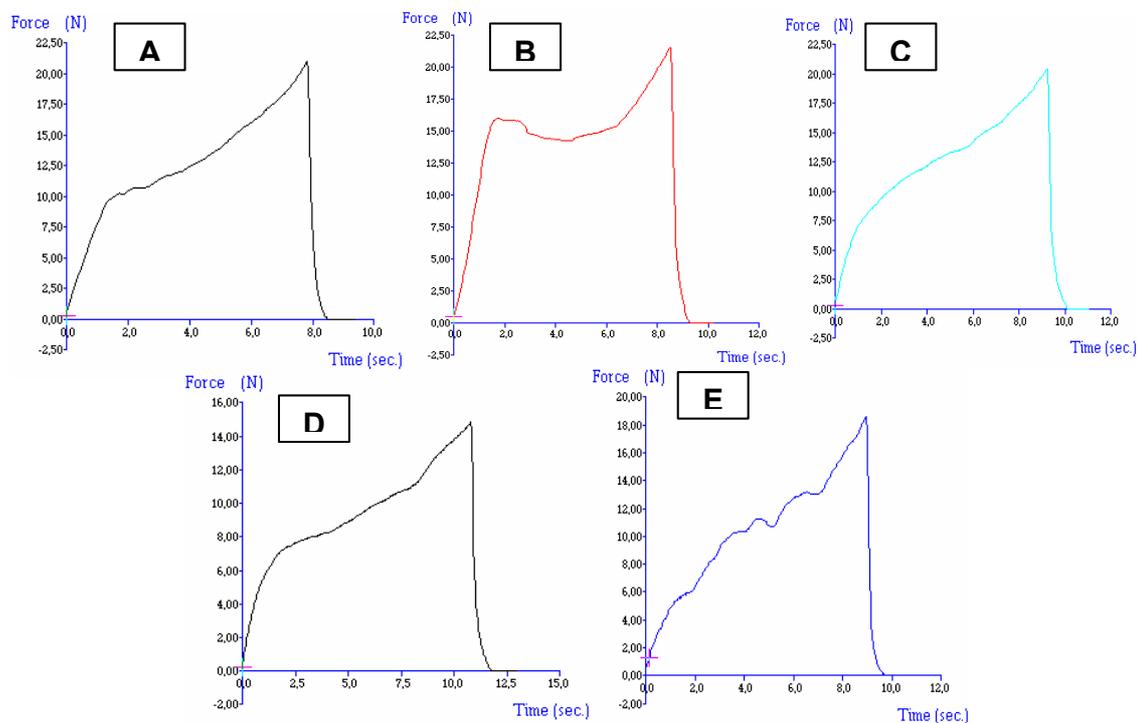
Os resultados obtidos permitem confirmar que tanto as formulações obtidas aqui como as estudadas por Pereira (2001) mostraram que a elaboração de pães de queijo com mistura de fécula de mandioca e polvilho azedo diminui a força de compressão, em relação à força necessária para comprimir pães de queijo elaborados unicamente com fécula de mandioca.

Machado (2003) avaliou diferentes formulações de pão de queijo com água ou leite, observando que as formulações elaboradas com água apresentaram forças de compressão muito maiores às necessárias para os pães de queijo elaborados com leite, sendo os valores iguais a 28,99 N e 16,64 N, respectivamente.

As formulações de pão de queijo, neste estudo, foram elaboradas unicamente com leite, sendo, portanto, o teor de fécula de mandioca e o polvilho azedo que determinaram a força de compressão necessária para comprimir 50% o produto.

As curvas de compressão para as formulações de pão de queijo com 100% de polvilho azedo e 50% de fécula de mandioca e 50% de polvilho azedo apresentaram uma série de picos antes de atingir o ponto máximo de resistência, o que evidencia a presença de uma casca heterogênea, possivelmente devido à migração de umidade do miolo para a crosta do pão de queijo (Figuras 2.11A a 2.11E).

As demais curvas mostraram um aumento gradativo na compressão, sem picos de ruptura, condizente com as características externas do pão de queijo, que apresentou uma casca mais homogênea e lisa.



**Figura 2.11** Curvas de força média de compressão de diferentes formulações de pães de queijo: (A) 100% fécula de mandioca; (B) 100% polvilho azedo; (C) 70% fécula de mandioca e 30% polvilho azedo; (D) 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; (E) 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.

### 5.3.4 Cor

Os valores médios das coordenadas da cor ( $L^* C^* h$ ) para a crosta do pão de queijo, para cada formulação estudada, são apresentados na Tabela 2.12.

**Tabela 2.12 Valores médios de L\* C\* h para a crosta de pães de queijo elaborados com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo.**

| Formulações | Coordenadas da cor        |                           |                           |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|             | L*                        | C*                        | h                         |
| <b>A</b>    | 83,25 ± 0,83 <sup>a</sup> | 31,76 ± 0,18 <sup>a</sup> | 87,35 ± 0,09 <sup>a</sup> |
| <b>B</b>    | 83,07 ± 0,23 <sup>a</sup> | 26,00 ± 1,17 <sup>b</sup> | 87,02 ± 0,28 <sup>a</sup> |
| <b>C</b>    | 81,05 ± 0,22 <sup>a</sup> | 22,96 ± 0,81 <sup>b</sup> | 86,51 ± 0,29 <sup>a</sup> |
| <b>D</b>    | 80,30 ± 0,63 <sup>a</sup> | 22,21 ± 0,81 <sup>b</sup> | 85,35 ± 0,70 <sup>b</sup> |
| <b>E</b>    | 76,83 ± 1,96 <sup>b</sup> | 21,47 ± 0,33 <sup>b</sup> | 84,01 ± 0,95 <sup>b</sup> |

Médias na mesma coluna, seguidas por letras distintas, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). A: 100% fécula de mandioca; B: 100% polvilho azedo; C: 70% fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo; D: 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; E: 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.

O valor de luminosidade (L\*) para a formulação E, e o valor de saturação (C\*) da formulação A apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) em relação às outras formulações, assim como os valores de ângulo de tonalidade (h) apresentaram diferença significativa a  $p \leq 0,05$  entre as formulações A, B e C com as formulações D e E.

Os valores de luminosidade da crosta (L\*) dos pães de queijo obtidos para cada formulação de pão de queijo oscilaram entre 76,83 a 83,25, sendo que a formulação elaborada com 50% de fécula de mandioca e 50% de polvilho azedo (formulação E) apresentou o menor valor ( $p \leq 0,05$ ) em comparação às outras formulações de pão de queijo estudadas.

A saturação (C\*) é um parâmetro associado à pureza da cor de um objeto, sendo que, as formulações de pão de queijo com diferentes teores de fécula de mandioca e/ou polvilho azedo apresentaram uma saturação da crosta baixa, cujos valores obtidos oscilaram entre 21 e 22.

As formulações de pão de queijo elaboradas com 100% de fécula de mandioca apresentaram uma maior saturação da crosta (C\*), portanto, importante devido às características típicas do produto, e a presença de altos

teores de polvilho azedo fazem com que o pão de queijo obtenha uma crosta com baixa saturação ( $C^*$ ), ou seja, menos intensa.

O ângulo de tonalidade da crosta (h) obtida para todas as formulações de pão de queijo com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo se situou no primeiro quadrante do diagrama de cor, estando entre os eixos +a (vermelho) e +b (amarelo). Adicionalmente, constatou-se que todos os valores obtidos foram superiores a  $84^\circ$ , tendendo mais ao amarelo do que ao vermelho, o qual pode ser explicado pela incorporação de ovo fresco e o queijo Minas meia cura ao pão de queijo.

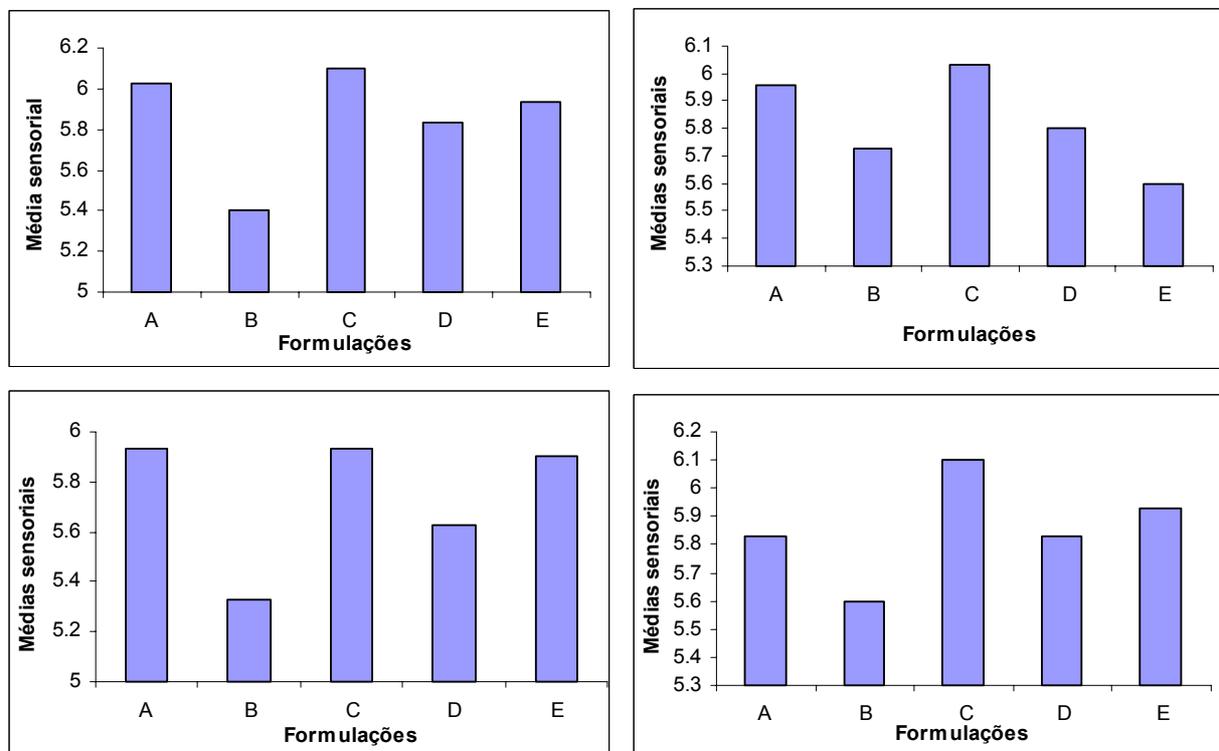
### 5.3.5 Análise sensorial dos pães de queijo

Os valores médios para cada atributo sensorial obtido na análise afetiva de aceitação das formulações de pão de queijo são apresentados na Tabela 2.13 e na Figura 2.12.

**Tabela 2.13 Médias sensoriais dos atributos sensoriais avaliados no teste de aceitação de pães de queijo.**

| Atributos       | Formulação A      | Formulação B      | Formulação C      | Formulação D      | Formulação E      |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Aparência geral | 6,03 <sup>a</sup> | 5,40 <sup>a</sup> | 6,10 <sup>a</sup> | 5,83 <sup>a</sup> | 5,93 <sup>a</sup> |
| Aroma           | 5,96 <sup>a</sup> | 5,73 <sup>a</sup> | 6,03 <sup>a</sup> | 5,80 <sup>a</sup> | 5,60 <sup>a</sup> |
| Textura         | 5,93 <sup>a</sup> | 5,33 <sup>a</sup> | 5,93 <sup>a</sup> | 5,63 <sup>a</sup> | 5,90 <sup>a</sup> |
| Sabor           | 5,83 <sup>a</sup> | 5,60 <sup>a</sup> | 6,10 <sup>a</sup> | 5,83 <sup>a</sup> | 5,93 <sup>a</sup> |

Médias na mesma linha seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). A: 100% fécula de mandioca; B: 100% polvilho azedo; C: 70% fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo; D: 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; E: 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.



**Figura 2.12** Histogramas das medias sensoriais obtidas no teste de aceitação de pães de queijo. A: 100% fécula de mandioca; B: 100% polvilho azedo; C: 70% fécula de mandioca e 30% de polvilho azedo; D: 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo; E: 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.

Os pães de queijo com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo podem ser visualizados nas Figuras 2.13A e 2.13B.



Figura 2.13A Pães de queijo elaborados com (i) 100% fécula de mandioca e (ii) 100% polvilho azedo.



Figura 2.13B Pães de queijo elaborados com (i) 70% fécula de mandioca e 30% polvilho azedo; (ii) 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo e (iii) 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo.

As médias sensoriais para todos os atributos avaliados (*aparência geral, aroma, textura e sabor*) não apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) para as diferentes formulações pelo teste de Tukey.

Os principais fatores de aceitabilidade para avaliação de produtos alimentícios são: (i) aparência geral; (ii) aroma; (iii) textura e (iv) sabor. Se um destes atributos não consegue atingir as expectativas dos consumidores, o alimento não vai ser consumido, ou, se ele é consumido vai provocar efeitos negativos por parte dos consumidores (FARDI & FAUBION, 1990).

A aparência geral dos pães de queijo elaborados unicamente com fécula de mandioca ou polvilho azedo apresentaram valores médios de 6,03 e 5,40, respectivamente, sendo próximos aos reportados por Pereira (2001), que foram igual a 6,10 e 5,90, para pães de queijo elaborados com polvilho doce e azedo, respectivamente.

Considerando-se todas as formulações de pães de queijo com diferentes teores de fécula de mandioca e/ou polvilho azedo avaliadas pelos consumidores potenciais do produto, a maior aceitação observada para o atributo aparência geral foi para os pães de queijo elaborados com alto teor de fécula de mandioca (70% e 100%), os quais apresentaram uma média de 6,03 e 6,10 respectivamente.

Acredita-se que o consumidor prefira o produto que não lembre o biscoito de polvilho azedo, como reportado na ficha sensorial por mais de 10% dos provadores que realizaram o teste afetivo de aceitação.

Jesus (1997), ao contrário do observado neste trabalho, observou que 70% dos provadores que realizaram a análise de aceitação de pães de queijo com diferentes teores de polvilho doce e/ou azedo, preferiram, em primeiro lugar, a aparência geral dos pães de queijo elaborados somente com polvilho azedo, e somente 20% dos provadores preferiram, a aparência geral dos pães de queijo elaborados com polvilho doce.

Os pães de queijo elaborados com 100%, 70% e 50% de polvilho azedo, apresentaram médias muito próximas entre si, sendo iguais a 5,43, 5,83 e 5,93 respectivamente, mas pode se observar uma ligeira queda na aceitação

provocada pela utilização do polvilho azedo, ou seja, um aumento na média para estes pães de queijo conforme aumentou o teor de fécula de mandioca na formulação.

As variações reportadas nas formulações de pão de queijo nos diferentes trabalhos ratificam claramente a falta de padronização de ingredientes e processo, uns dos maiores problemas até hoje não solucionados no mercado, sendo observado também por Minim et al. (2000).

Estes autores, no estudo do perfil sensorial e aceitabilidade de formulações de pão de queijo através da análise descritiva quantitativa, comprovaram que as características sensoriais mudam significativamente ( $p \leq 0,05$ ) com a variação dos ingredientes utilizados nas formulações. A inexistência de tecnologia de produção estabelecida, caracterização ou tipificação do produto conduz à comercialização de diversas formulações no mercado brasileiro identificadas como pão de queijo.

O aroma também constituiu-se em um atributo do pão de queijo que pode determinar a aceitação do produto, pois os consumidores apreciam pães de queijo com aroma intenso a queijo, sendo, portanto, o tipo de queijo um dos fatores que influem na avaliação do aroma. Este fato foi observado por Jesus (1997), na avaliação do efeito de diferentes tipos de queijo na qualidade do pão de queijo, que concluiu que o queijo Minas padrão obteve a maior média (3,1 de um máximo de 5) na aceitação, em comparação aos obtidos para o queijo mussarela, parmesão e Minas curado, (2,9, 2,6 e 2,3, respectivamente).

Como observado na Tabela 2.13, os pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca ou polvilho azedo apresentaram médias de 5,96 e 5,73, para a aceitação do aroma respectivamente, sendo que os pães de queijo elaborados com fécula de mandioca apresentaram uma aceitação levemente superior em relação aos com polvilho azedo.

As formulações de pão de queijo que continham uma mistura de fécula de mandioca e polvilho azedo apresentaram médias próximas entre si, sendo que o maior valor (6,03) foi obtido para os pães de queijo elaborados com 70% fécula de mandioca e 30% polvilho azedo, mantendo-se o critério de aceitação para

pães de queijo elaborados com alto teor de fécula de mandioca em relação aos elaborados com polvilho azedo.

Apesar dos pães de queijo elaborados com fécula de mandioca apresentarem uma maior média, não foi observada uma diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey, estando de acordo com os resultados observados por Pereira (2001), para os diferentes teores de polvilho avaliados na elaboração de pães de queijo.

A textura dos pães de queijo é um parâmetro intimamente ligado à umidade do produto, beneficiando a manutenção da qualidade após o assamento, sendo, portanto de grande importância na aceitação do produto.

Pela Figura 2.13, observou-se que a textura dos pães de queijo produzidos com 100% e 70% de fécula de mandioca apresentaram ambos uma média de 5,93, e as formulações com 100% e 70% de polvilho azedo apresentaram uma média de 5,33 e 5,63, respectivamente. Como observado anteriormente para a aparência geral, a utilização de fécula de mandioca forneceu melhores resultados em comparação com o polvilho azedo.

Os provadores reportaram que a textura dos pães de queijo elaborados com 100% fécula de mandioca ou polvilho azedo foi compacta, grudenta e borrachuda. Sendo que, para os pães de queijo elaborados com polvilho azedo, os provadores reportaram maior número de vezes estas características em relação aos pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca.

Os pães de queijo elaborados com 70% fécula de mandioca e 30% polvilho azedo apresentaram uma textura mais leve e macia, sendo próxima à reportada por Jesus (1997) para pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca.

A formulação de pão de queijo com 30% fécula de mandioca e 70% polvilho azedo apresentou uma textura borrachenta, seca e crocante, sendo parecida à textura reportada por Jesús (1997) para pães de queijo elaborados com 100% de polvilho azedo.

Jesus (1997) também avaliou sensorialmente a textura do miolo dos pães de queijo, para formulações elaboradas unicamente com fécula de mandioca ou

com polvilho azedo. Os pães de queijo elaborados com fécula de mandioca foram considerados por 50% dos provadores como os de maior preferência, enquanto que 40% dos provadores consideraram, em primeiro lugar, os pães de queijo elaborados com polvilho azedo. A formulação 50% fécula de mandioca e 50% polvilho azedo obteve uma média de 5,90, sendo um valor intermediário entre as formulações com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo.

Os resultados de textura sensorial ficaram próximos aos reportados pela força de compressão (N) instrumental para as diferentes formulações de pão de queijo, onde a mistura de fécula de mandioca e polvilho azedo apresentou médias sensoriais inferiores às reportadas para os pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca ou polvilho azedo.

O sabor dos alimentos é outro atributo de qualidade que influi diretamente no consumo contínuo ou na sua completa rejeição.

Os valores médios obtidos para todas as formulações de pão de queijo foram próximas entre si, sendo iguais 5,60, 5,83 e 5,93 para as formulações de pão de queijo com teores de 100, 70 e 50% de polvilho azedo, respectivamente, e 5,83 e 6,10 para os pães de queijo elaborados com alto teor de fécula de mandioca (70% e 100%, respectivamente).

Estes resultados evidenciam que a presença de baixos ou altos teores de fécula de mandioca na formulação de pão de queijo melhora o sabor dos pães.

Este fato também foi observado por Pereira (2001), para pães de queijo elaborados com polvilho doce, onde a média de sabor obtida em relação aos pães elaborados com polvilho azedo foi maior, no entanto, não significativa a  $p \leq 0,05$ .

Jesus (1997) relatou também que não obteve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey para o atributo de sabor, quando pães de queijo elaborados com fécula de mandioca ou polvilho azedo foram avaliados, já que ambos foram considerados por 20% dos provadores como os de maior preferência.



## CONCLUSÕES

O perfil reológico das massas de pão de queijo, obtido no farinógrafo Brabender, mostrou que os pães de queijo elaborados com 70% e 100% de fécula de mandioca apresentaram as maiores consistências durante o tempo de mistura após o escaldamento. Durante a incorporação do ovo, as massas apresentaram uma queda substancial da consistência, aumentando ligeiramente após a incorporação do queijo. As massas de pão de queijo obtidas de formulações com alto teor de polvilho azedo apresentaram menor consistência final em relação às massas elaboradas com alto teor de fécula de mandioca, fato este observado no momento de retirá-las do aparelho.

O poder de expansão do polvilho azedo, devido às mudanças ocorridas durante o processo de fermentação desta matéria-prima, ficou evidente quando foram observadas as características de densidade e volume específico dos pães de queijo assados. Observou-se uma redução na densidade aparente e aumento do volume específico dos pães de queijo, que se tornaram mais leves, macios e de estrutura porosa aberta, em relação aos pães de queijo elaborados com fécula de mandioca.

Os pães de queijo com alto teor de fécula de mandioca apresentaram uma força de compressão maior que os pães de queijo elaborados com polvilho azedo. A utilização de fécula de mandioca fornece pães com menor expansão e estrutura mais compacta, o que reduz a migração de umidade do miolo à crosta durante o forneamento, provocando a crocância observada.

A saturação da crosta ( $C^*$ ) apresentada pelos pães de queijo com alto teor de fécula de mandioca (100% e 70%) foi entre 3,27% e 18,13%, maior em comparação à obtida para os pães de queijo elaborados com os mesmos teores de polvilho azedo, os quais após o assamento no forno apresentaram uma cor acinzentada que lembra a cor do biscoito de polvilho.

Sensorialmente, os pães de queijo elaborados com fécula de mandioca ou polvilho azedo foram bem aceitos entre os consumidores, e não apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) para todos os atributos avaliados (aparência geral, aroma, textura e sabor). Portanto, as duas matérias-primas podem ser utilizadas igualmente na produção de pães de queijo com a mesma qualidade sensorial nas concentrações estudadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**. 9. ed. Saint Paul: AACC, 1995.

AOAC – Association of Official Analytical Chemists **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 16<sup>a</sup> ed., 3. rev. Gaithersburg: AOAC International, 1997.

ARIAS, L.V.B. **Fécula de mandioca e polvilho azedo para fabricação de pão de queijo**. In. PIZZINATTO, A; ORMENESE, R.C.S.C. SEMINÁRIO PÃO DE QUEIJO. INGREDIENTES, FORMULAÇÃO E PROCESSO. Campinas. Governo do Estado de São Paulo/Secretaria de Agricultura e Abastecimento/Agência Paulista de Tecnologia de Agronegócios/Instituto de Tecnologia de Alimentos/Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolate, 2000. p.1-14.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS. *Compêndio da Legislação de alimentos*. Atos do Ministério de Saúde. São Paulo: ABIA, 1996.

BERTOLINI, A.C.; MESTRES, C.; LOUDIN, D.; VALLE, G.D.; COLONNA, P. **Relationship between thermomechanical properties and baking expansion of sour cassava starch (Polvilho azedo)**. Journal of Science and Food Agricultural, v.81, p. 429-435. 2001.

BRASIL. Resolução nº12/78 da Comissão Nacional de Normas e Padrões de Alimentos. Aprova as normas técnicas especiais do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas). *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF. Jul. 1978 Seção 1, pt I.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Resolução n.66/71 do Conselho Nacional do Comércio Exterior. Normas de classificação dos produtos amiláceos exportáveis. In: MATTOS, M. da C. **Normas de padronização e classificação**. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Agropecuária/Divisão de Produção Vegetal/Serviço de Padronização e Classificação Vegetal, 1993. p. 99-105.

CAMARGO, C.; COLONNA, P.; BULEON, A.; RICHARD-MOLARD, D. **Functional properties of sour cassava (*Manihot utilissima*) starch: polvilho azedo**. Journal of Science and Food Agriculture, London, v.45, n.3, p. 273-289, 1988.

CÁRDENAS, O.S.; BUCKLE, T.S. **Sour cassava starch production: a preliminary study**. Journal of Food Science, v.45, n.6, p.1509-1512 e 1528. 1980.

CIACCO, C.F.; D'APPOLONIA, B.L. **Functional properties of composite flours containing tuber flour or starch**. Baker's Digest, v.51, n.5, p. 46-50. 1977.

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

FARDI, H.; FAUBION, J.M.; **Dough rheology and baked product texture**. 3<sup>a</sup>.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 605 p.

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

FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais de amido**. v.1, Fundação Cargill. 224p. 2001.

GARCÍA, V.; COLONNA, P.; BOUCHET, B.; GALLANT, D.J. **Structural changes of cassava starch granules after heating at intermediate water contents**. Starch/Starke, v.49, n.5. p. 171-179, 1997.

GRISWOLD, R.M. Estudo experimental dos alimentos. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1972. 469p. PEREIRA, S.G.I. **Avaliação química e sensorial de pão de queijo enriquecido com folhas de cenoura**. Disertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, 2002.

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

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos químicos e físicos para Análises de alimentos. 3 ed. São Paulo, v.1, 1985. 126p.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Rapid Pasting Method using the Newport Rapid Visco Analyser**. ICC Standard No. 162, Int. Association of Cereal Science and Technology. 1995.

JAY-LIN, J.; TUNYAWAT, K.; SHARON, L.; AMES, I.A.; HENZY, Z.; DARIEN, I.L.; ROBYT, F.; AMES, I.A. **Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy**. Starch/starke, v.46, p. 121-129, 1994.

JESUS, C.C. de. **Contribuição para a caracterização físico-química e sensorial do pão de queijo.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)- Faculdade de Farmácia, Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte 1997.

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

MACHADO, A.V. **Efeito do escaldamento nas propriedades tecnológicas da massa e do pão de queijo.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)- Universidade Federal de Lavras, 2003.

MATSUO, R.R.; DEXTER, J.E.; **Comparison of experimentally milled durum wheat of semolina produced by some Canadian commercial mills.** Cereal Chemistry, Saint Paul, v.57, n.2, p. 117-122. 1980.

MESTRES, C. **Los estados físicos del almidón.** In. Conferencia Internacional de Almidón, 1996, Quito. **Anais....** Quito, 1996. p.2.

MINIM, V.P.R.; MACHADO, P.T.; CANAVESI, E.; PIROZI, M.R. **Perfil sensorial e aceitabilidade de diferentes formulações de pão de queijo.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.20, n.2, p. 154-159, maio/ago. 2000

MINOLTA. **Precise color communication: color control from feeling to instrumentation.** MINOLTA Co., Ltd., 1994, 49p.

MOORTHY, N.S. **Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review.** Starch/Starke, v.54, p. 559-592. 2002.

PEREIRA, J. **Caracterização química, física, estrutural e sensorial do pão de queijo**. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras. 2001.

PEREIRA, A.J.G.; JESUS, C.C. de; FERREIRA, F.L.; LABODSIERE, L.H.E.S.; ROCHA, R de C.F.; JOKI, L. **Caracterização física e química de pão-de-queijo assado comercializado em Belo Horizonte**, Minas Gerais. In. Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos. **Resumos.....**Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1999. p.25.

PIZZINATTO, A.; ZAMBRANO, F. **Pão de queijo. O sabor mineiro que, na versão industrial, conquistou o consumidor**. Food Ingredients. Mai/Jun, n.12. 2002.

PLATA-OVIEDO, M.; CAMARGO, C; **Effect of acid treatments and drying processes on physico-chemical and functional properties of cassava starch**. Journal of Science and Food Agricultural, v.77, p. 103-108. 1998.

STATISTICA for Windows – Release 5.0. **StatSoft, Inc.** Tulsa, OK, EUA. 1995.

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



## Capítulo 2

---

***Estudo do efeito do teor de polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose por metodologia de superfície de resposta na qualidade de pão de queijo com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada***



## RESUMO

O pão de queijo é um produto altamente consumido no Brasil e tem atualmente, alcançado também mercados internacionais. A incorporação de ingredientes nutricionais e funcionais, que não alterem as suas propriedades físicas e sensoriais e que tragam benefícios à saúde do consumidor, se torna importante, pois possibilita aumentar a amplitude de comercialização deste produto.

O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da incorporação de polvilho azedo (0 a 100%), isolado protéico de soja (0 a 10,54%) e povidexose (0 a 5,07%) em pães de queijo, com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (ou seja, sem ou com escaldamento, respectivamente) nas suas propriedades físicas e sensoriais, utilizando a metodologia de superfícies de resposta.

O planejamento experimental foi elaborado segundo um delineamento composto central rotacional, com três variáveis independentes e dois níveis ( $-\alpha$ , -1, 0, +1 e  $+\alpha$ ), o qual foi aplicado duas vezes (processo sem e com escaldamento). Os pães de queijo produzidos de acordo com este delineamento experimental foram avaliados quanto às suas propriedades físicas (volume específico, textura e cor) e sensoriais (aparência geral, textura, sabor e cor).

Inicialmente, os ingredientes funcionais e a fécula de mandioca pré-gelatinizada foram caracterizados fisicamente (umidade, densidade aparente, cor, distribuição de tamanho de partículas e cristalinidade por difração de raios-X) e morfologicamente (microscopia eletrônica de varredura).

No estudo de distribuição de tamanho de partículas, o isolado protéico de soja e a fécula de mandioca pré-gelatinizada apresentaram diâmetro médios de partícula de 86,72  $\mu$  e 42,53  $\mu$ , respectivamente. Enquanto que para a povidexose, não foi possível obter resultados satisfatórios por nenhum dos métodos utilizados, devido à presença de uma ampla faixa de tamanho de

partículas, comprovada através do estudo da morfologia dos grânulos no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Os resultados obtidos nos planejamentos experimentais, no estudo dos efeitos das variáveis descritas anteriormente nos pães de queijo assados, não apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) quanto à textura, luminosidade ( $L^*$ ) e saturação ( $C^*$ ) da crosta e do miolo, concluindo que a utilização de qualquer das concentrações, na faixa de valores estudada para cada variável, não interfere de maneira significativa nestas propriedades dos pães de queijo, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

Os pães de queijo elaborados com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (sem escaldamento) apresentaram um modelo matemático que explicou o comportamento das variáveis estudadas em relação ao volume do pão de queijo, sendo que, as faixas de concentração obtidas através das superfícies de resposta e das curvas de contorno mostraram que é possível se obter volumes acima de  $4,29 \text{ cm}^3/\text{g}$  em pães de queijo com concentrações de 79,76% a 100% de polvilho azedo, 5,50% de isolado protéico de soja e concentrações abaixo de 1,03% de povidona. Pães de queijo com volumes acima de  $5,03 \text{ cm}^3/\text{g}$  foram obtidos quando na formulação foram incorporados 5,50% de isolado protéico de soja e concentrações acima de 5,07% de povidona, sem a adição de polvilho azedo.

A partir das concentrações de polvilho azedo, isolado protéico de soja e povidona, definidas através das curvas de contorno para o volume específico, 6 diferentes formulações de pães de queijo, com e sem adição de fécula de mandioca, foram analisadas sensorialmente. Não foi possível detectar por parte dos provadores diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) quanto à aparência geral, aroma, cor do miolo, textura e sabor.

**Palavras-chave:** Pão de queijo, Planejamento experimental, Isolado protéico de soja e Povidona.

## ABSTRACT

“Pao de queijo” (cheese bread) is a highly consumed product in Brazil, and has recently reached the international market. The incorporation of nutritional and functional ingredients which do not alter its physical and sensorial properties and which bring health benefits to consumers is important, as it expands the commercialization of this product.

The objective of this work was to study the effects of the incorporation of sour cassava starch (0 to 100%), soy protein isolate (0 to 10.54%) and polydextrose (0 to 5.07%) to cheese breads (with or without the scalding process) on physical and sensorial properties, using the response surface methodology.

The experimental planning was elaborated according to a central composite design, of three variables and two levels ( $-\alpha$ ,  $-1$ ,  $0$ ,  $+1$ ,  $+\alpha$ ) which was applied twice (process with and without scalding). The breads produced according to this experimental design were evaluated as to their physical (specific volume, texture and color) and sensorial (overall appearance, texture, flavor and color) properties.

Initially, the functional ingredients and the pre-gelatinized cassava starch were characterized physically (moisture, apparent density, color, particle size distribution and crystalline pattern through X-ray diffraction of X-rays) and morphologically (Scanning Electronic Microscopy, SEM).

In the particle size distribution, soy protein isolate and pre-gelatinized cassava starch presented average particle diameters of  $86.72 \mu$  and  $42.53 \mu$ , respectively.

Whereas for polydextrose, it was not possible to attain satisfactory results with any of the methods used, due to the presence of a wide range of particle sizes, which was confirmed by the morphological study of the granules in the Scanning Electronic Microscope (SEM).

The results obtained through the experimental designs, in the study of the effects of the variables previously described on the baked cheese breads

properties, did not present significant difference ( $p \leq 0.05$ ) for texture, luminosity ( $L^*$ ) and saturation ( $C^*$ ) of crust and crumb, concluding that the use of any of the concentrations, in the range of values studied for each variable, did not interfere in a significant way with these properties of the cheese breads, with or without the addition of pre-gelatinized cassava starch.

The cheese breads elaborated with the addition of pre-gelatinized cassava starch (without the scalding process) presented a mathematical model which explained the behavior of the variables studied in relation to the cheese bread specific volume, noting that the ranges of concentration obtained through the response surfaces and contour curves showed that it is possible to obtain specific volumes above  $4.29 \text{ cm}^3/\text{g}$  for cheese breads with concentrations of sour cassava starch from 79.76% to 100%, 5.50% of soy protein isolate and below 1.03% of polydextrose. Cheese breads with specific volumes above  $5.03 \text{ cm}^3/\text{g}$  were obtained in the formulation with 5.50% soy protein isolate and concentrations above 5.07% of polydextrose, without the addition of sour cassava starch.

From the concentrations of sour cassava starch, soy protein isolate and polydextrose defined through the contour curves for specific volume, 6 different formulations of cheese breads, with and without addition of pre-gelatinized cassava starch, were sensorially analyzed. It was not possible to detect a significant difference ( $p \leq 0.05$ ) in terms of overall appearance, aroma, color of the crumb and flavor.

**Keywords: Cheese breads, Experimental design, Soy protein isolate and Polydextrose.**

## INTRODUÇÃO

O pão de queijo acredita-se, tenha surgido nas cozinhas das fazendas mineiras há mais de duzentos anos (PEREIRA, 1998), sendo que a busca por ingredientes e formulação padrão é, até hoje, motivo de discussões em diversos campos da pesquisa.

Os ingredientes básicos para sua elaboração são: fécula de mandioca, polvilho doce e/ou azedo, leite ou água, óleo, margarina, sal, ovos e queijo (MACHADO, 2003).

O processo de fabricação envolve inicialmente o esaldamento do polvilho com uma mistura de leite ou água, óleo, margarina e sal.

Posteriormente, ocorrem resfriamento e amassamento, incorporação do ovo e queijo, amassamento e forneamento (PEREIRA, 2001). A etapa de esaldamento pode ser eliminada com a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada à massa durante sua elaboração.

Devido ao alto consumo de pão de queijo no Brasil, o estudo da adição de ingredientes nutricionais e funcionais à massa, sem afetar suas propriedades reológicas, físicas e sensoriais é necessária e importante, em virtude da procura crescente dos consumidores de alimentos, hoje em dia, por produtos que além de serem saborosos, tragam benefício à saúde.

A incorporação de isolado protéico de soja e polidextrose à massa de pão de queijo poderia conferir tanto propriedades nutricionais com funcionais (MARTINS & NETO, 2006; ESTELLER, 2004; ZHONG, 2000). Além de melhorar a capacidade de hidratação, estes ingredientes atuam como agentes de corpo (SOLINA et al., 2005; ESTELLER, 2004) e, no caso da polidextrose, como

intensificador do brilho da crosta dos pães (ESTELLER et al., 2005) sem alterar sua aceitação sensorial (SINGH & MOHAMED, 2005; ESTELLER, 2004).

Para analisar o efeito combinado desses ingredientes à massa de pão de queijo com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo, com e sem a etapa de escaldamento, foram aplicados dois delineamentos estatísticos do tipo composto central rotacional (RODRIGUES & IEMMA, 2006), com a finalidade de obtenção de modelos matemáticos que expliquem a influência destes ingredientes nas propriedades físicas e sensoriais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos, no Laboratório de Análise Sensorial, no Laboratório de Apoio e Instrumentação do DTA/FEA/UNICAMP e no Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração da FEQ/UNICAMP.

### 4.1 Materiais

#### 4.1.1 Matérias-primas

Para a produção dos pães de queijo foram necessários os seguintes ingredientes:

- Fécula de mandioca, marca **Amilogill 1500** (lote: 410038 07, validade 26/01/06) da empresa Cargill Agrícola S.A. (Tatuí, SP);
- Polvilho azedo, marca **Yoki** (lote: 14/03/06, validade: 14/03/07) da empresa Yoki Alimentos (Paranavaí, SP);
- Fécula de mandioca pré-gelatinizada, marca **National 80** (lote: AUP 1037/2001) da empresa National Starch and Chemical Industrial Ltda (São Paulo, SP);
- Polidextrose, marca **Litesse II** (lote: V46110I 144710) da empresa Danisco Ltda (Cotia, SP);
- Isolado protéico de soja, marca **Supro 783** (E220001575) da empresa Solae Company (Porto Alegre, RS);
- Leite UHT Integral homogenizado, marca **Shefa** (lote: 181105, validade: 18/03/06) da Usina de Beneficiamento Agro-pecuária Tuiuti Ltda. (Amparo, SP);
- Óleo de soja, marca **Liza** (lote: L:33 23:01 MK, validade: 17/08/06) da empresa Cargill Agrícola S.A. (Tatuí, SP);

- Queijo minas meia cura, marca **Promissão** (lote: 1401005, validade: 14/06/06) da Usina de Beneficiamento Cooperativa de Laticínios de Promissão (Promissão, SP);
- Margarina, marca **Amélia** (lote: 09112005, validade: 09/08/06) da Cia Leco de Produtos Alimentícios (São Caetano do Sul, SP);
- Ovos vermelhos grandes, marca PURE QUALITY
- Sal, marca **Lebre** (lote: 415CA, validade: 12/2006) da empresa Norte Salineira S.A. Indústria e Comércio NORSAL (Area Branca, RN).

#### 4.1.2 Equipamentos

Além da vidraria e dos utensílios de laboratório para a elaboração das massas e dos pães de queijo, foram utilizados os seguintes equipamentos na caracterização físico-química e morfológica das matérias-primas e dos produtos obtidos, análise reológica das massas e análise sensorial dos pães de queijo:

1. Balança analítica, marca Mettler Toledo, modelo AB 204, capacidade de 210 g;
2. Balança semi-analítica, marca Mettler Toledo, modelo PB 3002, capacidade de 3100 g;
3. Difratorômetro de raios-X (*X-Ray powder diffraction*), marca PHILIPS, U.S.A;
4. Dessecador, marca Pyrex, modelo com 200 mm;
5. Espectrofotômetro, marca HUNTERLAB, modelo COLOR QUEST II, Reston, VA, EUA;
6. Espectrômetro de varredura a Laser, MALVERN, modelo S-MAM 5005, Inglaterra;
7. Estufa, marca Titã Electrocomerciais, modelo w4, linha W, Brasil;
8. Estufa com circulação e renovação de ar, marca Tecnal, modelo TE 394/2, Piracicaba, SP, Brasil.

9. Forno a gás, marca RATIONAL, modelo Combi-dampfer D-86899 CM 101G, Alemanha;
10. Microscópio Eletrônico de Varredura, marca LEICA, modelo 440i, software LEO versão 3.01, Alemanha;
11. Texturômetro modelo TA-XT2, marca Stable Micro Systems, Haslemere, Inglaterra, com software XTRA DIMENSION;
12. Microscópio Eletrônico de Varredura, marca LEICA, modelo 440i, software LEO versão 3.01, Alemanha.

## **4.2 Métodos**

### **4.2.1 Análises físico-químicas dos ingredientes funcionais e da fécula de mandioca pré-gelatinizada**

Foram realizadas as seguintes análises, em triplicata, para o isolado protéico de soja, a povidexose e a fécula de mandioca pré-gelatinizada:

#### **4.2.1.1 Caracterização físico-química**

##### **4.2.1.1.1 Umidade**

Determinou-se a umidade das matérias-primas por secagem em estufa, por 1 hora, a 130°C, segundo o método nº 44-15A da AACCC (1995).

##### **4.2.1.1.2 Densidade aparente**

A densidade aparente foi determinada pela pesagem de um volume conhecido da amostra (20 mL) numa proveta graduada de 50 mL (após três

batimentos leves da amostra dentro da proveta). Calculou-se a densidade pela seguinte relação:

$$\rho = m/V \quad \text{equação 3.1}$$

Onde:

$\rho$  = densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

$m$  = massa (g);

$V$  = volume (cm<sup>3</sup>).

#### 4.2.1.1.3 Cor

A cor dos ingredientes funcionais e da fécula de mandioca pré-gelatinizada foi determinada utilizando-se o método de triestímulos (X Y Z) com o sistema  $L^* a^* b^*$  (MINOLTA, 1994), no espectrofotômetro Color Quest II HUNTERLAB (Reston, VA, EUA). Os parâmetros significam basicamente:  $L^*$ , medida da luminosidade de um material, e varia do zero (para o preto) até ao 100 (para o branco);  $a^*$  medida do vermelho ( $a^*$  negativo) ou do verde ( $a^*$  negativo);  $b^*$  medida do amarelo ( $b^*$  positivo) ou do azul ( $b^*$  negativo). A medição foi realizada utilizando-se o iluminante D<sub>65</sub>, refletância (objetos opacos), com ângulo do observador de 10° e com a especular excluída.

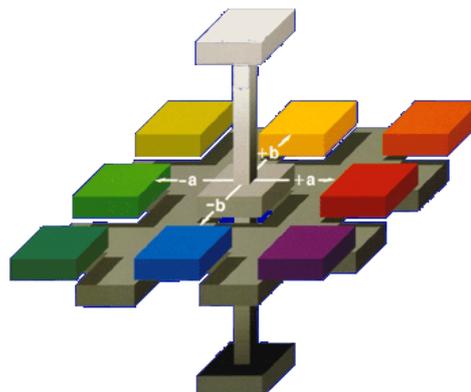


Figura 3.1 Espaço da cor Hunter  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ .

#### 4.2.1.1.4 Distribuição do tamanho de partícula

A distribuição de tamanho de partícula do isolado protéico de soja, polidextrose e fécula de mandioca pré-gelatinizada foi determinada por difração de raios laser (*laser scattering spectrometer*), marca MALVERN, modelo S-MAM 5005, (Inglaterra) e os dados foram processados com o programa Mastersizer-S v2.18. A análise foi realizada com o método por via úmida e o dispersante usado foi o álcool etílico P.A.

#### 4.2.1.1.5 Difractometria de raios-X

A difração de raios-X é uma técnica versátil, não-destrutiva, usada para a identificação e determinação quantitativa das várias formas cristalinas, presentes em um pó e em amostras sólidas. Os difratogramas do isolado protéico de soja, polidextrose, fécula de mandioca pré-gelatinizada foram obtidos em aparelho de difração de raios-X (*X-ray powder diffraction*), marca PHILIPS, modelo Xpert, (USA), com radiação de cobre linha  $K\alpha$ ,  $L = 1,54\text{\AA}$ , nas seguintes condições de trabalho:

**(i) Isolado protéico de soja e fécula de mandioca pré-gelatinizada**

40 Kv, 40 mA e *step* de 0,1°, a cada cinco segundos. O ângulo de varredura foi de  $2\theta = 38^\circ$  a  $5^\circ$ .

**(ii) Polidextrose**

40 Kv, 40 mA e *step* de 0,02°, a cada cinco segundos. O ângulo de varredura foi de  $2\theta = 60^\circ$  a  $5^\circ$ .

**4.2.1.2 Morfologia dos grânulos**

Para o estudo morfológico dos ingredientes funcionais e da fécula de mandioca pré-gelatinizada, utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura de alto vácuo (*SEM scanning electron microscope*) modelo LEO 440i (Inglaterra).

As matérias-primas foram secas previamente em estufa com circulação forçada de ar, a 105°C, por 24 horas. As amostras utilizadas eram eletricamente não-condutoras e foram dispostas sob suportes de alumínio (*stubs*) contendo uma fita de carbono de dupla face, sendo assim possível a fixação do material.

Após a montagem dos *stubs*, estes foram recobertos por uma camada de ouro de 92 Angstroms de espessura. As leituras foram realizadas com aumentos de 100X, 2000X, 3000X, 4000X e 5000X.

#### 4.2.2 Delineamento Experimental

Foram escolhidas como variáveis independentes do planejamento experimental os seguintes ingredientes:

- Polvilho azedo (%);
- Isolado protéico de soja (%);
- Polidextrose (%).

As concentrações dos outros ingredientes para a elaboração dos pães de queijo foram escolhidas de acordo com a formulação básica definida no Capítulo 1, sendo igual a: 17,96% de leite integral; 12,83% de óleo de soja; 1,88% de margarina; 1,54% de sal; 12,83% de ovos e 17,96% de queijo Minas meia cura.

Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas dos pães de queijo, foi aplicado um delineamento estatístico do tipo composto central rotacional (RODRIGUES & IEMMA, 2006).

Os valores máximos e mínimos para as variáveis independentes (polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose) foram definidos segundo análise de resultados apresentados no Capítulo 1, e as concentrações recomendadas para estes produtos pela Solae Company e Danisco, Brasil (Tabela 3.1).

Desta forma, o planejamento experimental foi elaborado segundo o delineamento composto central, com três variáveis e dois níveis ( $-\alpha$ ,  $-1$ ,  $0$ ,  $+1$ ,  $+\alpha$ ), conforme a Tabela 3.2, o qual foi aplicado duas vezes.

O primeiro delineamento foi realizado para pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, e o segundo delineamento foi realizado para pães de queijo com adição de 7,00% de fécula de mandioca pré-gelatinizada, segundo ensaios exploratórios realizados sem a etapa de escaldamento.

Desta forma, foram realizados 36 experimentos, sendo 18 em cada etapa, incluindo 4 repetições no ponto central. A sequência de execução dos experimentos foi aleatória, definida através de sorteio prévio.

**Tabela 3.1 Variáveis independentes com os seus respectivos níveis, utilizados no planejamento fatorial  $2^3$ .**

| Codificado | Variáveis                    |           |       | Níveis |       |           |
|------------|------------------------------|-----------|-------|--------|-------|-----------|
|            | Real                         | $-\alpha$ | -1    | 0      | +1    | $+\alpha$ |
| $x_1$      | Polvilho azedo (%)           | 0         | 20,24 | 50,00  | 79,76 | 100,00    |
| $x_2$      | Isolado protéico de soja (%) | 0         | 2,21  | 5,50   | 8,48  | 10,54     |
| $x_3$      | Polidextrose (%)             | 0         | 1,03  | 2,55   | 4,05  | 5,07      |

onde:  $\alpha = (2^n)^{1/4}$

**Tabela 3.2 Delineamento estatístico do tipo composto central rotacional.**

| Ensaio | Codificado |           |           | Real   |       |       |
|--------|------------|-----------|-----------|--------|-------|-------|
|        | $x_1$      | $x_2$     | $x_3$     | $X_1$  | $X_2$ | $X_3$ |
| 01     | -1         | -1        | -1        | 20,24  | 2,21  | 1,03  |
| 02     | +1         | -1        | -1        | 79,76  | 2,21  | 1,03  |
| 03     | -1         | +1        | -1        | 20,24  | 8,48  | 1,03  |
| 04     | +1         | +1        | -1        | 79,76  | 8,48  | 1,03  |
| 05     | -1         | -1        | +1        | 20,24  | 2,21  | 4,05  |
| 06     | +1         | -1        | +1        | 79,76  | 2,21  | 4,05  |
| 07     | -1         | +1        | +1        | 20,24  | 8,48  | 4,05  |
| 08     | +1         | +1        | +1        | 79,76  | 8,48  | 4,05  |
| 09     | $-\alpha$  | 0         | 0         | 0,00   | 5,50  | 2,55  |
| 10     | $+\alpha$  | 0         | 0         | 100,00 | 5,50  | 2,55  |
| 11     | 0          | $-\alpha$ | 0         | 50,00  | 0,00  | 2,55  |
| 12     | 0          | $+\alpha$ | 0         | 50,00  | 10,54 | 2,55  |
| 13     | 0          | 0         | $-\alpha$ | 50,00  | 5,50  | 0,00  |
| 14     | 0          | 0         | $+\alpha$ | 50,00  | 5,50  | 5,07  |
| 15     | 0          | 0         | 0         | 50,00  | 5,50  | 2,55  |
| 16     | 0          | 0         | 0         | 50,00  | 5,50  | 2,55  |
| 17     | 0          | 0         | 0         | 50,00  | 5,50  | 2,55  |
| 18     | 0          | 0         | 0         | 50,00  | 5,50  | 2,55  |

$\pm|\alpha|=1,681$ ;  $x_1, x_2, x_3$  = variáveis independentes: polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose, do modelo codificado, respectivamente:  $X_1$  = teor de polvilho azedo (%),  $X_2$  = teor de isolado protéico de soja (%) e  $X_3$  = teor de polidextrose (%).

Os cálculos para verificar os efeitos das variáveis independentes foram realizados pelo *software statistica 5.0*. Os resultados aqui obtidos foram analisados mediante o teste p (grau de significância estatística), para cada um dos coeficientes obtidos no modelo. Em seguida, foi realizada a análise de

variância do modelo (ANOVA). A partir da equação de regressão obtida por esta técnica, alternando-se duas variáveis, enquanto a terceira permanece constante, foi possível obter gráficos tridimensionais de superfície de resposta, bem com suas respectivas curvas de contorno.

### **4.2.3 Processo de elaboração do pão de queijo**

#### **4.2.3.1 Formulação básica de pão de queijo**

A formulação básica relatada no Capítulo 1 foi utilizada no planejamento experimental fatorial  $2^3$ , com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, como formulação padrão para o estudo da incorporação das seguintes variáveis: *polvilho azedo*, *isolado protéico de soja* e *polidextrose*, nas propriedades físicas e sensoriais do pão de queijo.

#### **4.2.3.2 Obtenção das massas de pão de queijo**

As massas de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, foram elaboradas de acordo com as seguintes etapas de processo:

## **Escaldamento da massa**

### **(i) Processo com escaldamento**

O leite integral, óleo de soja, margarina e sal foram submetidos ao aquecimento em uma panela de alumínio, até a sua fervura. A mistura quente foi transladada para uma bacia plástica contendo a mistura de ingredientes secos correspondente a cada ensaio do planejamento experimental 2<sup>3</sup>, com a finalidade de provocar a gelatinização da fécula de mandioca. O material quente (75-85°C) foi trabalhado com as mãos até a obtenção de uma massa homogênea.

### **(ii) Processo sem escaldamento**

Devido à incorporação de fécula de mandioca pré-gelatinizada à mistura de ingredientes secos, correspondentes a cada ensaio do planejamento experimental 2<sup>3</sup>, a etapa de escaldamento pôde ser eliminada, sendo que a mistura de leite integral, óleo de soja, sal e margarina foi adicionada aos poucos à mistura de ingredientes secos e o material foi trabalhado com as mãos até a obtenção de uma massa homogênea.

## **Resfriamento da massa**

### **(i) Processo com escaldamento**

A massa escaldada foi deixada à temperatura ambiente por um período aproximado de 25 minutos, tempo necessário para a massa atingir uma temperatura aproximada entre 25 e 30°C.

## **(ii) Processo sem escaldamento**

A massa obtida pela adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada não precisou ser deixada a temperatura ambiente para seu resfriamento, pois a temperatura da massa encontrava-se nas condições de trabalho.

### **Incorporação dos ovos e do queijo à massa**

Após o resfriamento da massa, foram adicionados os ovos previamente homogeneizados, misturando-os com as mãos para a completa incorporação.

Posteriormente, foi adicionado o queijo Minas meia cura previamente ralado, trabalhando a massa da mesma forma que foi realizada durante a adição do ovo, até a obtenção de uma massa consistente para a moldagem dos pães de queijo.

### **Moldagem da massa**

A massa obtida no ítem anterior foi dividida em pequenas porções de 25,00 a 25,30 gramas pesadas em balança semi-analítica. A moldagem de pequenos cilindros de pão de queijo (formato coquetel) foi realizada manualmente.

### **Obtenção dos pães de queijo**

Após a moldagem dos cilindros de massa de pão de queijo, estes foram depositados em uma forma de alumínio e colocados em forno a gás sem a

adição de vapor. As massas foram assadas por um período de 15 minutos a uma temperatura de 180°C.

#### **4.2.4 Análises do pão de queijo assado**

As análises realizadas nos pães de queijo correspondentes a cada ensaio do planejamento experimental 2<sup>3</sup>, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, são descritos a seguir:

##### **4.2.4.1 Análises físicas**

###### **4.2.4.1.1 Volume específico**

Após o forneamento, os pães de queijo foram deixados por um período de trinta minutos para seu resfriamento e pesados em balança semi-analítica, determinando o volume específico dos pães de queijo assados pelo método de deslocamento de sementes de painço (GRISWOLD, 1972). Nesse método, o volume do produto é calculado subtraindo-se o volume obtido na proveta pelas sementes de painço contendo a amostra de pão de queijo, do volume fixo na proveta com as sementes de painço sem o produto. O cálculo do volume é realizado utilizando a seguinte equação:

$$V_{\text{esp}} = V / m$$

**equação 3.2**

Onde:

**Vesp = volume específico (cm<sup>3</sup>/g)**

**V = volume do pão de queijo (cm<sup>3</sup>);**

**m = massa do pão de queijo (g).**

#### 4.2.4.1.2 Textura

Para determinar a força de compressão dos pães de queijo assados, foi utilizado o analisador de textura Stable Micro Systems TAXT2i (HASLEMERE, Inglaterra, com software XTRA DIMENSION), com o “probe” cilíndrico de alumínio com extremidade plana e 100 mm de diâmetro. Os resultados foram expressos em (N), a temperatura de análise foi de aproximadamente 25°C e os parâmetros de configuração do aparelho foram: (i) velocidade do teste = 2,0 mm/s; (ii) velocidade do pré-teste = 2,0 mm/s; (iii) velocidade do pós-teste = 10,0 mm/s; (iv) distância de compressão = 50,0%.

Os valores dos parâmetros de textura dos pães de queijo foram obtidos a partir da média aritmética de 5 replicatas. Os pães de queijo foram deixados a temperatura ambiente por um período de uma hora, previamente a determinação da textura.

#### 4.2.4.1.3 Cor

A cor da crosta e do miolo dos pães de queijo foi determinada em três diferentes pontos, utilizando-se o sistema **L\* C\* h**, o qual é uma representação polar do sistema de coordenadas do sistema **L\* a\* b\***. Este sistema utiliza o mesmo diagrama do sistema **L\* a\* b\*** no entanto, a diferença é que utilizam coordenadas cilíndricas em vez de coordenadas retangulares (ver Figura 3.2).

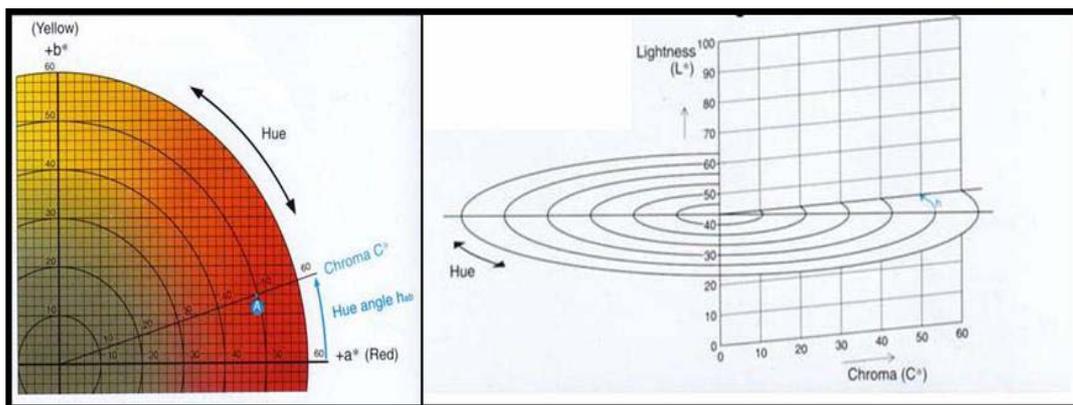


Figura 3.2 Representação do sistema de cor  $L^* C^* h$ .

O cromia  $C^*$  foi determinado utilizando a seguinte equação:

$$\text{Croma } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{equação 3.3}$$

O ângulo de saturação  $h$  por sua vez, foi determinado por:

$$H_{ab} = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad \text{equação 3.4}$$

Neste sistema, o  $L^*$  indica a luminosidade, e é o mesmo  $L^*$  do sistema  $L^* a^* b^*$ . O  $C^*$  representa o cromia, e o  $h$  representa o ângulo de saturação. O valor de  $C^*$  é 0 no centro, e aumenta conforme a distância do centro. O ângulo de saturação  $h$  é definido como o ponto inicial do eixo  $+a^*$  expresso em graus, sendo  $0^\circ$  igual  $+a^*$  (vermelho),  $90^\circ$  seria o  $+b^*$  (amarelo),  $180^\circ$  seria o  $-a^*$  (verde), e  $270^\circ$  seria o  $-b^*$  (azul).

As determinações foram realizadas no espectrofotômetro Color Quest II HUNTERLAB (RESTON, VA, EUA), com o iluminante  $D_{65}$ , refletância (objetos opacos), com ângulo do observador de  $10^\circ$  e com especular excluída.

#### 4.2.4.2 Análise Sensorial dos pães de queijo

Pela análise de superfície de resposta e das curvas de contorno dos modelos obtidos, foram escolhidas seis formulações de pão de queijo, três formulações por planejamento experimental, com diferentes teores de polvilho azedo, isolado protéico de soja e povidexose, para a avaliação sensorial pelo teste afetivo de aceitação, objetivando-se a seleção de apenas duas formulações de pão de queijo, uma com e outra sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

As seis formulações de pão de queijo foram avaliadas sensorialmente por 30 provadores não treinados, entre 18-35 anos, sendo consumidores potenciais do produto e todos eles estudantes de graduação, pós-graduação ou funcionários da UNICAMP, utilizando uma ficha sensorial (APÊNDICE 2) com escala hedônica de 7 pontos, sendo os extremos de valor igual a 1 correspondente ao termo hedônico *desgostei extremamente* e o de valor 7, atribuído ao termo *gostei extremamente*.

Os atributos avaliados pelos provadores foram: (i) aparência geral; (ii) aroma; (iii) textura e (iv) sabor.

O teste afetivo de aceitação foi conduzido no Laboratório de Análise Sensorial, utilizando-se cabines individuais com luz normal para cada provador.

As amostras de pão de queijo, de 23 gramas aproximadamente, foram servidas à temperatura em que são consumidos (45°C, aquecidos em forno elétrico) e de forma monádica aos provadores em pratos descartáveis, codificados com números de três dígitos escolhidos ao acaso, de forma a não influenciar os provadores.

#### 4.2.5 Análise estatística dos resultados

Os resultados obtidos tanto na caracterização física dos ingredientes funcionais, como nos planejamentos experimentais  $2^3$  e na análise sensorial dos pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose foram analisados estatisticamente utilizando-se a ANOVA, teste de Tukey, e o método de superfícies de resposta pelo programa Statistica 5.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, EUA). O objetivo desta avaliação estatística foi a identificação da existência de diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os ingredientes funcionais, formulações de pão de queijo avaliadas, assim como, a obtenção de modelos matemáticos que permitam predizer o comportamento das variáveis estudadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização física e morfológica dos ingredientes funcionais e fécula de mandioca pré-gelatinizada

#### 5.1.1 Umidade

Os valores médios de umidade (%) para os ingredientes funcionais e a fécula de mandioca pré-gelatinizada são apresentados na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3 Valores médios de umidade dos ingredientes funcionais e fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| Matérias-primas                     | Umidade (%)              |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Isolado protéico de soja            | 5,14 ± 0,01 <sup>a</sup> |
| Polidextrose                        | 3,02 ± 0,01 <sup>b</sup> |
| Fécula de mandioca pré-gelatinizada | 5,66 ± 0,01 <sup>a</sup> |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A umidade da fécula de mandioca pré-gelatinizada apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey com o isolado protéico de soja e a polidextrose.

A umidade do isolado protéico de soja pode variar dependendo do processo de secagem ao que foi submetido o produto após a extração da proteína. A umidade reportada para o isolado protéico de soja foi de 5,14%, a qual está de acordo com o reportado por Takeiti (2002) e Smith & Circle (1972).

A umidade determinada para a polidextrose foi 24,5% menor que o reportado por Ribeiro et al. (2003).

A umidade encontrada para a fécula de mandioca pré-gelatinizada foi igual a 5,66%, estando próxima à reportada pelo fornecedor (5,00%). As féculas pré-gelatinizadas também podem ter seu conteúdo de umidade variável, devido ao processo usado para sua obtenção.

### 5.1.2 Densidade aparente

Valores médios de densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) para os ingredientes funcionais e para a fécula de mandioca pré-gelatinizada são apresentados na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4 Valores médios de densidade aparente dos ingredientes funcionais e da fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| <b>Matérias-primas</b>                     | <b>Densidade aparente (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b> |
|--|--|
| <b>Isolado protéico de soja</b>            | $0,36 \pm 0,01^{\text{b}}$                             |
| <b>Polidextrose</b>                        | $0,75 \pm 0,00^{\text{a}}$                             |
| <b>Fécula de mandioca pré-gelatinizada</b> | $0,52 \pm 0,00^{\text{a}}$                             |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

As densidades do isolado protéico de soja e a fécula de mandioca pré-gelatinizada não apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre si, mas apresentaram diferença significativa com a polidextrose, sendo que a polidextrose obteve um maior valor, 52,00% e 30,67% superior comparada com o isolado protéico de soja e a fécula de mandioca pré-gelatinizada, respectivamente.

A densidade aparente da fécula de mandioca pré-gelatinizada ficou próxima à densidade de  $0,48 \text{ g/cm}^3$  reportada no Capítulo 1 para a fécula de mandioca nativa, evidenciado que o processo de gelatinização, com posterior secagem, sofrida pela fécula, alterou 9,06% sua densidade aparente.

### 5.1.3 Cor

As médias dos valores  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  tanto para o isolado protéico de soja como para a polidextrose e a fécula de mandioca pré-gelatinizada são apresentadas na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5 Valores médios de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  do isolado protéico de soja, polidextrose e fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| Matérias-primas                            | Coordenadas  |               |              |
|--|--------------|---------------|--------------|
|  | $L^*$        | $a^*$         | $b^*$        |
| <b>Isolado protéico de soja</b>            | 85,90 ± 0,02 | - 0,29 ± 0,02 | 16,31 ± 0,01 |
| <b>Polidextrose</b>                        | 92,51 ± 0,02 | - 0,73 ± 0,02 | 13,51 ± 0,02 |
| <b>Fécula de mandioca pré-gelatinizada</b> | 93,65 ± 0,03 | 0,05 ± 0,01   | 4,39 ± 0,01  |

Liu (1997) reportou que a coloração dos isolados protéicos de soja variam entre o creme e o amarelo claro, devido aos pigmentos amarelos encontrados na soja, o qual está de acordo com o valor determinado neste estudo.

O isolado protéico de soja apresentou uma luminosidade ( $L^*$ ) de 85,90, um valor de  $a^*$  neutro (-0,29), sendo que este parâmetro tem maior incidência em isolados protéicos obtidos pelo processo de extrusão (LIU, 1997), e uma leve tendência ao amarelo pelo valor obtido para  $b^*$ , de 16,31.

A polidextrose apresentou luminosidade ( $L^*$ ) de 92,51,  $a^*$  neutro de -0,73, e uma leve tendência ao amarelo pelo valor obtido para  $b^*$  (13,51), cujos valores encontram-se próximos à coloração reportada por Esteller et al. (2005) e Burdock & Flamm (1999).

Apesar das amostras de isolado protéico de soja e polidextrose reportarem uma leve coloração amarela, a polidextrose apresentou maior brilho comparado com o isolado protéico, o qual pode ser confirmado pelo valor 7,15% superior obtido para a luminosidade ( $L^*$ ).

O valor de luminosidade ( $L^*$ ) reportado para a fécula de mandioca pré-gelatinizada foi de 93,65, sendo 11,11% menor em relação ao valor reportado anteriormente no Capítulo 1 para a fécula de mandioca nativa, evidenciando

uma ligeira perda de luminosidade ( $L^*$ ) ocorrida durante o processo sofrido pela fécula de mandioca. O valor de  $a^*$  se manteve neutro e o  $b^*$  aumentou muito pouco comparado ao valor de 1,76 reportado para a fécula nativa de mandioca.

### 5.1.4 Distribuição de tamanho de partícula

Os resultados da análise granulométrica, pelo método de difração de raios laser usando o MALVERN 4001, para o isolado protéico de soja, polidextrose e fécula de mandioca pré-gelatinizada são apresentados nas Figuras 3.3 A e B e Figura 3.4.

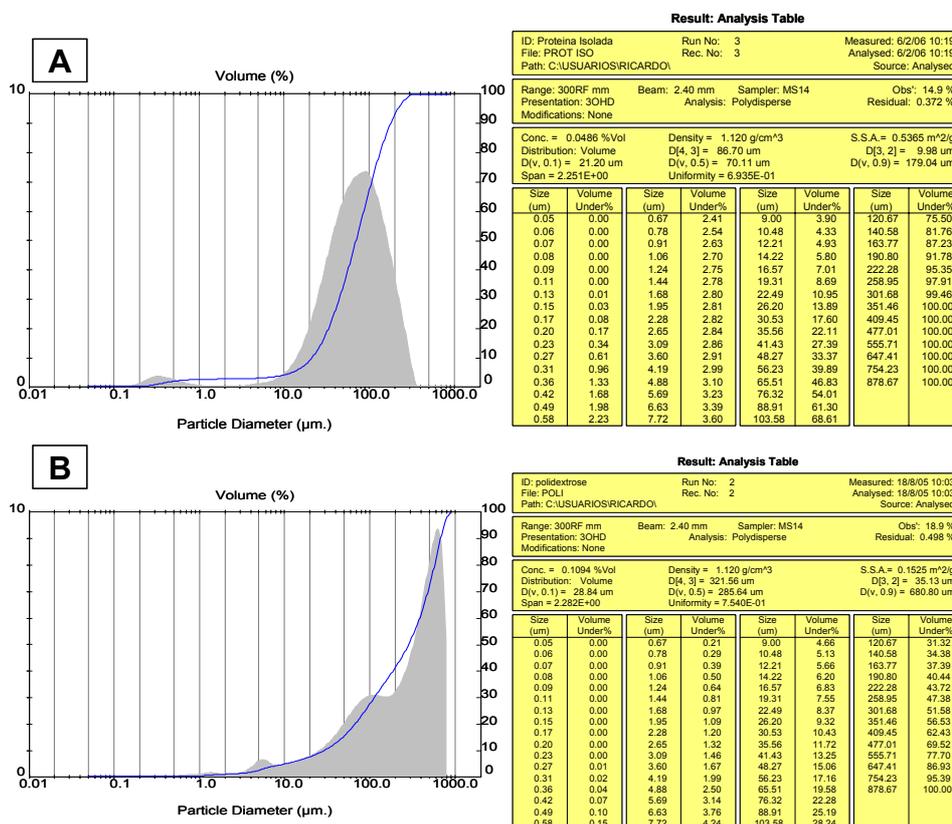


Figura 3.3 Distribuição do tamanho de partícula obtida no Mastersizer para: (A) isolado protéico de soja e (B) polidextrose.

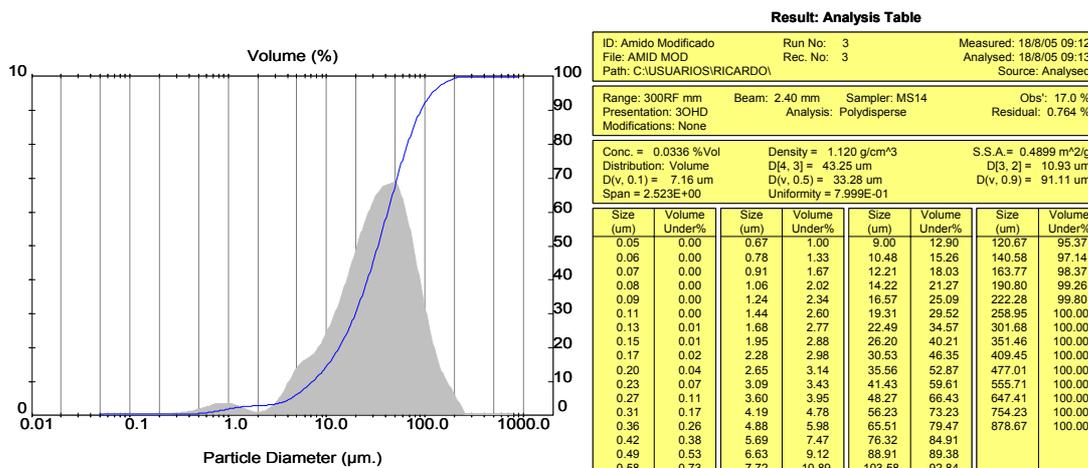
O isolado protéico de soja (Figura 3.3A) mostrou uma curva de distribuição normal, sendo que, as maiorias das partículas possuem tamanhos na faixa de 10 a 300  $\mu\text{m}$ . O valor do diâmetro médio de partícula ( $D[4,3]$ ) calculado pelo programa foi de 86,72  $\mu\text{m}$ .

A curva de distribuição de tamanho de partícula para a povidexrose apresentou três curvas de distribuição, sendo que a última curva do histograma finalizou abruptamente, próxima ao valor do diâmetro igual a 1000  $\mu\text{m}$ . Este resultado evidencia a limitação do equipamento, já que suas lentes detectam partículas de até no máximo 1000  $\mu\text{m}$  de diâmetro, e a povidexrose, devido a sua natureza, possui partículas muito maiores.

Os resultados obtidos pelo *software* do programa, mostraram um tamanho máximo de 878,67  $\mu\text{m}$  na porcentagem cumulativa de 100%, observando-se um valor de diâmetro médio ( $D[4,3]$ ) errôneo, pois ele não está considerando uma parte dos tamanhos presentes na povidexrose.

Devido ao problema observado na determinação do tamanho de partículas da povidexrose, foi realizada a análise por peneiras vibratórias. No entanto, os resultados não foram satisfatórios, ocorrendo aderência do material à peneira.

Portanto, não foi possível concluir o tamanho das partículas da povidexrose por estes dois métodos. A caracterização morfológica destes grânulos por microscopia eletrônica de varredura confirmou claramente a diversidade de tamanhos e presença de polimorfismo na povidexrose.



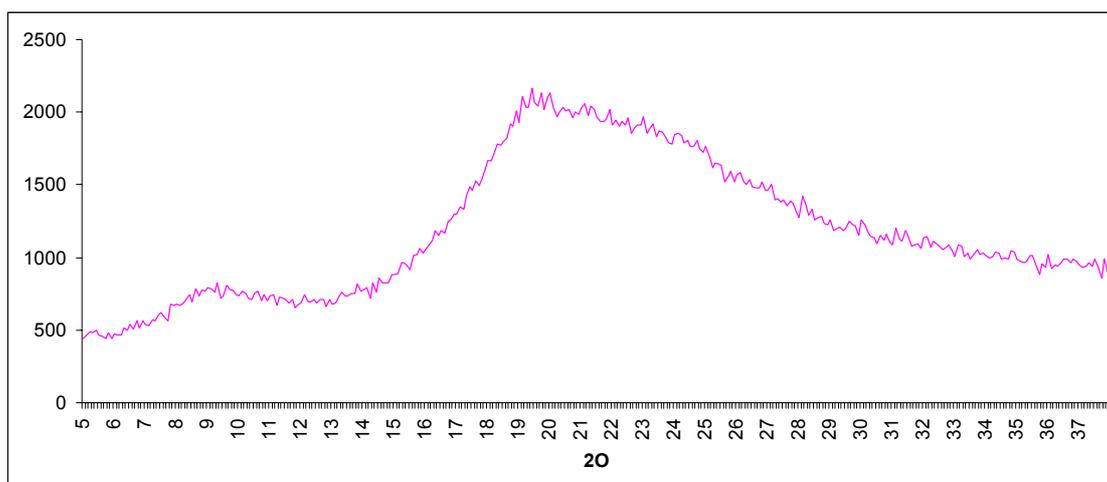
**Figura 3.4 Distribuição do tamanho de partícula para a fécula de mandioca pré-gelatinizada, obtida no Mastersizer**

A partir dos resultados obtidos no Mastersizer, pode-se observar a presença de duas curvas de distribuição normal de tamanho de partícula para a fécula de mandioca pré-gelatinizada, sendo a primeira menor que a segunda.

A primeira distribuição apresentou tamanhos de partículas na faixa de 0,15 µm a 2,65 µm, e a segunda, de 3,09 µm a 222,28 µm. A obtenção destas duas regiões confirmou a presença, em menor proporção, de partículas finas, e em maior proporção, partículas de maior tamanho, sendo que o valor do diâmetro médio calculado pelo *software* (D[4,3]) foi igual a 42,53 µm, que é próximo ao observado na análise microscópica.

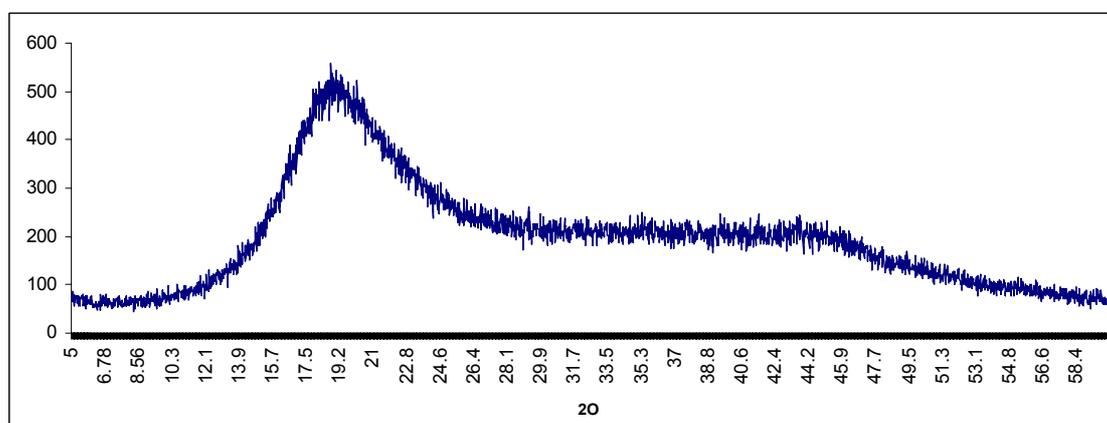
### 5.1.5 Difração de raios-X

Os difratogramas de raios-X para o isolado protéico de soja, polidextrose e fécula de mandioca pré-gelatinizada são apresentados nas Figuras 3.5 a 3.7.



**Figura 3.5** Difratoograma de raios-X do isolado protéico de soja.

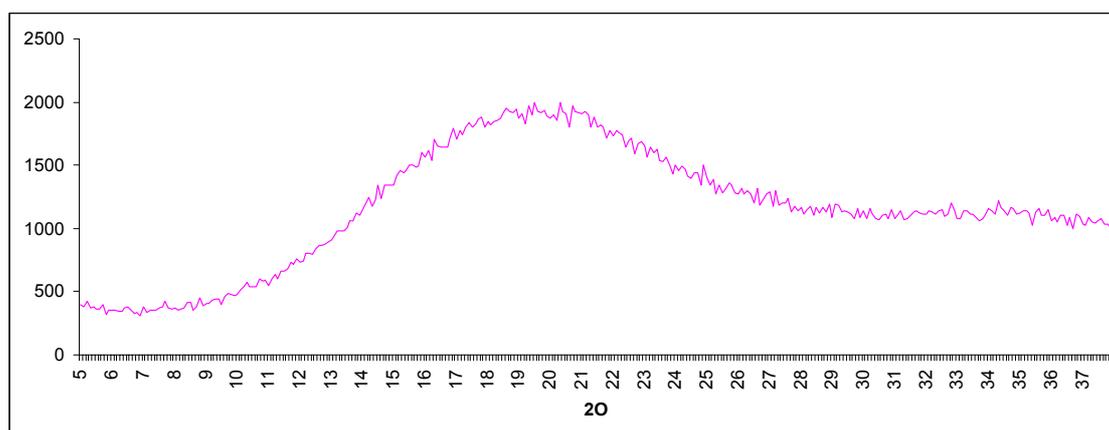
O difratograma da Figura 3.5 mostrou que o isolado protéico de soja apresentou um padrão de cristalinidade com dois picos diferentes, sendo o primeiro em  $9^\circ$  com intensidade leve, e o segundo em  $21^\circ$  com maior intensidade.



**Figura 3.6** Difratoograma de raios-X da polidextrose.

Os padrões de cristalinidade são definidos com base nos espaços interplanares e intensidade relativa das linhas de difração dos raios-X (ZOBEL, 1964), porém pelo fato da polidextrose apresentar um pico de alta intensidade definido em  $2\theta$  em  $19,2^\circ$  (Figura 3.6) não se pode considerar esta matéria-prima como um material totalmente amorfo, pois é evidente a presença de

cristalinidade no material, o qual está em desacordo com o relatado por Strumm & Baltes (1996) e Ribeiro et al. (2003), que definem a povidexrose como um material totalmente amorfo.



**Figura 3.7 Difratograma de raios-X da fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

Franco et al. (2001) determinaram que a fécula de mandioca nativa apresenta padrão de cristalinidade do tipo B, devido aos picos entre 15 e 23°, os quais são característicos de tuberosas. No entanto, Rosenthal et al. (1974) definiram-na como tipo A.

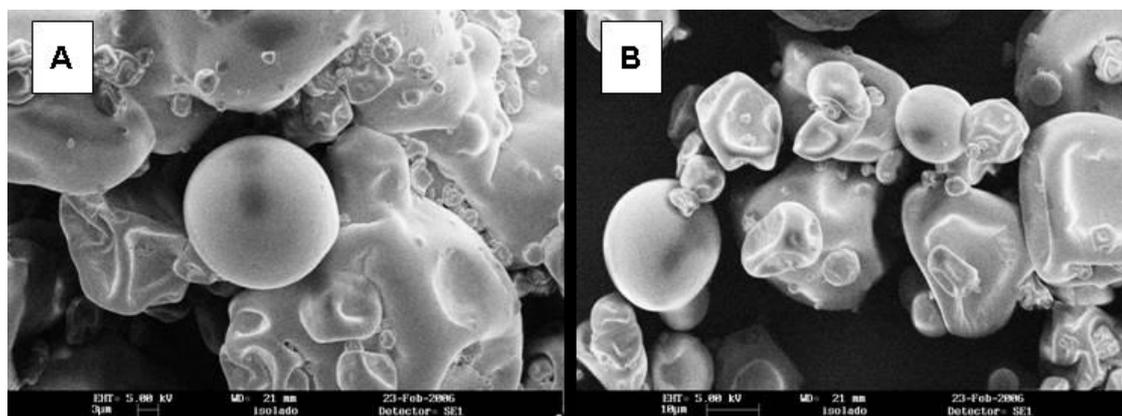
Féculas de mandioca que sofreram modificação química ou física podem apresentar padrões de cristalinidade iguais, parecidos ou diferentes às féculas nativas, pois a intensidade da modificação realizada leva à perda parcial ou total da estrutura cristalina dos grânulos. Zambrano et al. (2001) obtiveram padrões de cristalinidade tipo A para féculas de mandioca nativas e modificadas por ácido (HCl), sendo que a modificação aumentou a cristalinidade relativa, devido a alterações sofridas principalmente na parte amorfa, evidenciando que o tratamento realizado não foi drástico, mantendo as condições da fécula de mandioca nativa.

Féculas de mandioca pré-gelatinizadas apresentam uma queda ou perda de cristalinidade, devido ao processo de gelatinização sofrido, causando alteração nas regiões amorfas e cristalinas. A Figura 3.7 mostra a presença de

crystalinidade no material, evidenciando que o tratamento sofrido não conduziu a perda completa de sua cristalinidade pelo fato de apresentar um pico não tão bem definido, mas presente, no difratograma do material.

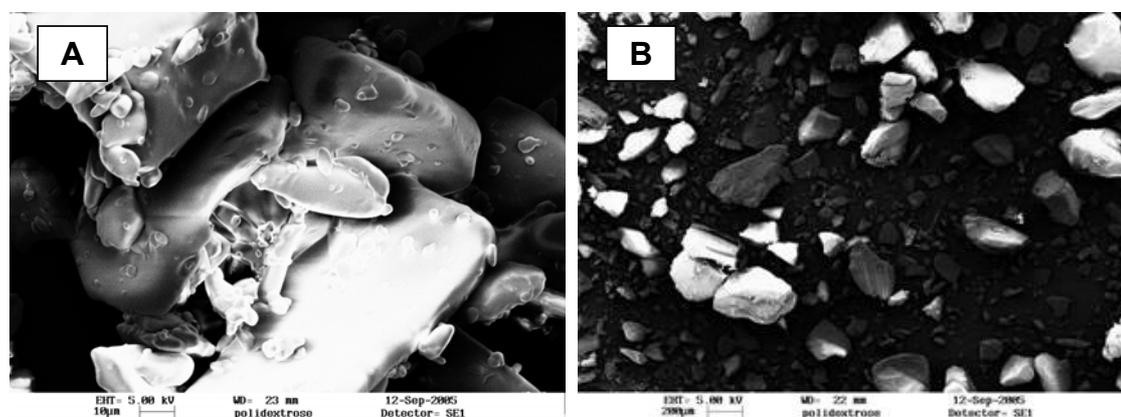
Hoover (2001) determina que o grau de cristalinidade influencia na susceptibilidade ao ataque enzimático, gelatinização, retrogradação e propriedades reológicas, que são extremamente importantes, pois influem nas propriedades da massa e do pão de queijo, antes e após seu assamento.

### 5.1.6 Morfologia dos grânulos dos ingredientes funcionais e da fécula de mandioca pré-gelatinizada



**Figura 3.8** Micrografias do isolado protéico de soja, obtidas no microscópio eletrônico de varredura: (A) aumento de 4000X e (B) aumento de 3000X.

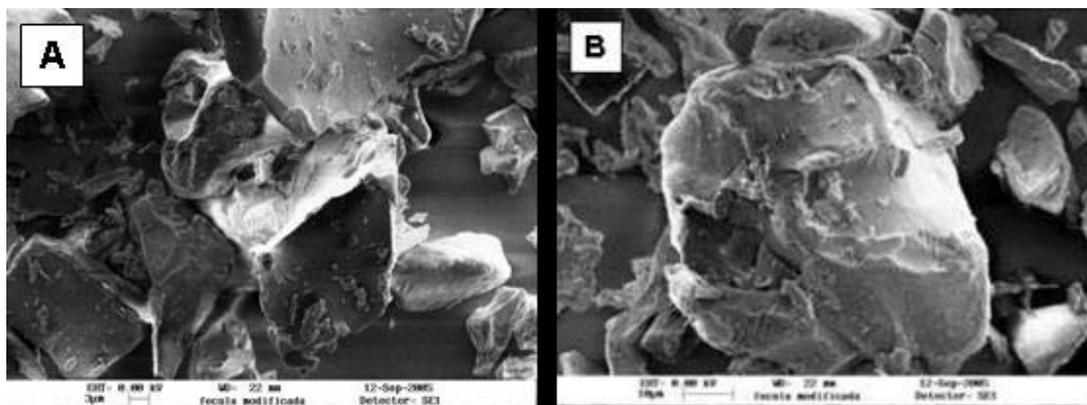
As micrografias dos grânulos de isolado protéico de soja observadas nas Figuras 3.8A e 3.8B (aumentos de 4000 e 3000 vezes), confirmaram o polimorfismo das partículas, apresentando estruturas cilíndricas, poliédricas e lenticulares, evidenciando claramente o dano sofrido na superfície dos grânulos devido à extração de proteína da farinha desengordura da soja. Os tamanhos de partícula observados oscilaram entre 20 e 90  $\mu\text{m}$ , os quais se encontram próximos ao valor determinado na análise de distribuição de tamanho de partícula por difração de raios laser (*Mastersizer*).



**Figura 3.9** Micrografias das partículas de polidextrose, obtidas no microscópio eletrônico de varredura: (A) aumento de 2000X e (B) aumento de 100X.

As partículas de polidextrose, observadas nas Figuras 3.9A e 3.9B, em aumentos de 2000 e 100 vezes, apresentaram também um alto grau de polimorfismo, com estruturas truncadas, triangulares e poliédricas, que se deve em grande parte ao fato da polidextrose ser obtida através da condensação da glicose, levando à formação de uma estrutura química não definida com massas moleculares que variam entre 150-20.000 Da (STRUMM & BALTES, 1996) e altas quantidades de combinações das ligações  $\alpha$  e  $\beta$  na sua estrutura (RIBEIRO et al., 2003).

Os tamanhos de partícula da polidextrose observados oscilaram entre 40 e 1800  $\mu\text{m}$ , evidenciando o que foi determinado na distribuição de tamanho de partícula obtido pelo *Mastersizer*, o qual forneceu um valor médio de tamanho de partícula errôneo, devido a este polimorfismo observado.



**Figura 3.10** Micrografias das partículas de fécula de mandioca pré-gelatinizada, obtidas no microscópio eletrônico de varredura: (A) aumento de 4000X e (B) aumento de 3000X.

As partículas de fécula de mandioca pré-gelatinizada, observadas nas Figuras 3.10A e 3.10B (aumentos de 4000 e 3000 vezes), apresentaram polimorfismo com estruturas alargadas, triangulares devido ao tratamento sofrido durante a pré-gelatinização, modificação e estabilização, o que pode ser considerado forte, devido à mudança registrada em relação aos grânulos nativos de fécula de mandioca que segundo (CÁRDENAS & BUCKLE, 1980) apresentam formatos redondos, ovais com superfície plana e homogênea.

Os tamanhos observados das partículas variaram de 13 a 57  $\mu\text{m}$ , sendo confirmado também na análise obtida no Mastersizer, que determinou tamanho médio de partícula de 42,53  $\mu\text{m}$ .

## 5.2 Planejamento Experimental

Nas Tabelas 3.6 e 3.7, são apresentadas as médias das respostas analisadas e seus respectivos desvios padrão para os pães de queijo sem e com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada. Os resultados das médias de cada ensaio foram utilizados nas análises estatísticas dos efeitos das variáveis independentes sobre as respostas determinadas.

**Tabela 3.6 Respostas de volume (cm<sup>3</sup>/g), textura (g) e cor (L\*, C\*, h) da crosta e do miolo dos pães de queijo, sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| ENSAIO | VOLUME               | TEXTURA        | L*         | C*         | h          | L*         | C*         | h          |
|--------|----------------------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|        | (cm <sup>3</sup> /g) | (g)            | crosta     | crosta     | crosta     | miolo      | miolo      | miolo      |
| 1      | 3.62±0.02            | 1914.50±93.32  | 71.71±0.87 | 32.56±0.21 | 73.92±0.54 | 59.54±1.37 | 26.32±0.18 | 85.18±0.12 |
| 2      | 2.95±0.22            | 4839.72±353.65 | 74.53±1.15 | 31.46±0.34 | 75.74±0.21 | 63.05±1.42 | 26.69±0.16 | 84.43±0.08 |
| 3      | 2.12±0.22            | 4077.39±202.11 | 77.16±0.81 | 33.98±0.27 | 78.89±1.14 | 67.47±1.45 | 30.09±0.02 | 84.56±0.17 |
| 4      | 2.57±0.20            | 3093.32±237.21 | 70.40±1.42 | 35.84±0.10 | 73.78±0.47 | 64.93±0.35 | 28.45±0.13 | 83.52±0.48 |
| 5      | 2.79±0.01            | 2528.27±193.98 | 76.31±0.87 | 32.82±0.13 | 79.43±1.36 | 62.91±2.90 | 30.64±0.35 | 85.83±0.52 |
| 6      | 2.75±0.01            | 2516.87±200.23 | 76.11±0.91 | 33.35±0.03 | 78.24±0.52 | 67.19±1.36 | 27.59±0.16 | 86.92±0.24 |
| 7      | 2.63±0.22            | 2946.11±62.83  | 72.51±1.21 | 36.76±0.73 | 74.33±0.75 | 66.71±1.30 | 29.65±0.38 | 84.64±0.11 |
| 8      | 2.62±0.22            | 2726.53±184.76 | 74.53±0.34 | 32.18±0.02 | 77.41±0.62 | 63.62±0.71 | 27.51±0.13 | 84.22±0.09 |
| 9      | 2.17±0.03            | 2621.80±152.75 | 76.56±0.49 | 32.55±0.27 | 80.91±1.04 | 68.44±0.35 | 29.56±0.08 | 86.49±0.11 |
| 10     | 3.12±0.01            | 1626.44±104.17 | 75.44±0.96 | 30.04±0.07 | 78.32±0.59 | 60.18±1.01 | 27.76±0.16 | 84.15±0.46 |
| 11     | 2.43±0.22            | 2340.13±167.70 | 74.75±0.56 | 32.08±0.09 | 76.18±0.37 | 62.41±1.66 | 26.81±0.13 | 86.38±0.36 |
| 12     | 2.24±0.01            | 2317.38±136.73 | 75.01±0.35 | 32.27±0.30 | 79.27±2.74 | 64.04±2.98 | 29.74±0.15 | 83.63±0.76 |
| 13     | 2.83±0.01            | 2539.67±59.08  | 75.24±0.62 | 34.04±0.12 | 76.48±0.93 | 65.62±0.81 | 27.45±0.25 | 85.17±0.19 |
| 14     | 3.25±0.07            | 2635.25±251.80 | 76.47±0.82 | 32.11±0.26 | 79.31±0.92 | 64.91±1.58 | 26.53±0.30 | 85.59±0.55 |
| 15     | 2.61±0.21            | 3360.51±267.88 | 77.18±0.61 | 31.75±0.10 | 78.83±0.83 | 63.35±0.36 | 28.83±0.26 | 85.21±0.12 |
| 16     | 2.28±0.01            | 2436.65±165.25 | 73.23±1.34 | 32.20±0.03 | 76.86±1.05 | 65.01±1.38 | 29.55±0.08 | 84.61±0.03 |
| 17     | 2.20±0.02            | 2195.51±133.30 | 76.82±1.09 | 30.74±0.24 | 79.35±1.18 | 65.29±0.53 | 27.48±0.23 | 85.72±0.32 |
| 18     | 2.48±0.21            | 2244.37±124.17 | 77.09±0.85 | 31.14±0.20 | 79.19±1.11 | 64.99±0.18 | 27.62±0.27 | 85.76±0.10 |

**Tabela 3.7 Respostas de volume (cm<sup>3</sup>/g), textura (g) e cor (L\*, C\*, h) da crosta e do miolo dos pães de queijo, com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| ENSAIO | VOLUME               | TEXTURA        | L*         | C*         | h          | L*         | C*         | h          |
|--------|----------------------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|        | (cm <sup>3</sup> /g) | (g)            | crosta     | crosta     | crosta     | miolo      | miolo      | miolo      |
| 1      | 2.98±0.15            | 1719.12±170.10 | 71.85±0.55 | 28.61±0.25 | 73.78±0.71 | 60.04±2.25 | 22.61±0.07 | 84.72±0.35 |
| 2      | 4.04±0.22            | 1829.10±147.94 | 77.44±1.69 | 22.79±0.23 | 80.41±0.27 | 53.35±0.45 | 24.41±0.33 | 85.54±0.95 |
| 3      | 2.79±0.03            | 2513.61±199.60 | 75.32±0.70 | 31.91±0.32 | 79.02±4.18 | 59.97±2.38 | 27.61±0.28 | 85.99±0.41 |
| 4      | 3.75±0.03            | 2252.21±204.60 | 67.77±1.44 | 32.86±0.16 | 72.17±0.57 | 60.48±0.11 | 28.32±0.10 | 84.55±0.04 |
| 5      | 4.07±0.14            | 2147.51±164.44 | 73.12±0.97 | 28.41±0.17 | 76.27±2.03 | 60.07±2.13 | 20.61±0.13 | 86.22±0.52 |
| 6      | 3.66±0.21            | 2760.10±23.59  | 74.16±2.56 | 32.02±0.58 | 77.57±3.00 | 60.63±0.23 | 23.52±0.03 | 87.42±0.15 |
| 7      | 2.72±0.02            | 2236.61±103.69 | 75.31±0.60 | 32.44±0.25 | 76.56±0.67 | 64.01±0.98 | 24.93±0.07 | 86.55±0.30 |
| 8      | 2.89±0.20            | 1602.50±43.31  | 72.63±0.49 | 32.77±0.28 | 74.51±0.43 | 58.89±2.37 | 25.46±0.02 | 84.05±0.09 |
| 9      | 3.09±0.21            | 2157.71±167.87 | 76.53±0.57 | 31.95±0.30 | 78.44±0.48 | 62.98±1.33 | 24.43±0.27 | 87.71±0.22 |
| 10     | 3.53±0.23            | 1126.90±57.43  | 75.61±0.89 | 32.14±0.20 | 77.36±1.05 | 63.52±1.54 | 21.33±0.21 | 88.61±0.01 |
| 11     | 3.16±0.10            | 1921.31±111.41 | 73.01±0.31 | 31.24±0.17 | 76.11±0.59 | 58.86±1.19 | 24.55±0.09 | 86.36±0.24 |
| 12     | 2.59±0.21            | 2275.51±199.56 | 72.98±0.90 | 35.64±0.34 | 74.56±1.36 | 63.45±3.02 | 26.73±0.30 | 84.33±0.47 |
| 13     | 3.09±0.23            | 2403.50±97.28  | 75.62±0.57 | 31.84±0.19 | 79.67±0.24 | 58.18±1.56 | 25.95±0.12 | 86.11±0.41 |
| 14     | 3.13±0.01            | 1764.24±148.78 | 75.64±0.04 | 31.05±0.29 | 78.81±0.58 | 58.15±0.07 | 25.84±0.26 | 85.96±0.69 |
| 15     | 2.76±0.07            | 1617.58±91.43  | 76.97±0.83 | 30.68±0.18 | 80.03±0.60 | 61.01±1.58 | 25.39±0.10 | 85.75±0.40 |
| 16     | 2.75±0.01            | 1827.21±180.85 | 77.21±0.64 | 31.16±0.08 | 80.19±0.81 | 61.51±1.49 | 25.76±0.03 | 85.88±0.34 |
| 17     | 2.79±0.01            | 2128.33±145.22 | 70.03±0.53 | 34.03±0.12 | 73.12±0.65 | 60.71±1.90 | 26.67±0.24 | 84.04±0.34 |
| 18     | 2.92±0.22            | 1847.19±182.36 | 73.12±1.94 | 33.38±0.33 | 75.19±1.11 | 62.16±3.23 | 26.58±0.20 | 84.88±0.95 |

### **5.2.1 Volume específico**

A análise dos valores médios dos volumes específicos para os pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, observados nas Tabelas 3.6 e 3.7 mostra que eles variaram de 2,12 e 3,62 cm<sup>3</sup>/g para os pães de queijo elaborados com etapa de escaldamento e 2,59 a 4,07 cm<sup>3</sup>/g para os pães com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada. Estes valores são próximos aos reportados anteriormente no Capítulo 1 e também aos obtidos por Machado (2003) para pães de queijo elaborados com diferentes teores de polvilho azedo, com escaldamento.

Os valores mínimo e máximo do volume específico obtidos para os pães de queijo sem adição de fécula de mandioca ocorreram nos ensaios 3 e 1 do planejamento experimental, respectivamente. Estes ensaios correspondem às formulações com igual teor de polvilho azedo (20,24%) o mesmo teor de polidextrose (1,03%), no entanto, com adição de 8,48% e 2,21%, respectivamente, de isolado protéico de soja.

Para os pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, os valores mínimo e máximo do volume específico ocorreram nos ensaios 12 e 5 do planejamento experimental, respectivamente. Estas formulações apresentam 50,00% e 20,24% de polvilho azedo, 10,54% e 2,21% de isolado protéico de soja e 2,55% e 4,05% de polidextrose, respectivamente.

Através dos resultados do volume específico é possível verificar que não foi possível a obtenção de um modelo de 2<sup>a</sup> ordem para os pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, enquanto que para os pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada foi possível estabelecer este modelo em função destas variáveis.

Pelos resultados obtidos, evidencia-se que a elaboração de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada e com diferentes teores de polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose fornecem volumes muito próximos, sendo possível a elaboração destes pães com altos teores de ingredientes funcionais que beneficiem à saúde.

As Tabelas 3.8 e 3.10 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para o volume específico dos pães de queijo.

**Tabela 3.8 Análise dos coeficientes de regressão para o volume específico de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada com escaldamento.**

|                     | Coeficientes<br>Regressão | Erro<br>Puro | t(3)     | p - valor |
|---------------------|---------------------------|--------------|----------|-----------|
| Média*              | 2,38821                   | 0,09296      | 25,69196 | 0,00013   |
| P_AZEDO (L)         | 0,09760                   | 0,05038      | 1,93724  | 0,14811   |
| P_AZEDO (Q)         | 0,10503                   | 0,05235      | 2,00637  | 0,13847   |
| ISOLADO (L)*        | -0,18303                  | 0,05038      | -3,63287 | 0,03592   |
| ISOLADO (Q)         | -0,00568                  | 0,05235      | -0,10855 | 0,92041   |
| POLIDEXT(L)         | 0,01731                   | 0,05038      | 0,34354  | 0,75386   |
| POLIDEXT(Q)*        | 0,24345                   | 0,05235      | 4,65044  | 0,01875   |
| P_AZEDO x ISOLADO   | 0,14228                   | 0,06583      | 2,16137  | 0,11942   |
| P_AZEDO x POLIDEXT  | 0,02100                   | 0,06583      | 0,31902  | 0,77063   |
| ISOLADO x POLIDEXT* | 0,20005                   | 0,06583      | 3,03906  | 0,05591   |

\* Fator estatisticamente significativo a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Analisando os coeficientes de regressão da Tabela 3.8, observa-se que as variáveis que tiveram interferência estatisticamente significativa no volume específico dos pães de queijo, dentro da faixa de valores estudada, foram: o isolado protéico de soja linear, a polidextrose quadrática e a interação entre o isolado protéico de soja e a polidextrose.

Dentre estas variáveis, observa-se que ao aumentar o isolado protéico de soja de 0,00% para 10,54% o volume específico do pão de queijo diminui. Este mesmo comportamento foi observado por Mohamed et al. (2006) em pães elaborados com farinha de trigo e adição de isolado protéico de soja. Por outro lado, o aumento no teor de polidextrose de 0,00% para 5,07%, o volume específico dos pães de queijo aumenta o que está em acordo com Esteller (2004), que avaliou o efeito da polidextrose no aumento do volume de pães tipo hambúrguer.

**Tabela 3.9** Análise de variância para o volume específico de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada com escaldamento.

| Fontes de variação | SQ      | GL | MQ      | Fcal    | p       |
|--------------------|---------|----|---------|---------|---------|
| Regressão          | 1,92509 | 9  | 0,21389 | 1,99976 | 0,17103 |
| Resíduo            | 0,85570 | 8  | 0,10696 |         |         |
| Total              | 2,78079 | 17 |         |         |         |

$$\% \text{ variação explicada } (R^2) = 0,6923; F_{9;8; 0,05} = 3,39$$

A ANOVA da Tabela 3.9 mostra que 69,23% da variação dos resultados de volume específico foi explicada pela regressão e o modelo codificado que descreve o comportamento do volume específico não foi estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 3.10** Análise dos coeficientes de regressão para o volume específico de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

|                     | Coefficientes Regressão | Erro puro | t(3)      | p - valor |
|---------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Média*              | 2,79266                 | 0,03823   | 73,05144  | 0,00001   |
| P_AZEDO (L)*        | 0,18454                 | 0,02072   | 8,90663   | 0,00299   |
| P_AZEDO (Q)*        | 0,23275                 | 0,02153   | 10,81112  | 0,00169   |
| ISOLADO (L)*        | -0,25986                | 0,02072   | -12,54183 | 0,00109   |
| ISOLADO (Q)*        | 0,07790                 | 0,02153   | 3,61823   | 0,03629   |
| POLIDEXT(L)         | -0,01096                | 0,02072   | -0,52914  | 0,63336   |
| POLIDEXT(Q)*        | 0,16063                 | 0,02153   | 7,46101   | 0,00499   |
| P_AZEDO x ISOLADO   | 0,05962                 | 0,02707   | 2,20250   | 0,11490   |
| P_AZEDO x POLIDEXT* | -0,28288                | 0,02707   | -10,44919 | 0,00187   |
| ISOLADO x POLIDEXT* | -0,20638                | 0,02707   | -7,62334  | 0,00469   |

\* Fator estatisticamente significativo a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ )

Analisando os coeficientes de regressão da Tabela 3.10, observa-se que as variáveis que apresentaram interferência estatisticamente significativa no volume específico dos pães de queijo adicionados de fécula de mandioca pré-gelatinizada, dentro da faixa estudada, foram todas as avaliadas menos a

polidextrose linear e a interação do polvilho azedo com o isolado protéico de soja.

Dentre estas variáveis significativas, observa-se que ao aumentar o teor de polvilho azedo de 0,00% para 100,00% e a polidextrose de 0,00% para 5,07%, ocorre o aumento do volume específico do pão de queijo, estando de acordo com o observado por Machado (2003) para pães de queijo elaborados com altos teores de polvilho azedo. Enquanto que, ao aumentar o isolado protéico de soja de 0,00% para 10,54% diminui-se o volume específico dos pães de queijo não submetido ao escaldamento é reduzido.

**Tabela 3.11 Análise de variância para o volume específico de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| Fontes de variação | SQ             | GL        | MQ      | Fcal    | p              |
|--------------------|----------------|-----------|---------|---------|----------------|
| Regressão          | 3,25044        | 9         | 0,36121 | 7,34837 | <b>0,00498</b> |
| Resíduo            | 0,39319        | 8         | 0,04912 |         |                |
| <b>Total</b>       | <b>3,64363</b> | <b>17</b> |         |         |                |

$$\% \text{ variação explicada } (R^2) = 0,8921; F_{9;8; 0,05} = 3,39$$

A ANOVA da Tabela 3.11, correspondente ao modelo do volume específico dos pães de queijo, mostrou que 89,21% da variação dos resultados foi explicada pela regressão e, no teste de F, o valor calculado foi 2,17 vezes maior que o valor tabelado, a 5% de significância.

Em vista dos resultados da análise de variância, foi obtido o modelo codificado (equação 3.5) que descreve o comportamento do volume específico dos pães de queijo com fécula de mandioca pré-gelatinizada. O modelo ajustado apresenta uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado na Tabela 3.12 Figura 3.11, que permitem a visualização dos desvios ocorridos, sendo o maior deles igual a 14% para o ensaio 7.

Assim, foi possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno do volume específico dos pães de queijo apresentados nas Figuras 3.12 a 3.17.

$$\text{Volume específico} = 2.7926 + 0.1845X_1 + 0.2327X_1^2 - 0.2598 X_2 + 0.0779 X_2^2 - 0.0109 X_3 + 0.1606 X_3^2 + 0.0596 X_1X_2 - 0.2828 X_1X_3 - 0.2063 X_2X_3 \quad \text{equação 3.5}$$

Onde:

- $X_1$  = polvilho azedo;
- $X_2$  = isolado protéico de soja;
- $X_3$  = polidextrose.

**Tabela 3.12** Valores de volume específico experimental e predito pelo modelo codificado e seus desvios absolutos e relativos.

| ENSAIOS | POLVILHO AZEDO | ISOLADO PR. SOJA | POLIDEXT | Volume experimental | Volume predito | Desvio absoluto | Desvio relativo |
|---------|----------------|------------------|----------|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1       | -1             | -1               | -1       | 2,975               | 3,056          | -0,0814         | -2,7355         |
| 2       | 1              | -1               | -1       | 4,043               | 3,991          | 0,0518          | 1,2809          |
| 3       | -1             | 1                | -1       | 2,794               | 2,537          | 0,2573          | 9,2106          |
| 4       | 1              | 1                | -1       | 3,751               | 3,471          | 0,2795          | 7,4516          |
| 5       | -1             | -1               | 1        | 4,074               | 3,622          | 0,4519          | 11,0915         |
| 6       | 1              | -1               | 1        | 3,661               | 3,425          | 0,2355          | 6,4337          |
| 7       | -1             | 1                | 1        | 2,718               | 3,102          | -0,3844         | -14,1430        |
| 8       | 1              | 1                | 1        | 2,893               | 2,906          | -0,0127         | -0,4404         |
| 9       | -1,682         | 0                | 0        | 3,092               | 3,141          | -0,0486         | -1,5725         |
| 10      | 1,682          | 0                | 0        | 3,528               | 3,761          | -0,2333         | -6,6140         |
| 11      | 0              | -1,682           | 0        | 3,155               | 3,450          | -0,2950         | -9,3507         |
| 12      | 0              | 1,682            | 0        | 2,589               | 2,576          | 0,0131          | 0,5041          |
| 13      | 0              | 0                | -1,682   | 3,086               | 3,247          | -0,1610         | -5,2165         |
| 14      | 0              | 0                | 1,682    | 3,126               | 3,247          | -0,1210         | -3,8702         |
| 15      | 0              | 0                | 0        | 2,763               | 2,793          | -0,0297         | -1,0733         |
| 16      | 0              | 0                | 0        | 2,750               | 2,793          | -0,0427         | -1,5511         |
| 17      | 0              | 0                | 0        | 2,789               | 2,793          | -0,0037         | -0,1311         |
| 18      | 0              | 0                | 0        | 2,917               | 2,793          | 0,1243          | 4,2627          |

Os desvios relativos estão expressos em (%).

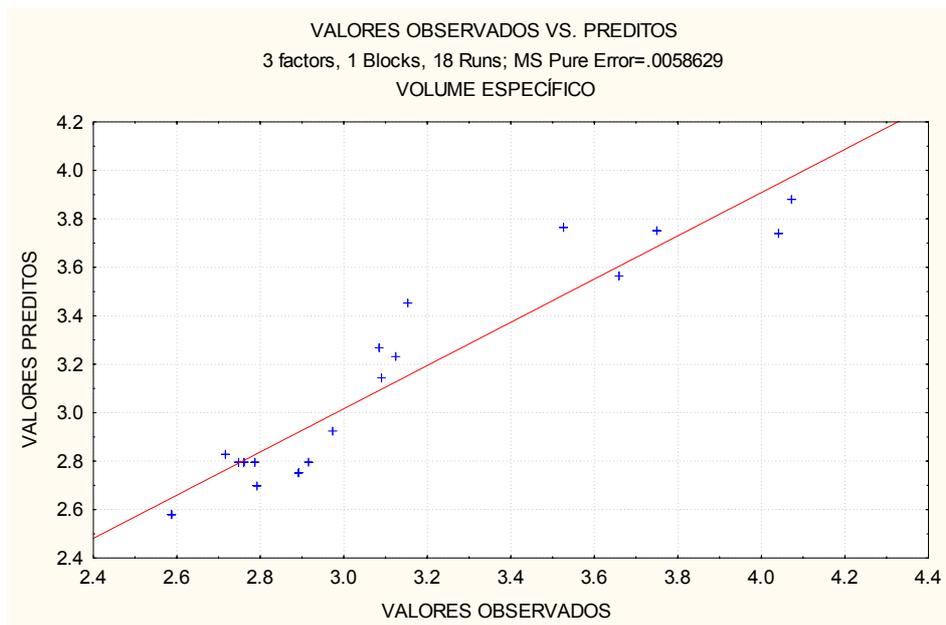


Figura 3.11 Valores observados versus valores previstos para o volume específico de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

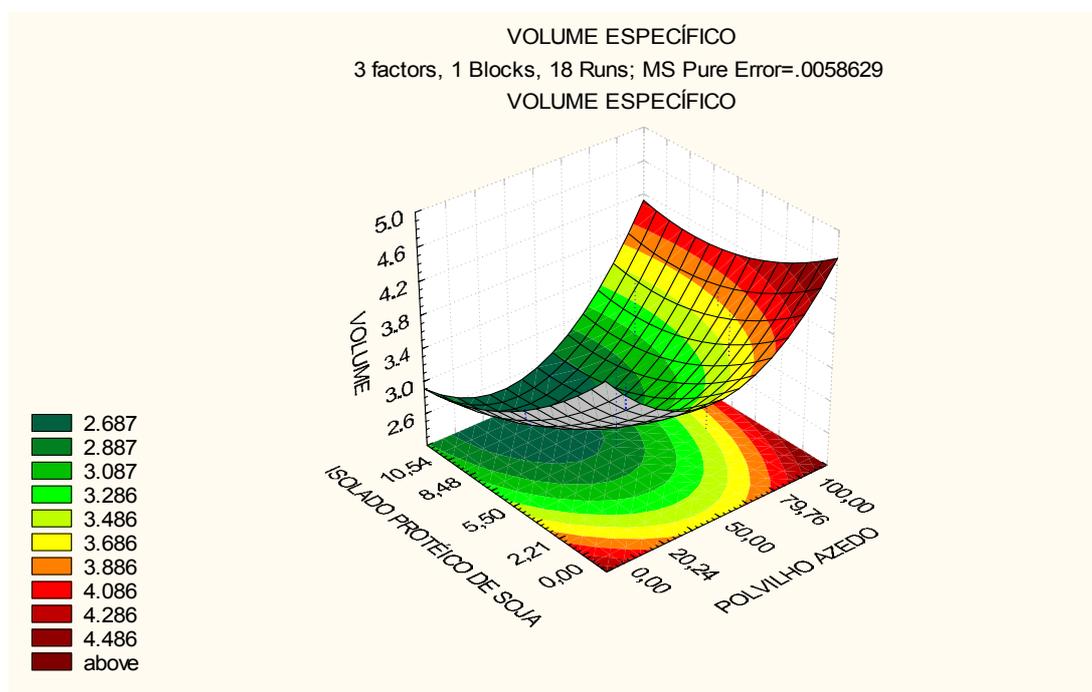


Figura 3.12 Superfície de resposta para o volume específico dos pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: isolado protéico de soja x polvilho azedo.

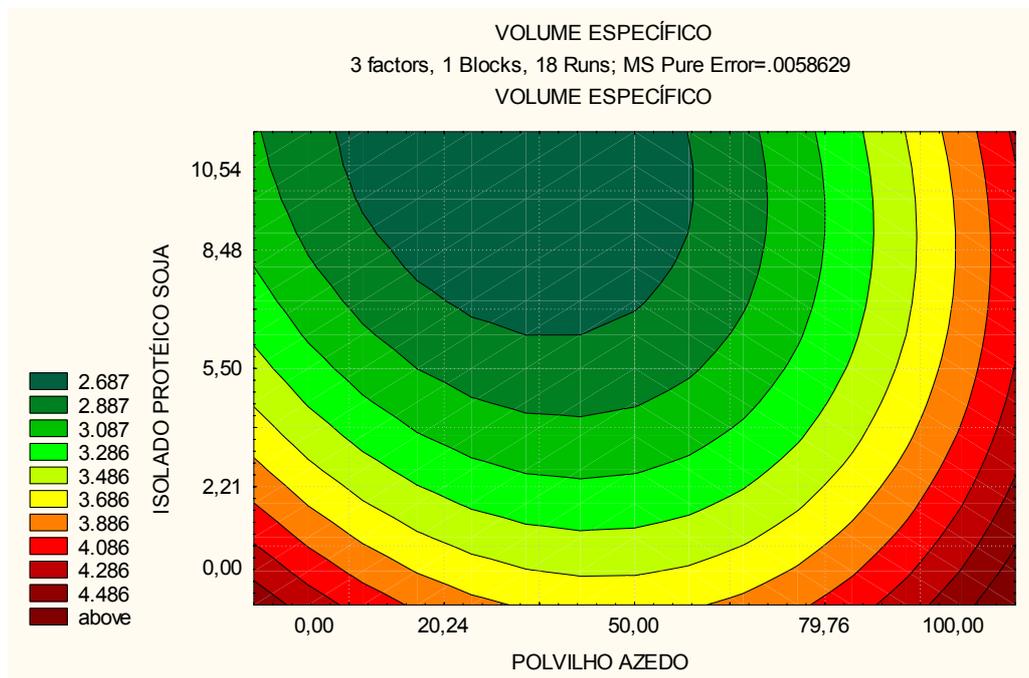


Figura 3.13 Curvas de contorno para o volume específico dos pães de queijo com fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: isolado protéico de soja x polvilho azedo

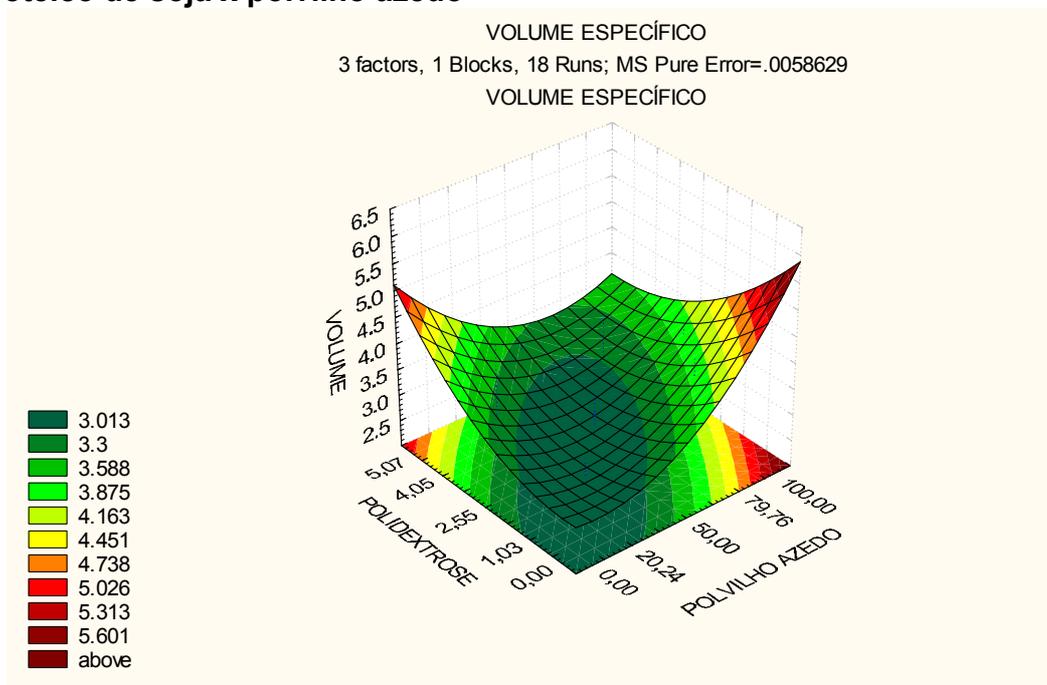


Figura 3.14 Superfície de resposta para o volume específico dos pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: polidextrose x polvilho azedo.

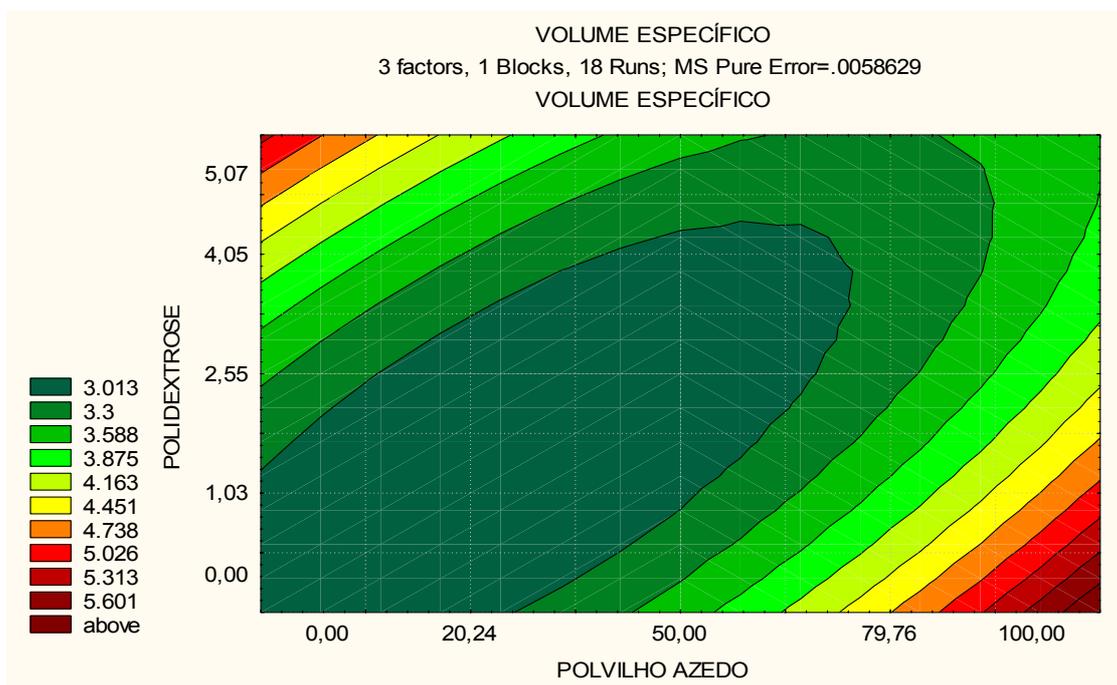


Figura 3.15 Curvas de contorno para o volume específico dos pães de queijo com fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: polidextrose x polvilho azedo.

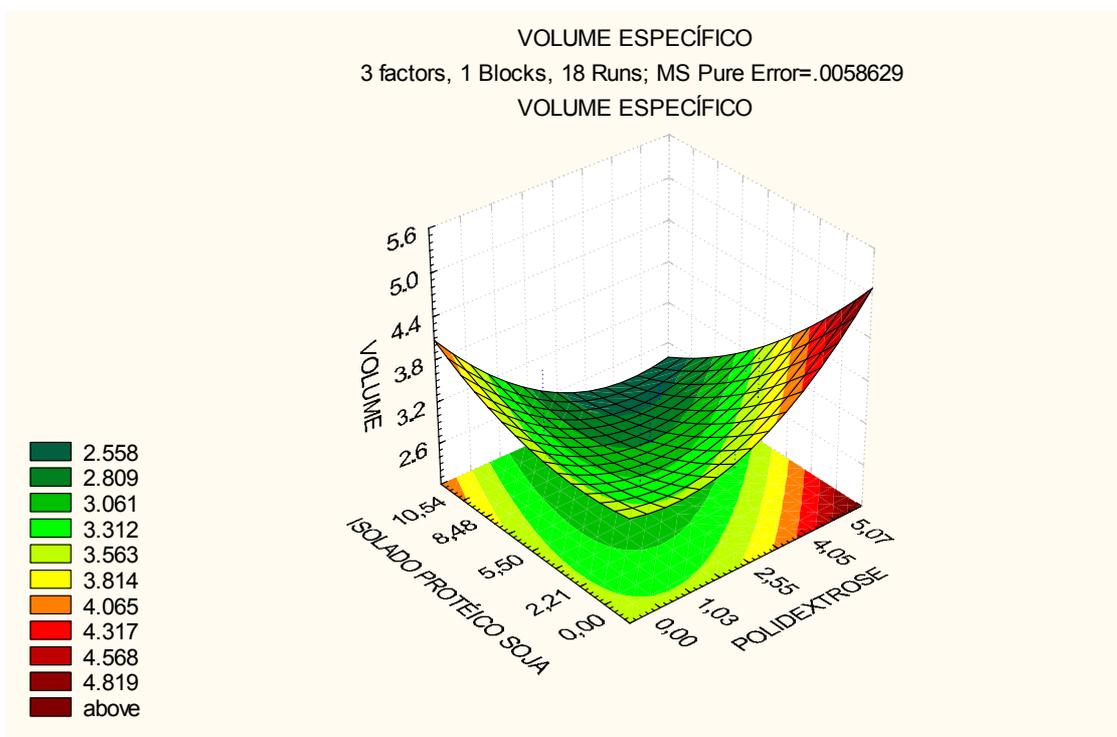
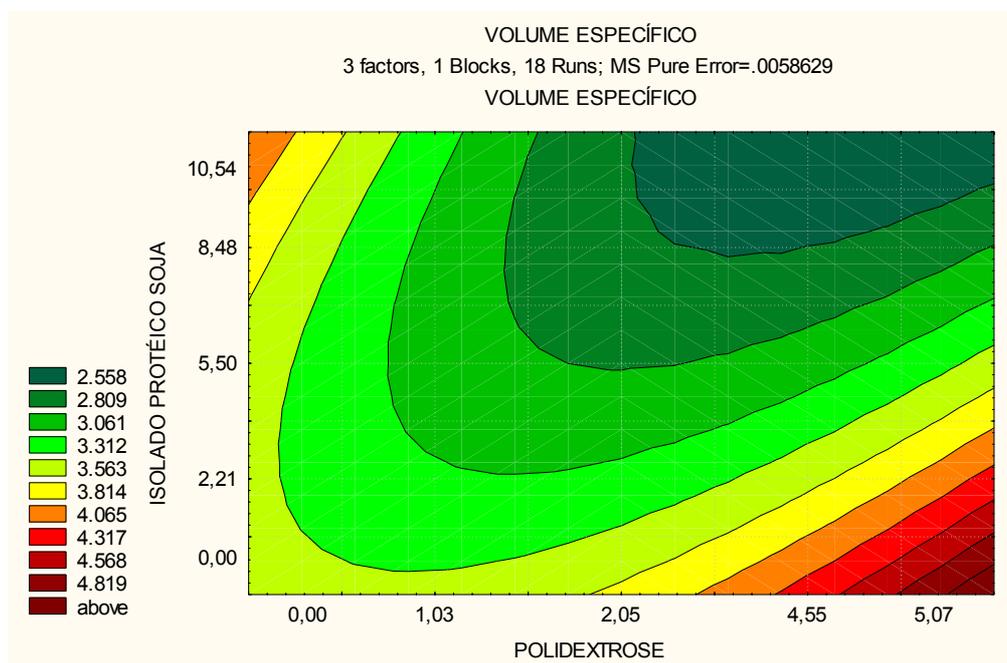


Figura 3.16 Superfície de resposta para o volume específico dos pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: isolado protéico de soja x polidextrose.



**Figura 3.17** Curvas de contorno para o volume específico dos pães de queijo com fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: isolado protéico de soja x polidextrose.

A utilização de altos teores de polvilho azedo (79,76% a 100,00%) com teores médios de isolado protéico de soja (2,21% a 5,50%) e altos teores de polidextrose (4,05% a 5,07%) conduziu à obtenção de pães de queijo com maiores volumes, o que está de acordo com o reportado por Machado (2003), Jesus (1997) e Pereira (2001), para pães de queijo elaborados com altos teores de polvilho azedo. A utilização de baixos teores de polvilho azedo, teores médios de isolado protéico de soja e altos teores de polidextrose também conferiu ao pão de queijo volumes altos, mas conduziu a obtenção de altos volumes no pão de queijo, mas 43,65% inferiores aos obtidos com altos teores de polvilho azedo.

Segundo Pereira (2001), grandes volumes nos pães de queijo evidenciam maior poder de expansão durante o forneamento. A aceitação sensorial é um fator importante no desenvolvimento de produtos, sendo que o estudo realizado no Capítulo 1, com pães de queijo elaborados com diferentes teores de polvilho azedo, mostrou uma maior aceitação de pães de queijo que foram elaborados

com baixos teores de polvilho azedo, pois o consumidor não deseja que o produto apresente características similares às de biscoito de polvilho.

O interessante destes resultados é a possibilidade da utilização dos extremos de polvilho azedo para a obtenção de pães de queijo com grandes volumes, uma vez que a incorporação de diferentes teores de isolado protéico de soja e polidextrose também influenciam na qualidade física, sensorial e nutricional final do produto, já que tanto a polidextrose como o isolado protéico de soja tem o poder de melhorar a textura dos produtos, tornando-os mais macios (ESTELLER, 2004; SINGH & MOHAMED, 2005).

O intuito de elaborar pães de queijo com apelo funcional leva à utilização de baixos teores de polvilho azedo, teores médios de isolado protéico de soja e altos teores de polidextrose na formulação de pão de queijo. Esta composição importante é de interesse, pois seria necessário consumir menor quantidade de pães de queijo para atingir as necessidades diárias recomendadas de fibra, para causar um benefício à saúde.

Esteller (2004) obteve os maiores volumes nos pães tipo hambúrguer quando utilizou os maiores teores de polidextrose na formulação, evidenciando a influência desta na obtenção de pães com maiores volumes e texturas macias.

### **5.2.2 Textura**

Pela análise dos valores médios de força de compressão obtidos através dos ensaios de textura para os pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, observados nas Tabelas 3.6 e 3.7, verifica-se que eles variaram entre 1626,44 g e 4839,72 g para os pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (com escaldamento) e de 1126,90 g a 2760,10 g para os pães com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

Estes valores foram próximos aos reportados por Pereira (2001) e Machado (2003), para pães de queijo elaborados com diferentes teores de polvilho azedo (1,587 g a 2,358 g), o que evidencia a capacidade da polidextrose

e o isolado protéico de soja em manter ou melhorar a textura dos produtos, como reportado por Esteller (2004) e Mohamed et al. (2006) para pães tipo hambúguer e pães de baixo conteúdo de carboidratos.

Os valores mínimo e máximo de força de compressão obtidos para os pães de queijo sem adição de fécula de mandioca (com escaldamento) ocorreram nos ensaios 10 e 2 do planejamento experimental, os quais correspondem, respectivamente, a 100,00% e 79,76% de polvilho azedo, 5,50% e 2,21% de isolado protéico de soja e 2,55% e 1,03% de polidextrose.

Para os pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, os valores mínimo e máximo de força de compressão ocorreram nos ensaios 10 e 6 do planejamento experimental, em cujas formulações foram adicionados respectivamente, 50,00% e 79,76% de polvilho azedo, 5,50% e 2,21% de isolado protéico de soja e 2,55% e 4,05% de polidextrose.

Através dos resultados de força de compressão para os pães de queijo com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, não foi possível estabelecer um modelo de 2ª ordem em função destas variáveis, na faixa de valores estudada. Isso se deve ao fato da determinação da força de compressão para pães de queijo, utilizando-se o texturômetro, ser uma análise muito sensível e o produto possuir uma característica heterogênea devido às mudanças na expansão sofrida durante o forneamento.

As Tabelas 3.13 e 3.15 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a força de compressão dos pães de queijo.

**Tabela 3.13 Análise dos coeficientes de regressão para a força de compressão de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (com escaldamento).**

|                           | <b>Coeficientes<br/>Regressão</b> | <b>Erro<br/>puro</b> | <b>t(3)</b> | <b>p - valor</b> |
|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------|------------------|
| <b>Média</b>              | 2523,14252                        | 271,70706            | 9,28626     | 0,00264          |
| <b>P_AZEDO (L)</b>        | 2,64920                           | 147,26307            | 0,01799     | 0,98678          |
| <b>P_AZEDO (Q)</b>        | 7,77595                           | 153,01650            | 0,05082     | 0,96267          |
| <b>ISOLADO (L)</b>        | 73,64289                          | 147,26307            | 0,50008     | 0,65140          |
| <b>ISOLADO (Q)</b>        | 80,12535                          | 153,01650            | 0,52364     | 0,63675          |
| <b>POLIDEXT(L)</b>        | -223,06786                        | 147,26307            | -1,51476    | 0,22707          |
| <b>POLIDEXT(Q)</b>        | 171,59138                         | 153,01650            | 1,12139     | 0,34379          |
| <b>P_AZEDO x ISOLADO</b>  | -514,68363                        | 192,40848            | -2,67495    | 0,07537          |
| <b>P_AZEDO x POLIDEXT</b> | -271,51638                        | 192,40848            | -1,41115    | 0,25303          |
| <b>ISOLADO x POLIDEXT</b> | 26,37638                          | 192,40848            | 0,13709     | 0,89965          |

\* Fator estatisticamente significativo a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Analisando os coeficientes de regressão da Tabela 3.13, observa-se que nenhuma variável e nem tão pouco suas interações mostraram interferência estatisticamente significativa na força de compressão dos pães de queijo, dentro da faixa de valores estudada.

**Tabela 3.14 Análise de variância para a força de compressão de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (com escaldamento).**

| <b>Fontes de<br/>variação</b> | <b>SQ</b> | <b>GL</b> | <b>MQ</b> | <b>Fcal</b> | <b>p</b> |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|----------|
| <b>Regressão</b>              | 3884005,7 | 9         | 431556,2  | 0,58392     | 0,78037  |
| <b>Resíduo</b>                | 5912580,0 | 8         | 739072,5  |             |          |
| <b>Total</b>                  | 9796585,7 | 17        |           |             |          |

**% variação explicada ( $R^2$ ) = 0,3964;  $F_{9;8; 0,05} = 3,39$**

A ANOVA da Tabela 3.14 mostrou que 39,64% da variação dos resultados de força de compressão foi explicada pela regressão e o modelo codificado que descreve o comportamento da força de compressão não foi estatisticamente significativa a  $p \leq 0,05$ .

**Tabela 3.15** Análise de coeficientes de regressão para a força de compressão de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

|                            | <b>Coeficientes<br/>Regressão</b> | <b>Erro<br/>puro</b> | <b>t(3)</b> | <b>p - valor</b> |
|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------|------------------|
| <b>Média*</b>              | 1845,98633                        | 104,70525            | 17,63031    | 0,00040          |
| <b>P_AZEDO (L)</b>         | -139,61429                        | 56,74942             | -2,46019    | 0,09085          |
| <b>P_AZEDO (Q)</b>         | -34,96880                         | 58,96656             | -0,59303    | 0,59490          |
| <b>ISOLADO (L)</b>         | 54,53606                          | 56,74942             | 0,96100     | 0,40745          |
| <b>ISOLADO (Q)</b>         | 126,28690                         | 58,96656             | 2,14167     | 0,12166          |
| <b>POLIDEXT(L)</b>         | -47,02914                         | 56,74942             | -0,82872    | 0,46804          |
| <b>POLIDEXT(Q)</b>         | 121,14270                         | 58,96656             | 2,05443     | 0,13220          |
| <b>P_AZEDO x ISOLADO</b>   | -202,28750                        | 74,14669             | -2,72821    | 0,07205          |
| <b>P_AZEDO x POLIDEXT</b>  | 16,23750                          | 74,14669             | 0,21899     | 0,84071          |
| <b>ISOLADO x POLIDEXT*</b> | -285,73750                        | 74,14669             | -3,85368    | 0,03086          |

\*Fator estatisticamente significativo a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Pela Tabela 3.15, observa-se que somente a interação do isolado protéico de soja e a polidextrose apresentou interferência estatisticamente significativa na força de compressão dos pães de queijo, na faixa de valores estudada, sendo que as variáveis individualmente não mostraram influência sobre este parâmetro.

**Tabela 3.16** Análise de variância para a força de compressão de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

| <b>Fontes de<br/>variação</b> | <b>SQ</b>  | <b>GL</b> | <b>MQ</b> | <b>Fcal</b> | <b>p</b> |
|-------------------------------|------------|-----------|-----------|-------------|----------|
| <b>Regressão</b>              | 1722607,49 | 9         | 191400,83 | 1,84701     | 0,19991  |
| <b>Resíduo</b>                | 829017,81  | 8         | 103627,23 |             |          |
| <b>Total</b>                  | 2551625,31 | 17        |           |             |          |

**% variação explicada ( $R^2$ ) = 0,6751;  $F_{9;8; 0,05} = 3,39$**

A ANOVA da Tabela 3.16 mostrou que 67,51% da variação dos resultados de força de compressão foi explicada pela regressão e o modelo

codificado que descreve o comportamento da força de compressão não foi estatisticamente significativo a  $p \leq 0,05$ .

### 5.2.3 Cor

#### 5.2.3.1 Luminosidade da crosta ( $L^*$ )

Os valores médios da luminosidade de crosta ( $L^*$ ) obtidos nos ensaios dos planejamentos experimentais variaram de 70,40 a 77,18 para os pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (com escaldamento) e de 67,77 a 77,21 para os pães com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

Os valores mínimo e máximo para este parâmetro obtido para os pães de queijo com e sem adição de fécula de mandioca ocorreram nos ensaios 04 e 15 do planejamento experimental, os quais correspondem à formulação com a incorporação de 79,76% e 50,00% de polvilho azedo, 8,48% e 5,50% de isolado protéico de soja e 1,03% a 2,55% de povidexose, respectivamente.

Através destes resultados, não foi possível estabelecer um modelo matemático de 2ª ordem em função destas variáveis na faixa de valores estudadas, e, portanto, a escolha de qualquer dos teores adicionados aos pães de queijo com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada não conduzirá à diferença na luminosidade da crosta ( $L^*$ ) do produto final.

As Tabelas A.1 e A.2 (APÊNDICE 3) apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a luminosidade da crosta ( $L^*$ ) dos pães de queijo sem e com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, mostrando que nenhuma variável e interação destas apresentaram interferência estatisticamente significativa, dentro da faixa estudada. Este fato está em desacordo com o observado por Esteller et al. (2005) e Mitchell (1996) para pães tipo hambúrguer e massa folhada com diferentes teores de

polidextrose, o que foi atribuído à característica de açúcar redutor deste ingrediente, participando da reação de Maillard.

As Tabelas A.3 e A.4 (APÊNDICE 3) apresentam a análise de variância para a luminosidade da crosta ( $L^*$ ) dos pães de queijo sem e com a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

### 5.2.3.2 Saturação da crosta ( $C^*$ )

A análise de saturação da crosta ( $C^*$ ) dos pães de queijo com diferentes teores de polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada obtidos mediante ensaios experimentais variaram de 22,79 a 36,76, sendo que os pães adicionados de fécula de mandioca pré-gelatinizada reportaram os menores valores em comparação aos obtidos sem a sua adição.

Estes resultados devem-se ao fato que altos teores de polvilho azedo conferem uma cor cinza ao pão de queijo, lembrando o biscoito de polvilho.

Através dos resultados obtidos para a saturação da crosta, ( $C^*$ ) pode-se concluir que também não foi possível estabelecer um modelo de 2ª ordem em função destas variáveis, na faixa de valores estudada, o que permite a escolha de qualquer uma das concentrações avaliadas sem que ocorram diferenças significativas na saturação dos pães de queijo com e sem a etapa de escaldamento.

Nas Tabelas A.5 e A.6 (APÊNDICE 3), são apresentados os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a saturação da crosta ( $C^*$ ) dos pães de queijo. O produto obtido sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada apresentou uma redução da saturação da crosta ( $C^*$ ) com o aumento do teor de polvilho azedo. Enquanto que aumentando o teor de polidextrose e o isolado protéico de soja ocorreu um aumento na saturação devido aos pigmentos amarelos que o isolado protéico de soja possui, como observado por Esteller et al. (2005) em pães tipo hambúrguer.

As Tabelas A.7 e A.8 (APÊNDICE 3) apresentam a análise de variância para a saturação da crosta ( $C^*$ ) dos pães de queijo sem e com a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

### 5.2.3.3 Ângulo de tonalidade da crosta (h)

A análise dos valores médios do ângulo de tonalidade da crosta (h) obtidos através da análise da cor dos pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose (Tabelas 3.6 e 3.7) mostra que estes variaram entre  $73,78^\circ$  e  $80,91^\circ$  para os pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada e  $72,17^\circ$  a  $80,41^\circ$  para os pães com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

Os valores mínimos do ângulo de tonalidade da crosta (h) obtidos para os pães de queijo sem e com a adição de fécula de mandioca ocorreram nos ensaios que possuíam 79,76% de polvilho azedo e 1,03% de polidextrose e os máximos valores para os pães de queijo com 0,00% de polvilho azedo e altos teores de polidextrose, evidenciando que a presença de altos teores de polidextrose e baixos teores de polvilho azedo produzem pães de queijo com tonalidades altas (tende mais para o amarelo), os quais ficam no primeiro quadrante da representação do sistema  $L^*$ ,  $C^*$ , h do Hunter Lab.

Exatamente como aconteceu nos parâmetros de luminosidade ( $L^*$ ) e saturação ( $C^*$ ) da crosta dos pães de queijo, não foi possível estabelecer um modelo matemático de 2ª ordem que pudesse explicar o comportamento destas variáveis no ângulo de tonalidade da crosta (h) dos pães de queijo.

As Tabelas A.9 e A.10 (APÊNDICE 3) apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p e as Tabelas A.11 e A.12 (APÊNDICE 3) apresentam a análise de variância, ambas para o ângulo de tonalidade da crosta (h) dos pães de queijo sem e com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

#### 5.2.3.4 Luminosidade do miolo ( $L^*$ )

A luminosidade do miolo ( $L^*$ ) dos pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose obtidos nos ensaios experimentais apresentaram valores entre 59,54 e 68,44 para os pães de queijo onde não foi adicionada a fécula de mandioca pré-gelatinizada e de 53,35 a 63,52 para os pães com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

Os valores mínimo e máximo de luminosidade do miolo ( $L^*$ ) obtidos para os pães de queijo sem e com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada ocorreram nas formulações com (20,24% e 79,76%) e (0,00% e 100,00%) de polvilho azedo, 2,21% e 5,50% de isolado protéico de soja e 1,03% a 2,55% de polidextrose.

A faixa dos valores estudada, tanto para o polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose, também não permitiu a obtenção de um modelo matemático para a luminosidade do miolo ( $L^*$ ) dos pães de queijo, com e sem a etapa de escaldamento.

As Tabelas A.13 e A.14 (APÊNDICE 3) apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a luminosidade do miolo ( $L^*$ ) dos pães de queijo. Para os pães de queijo onde não foi adicionada a fécula de mandioca pré-gelatinizada, ao aumentar o teor de polvilho azedo diminuiu a luminosidade do miolo ( $L^*$ ), e ao aumentar o teor de isolado protéico de soja e polidextrose aumentou a luminosidade do miolo ( $L^*$ ) como observado por Esteller et al. (2005) para pães tipo hambúrguer.

As Tabelas A.15 e A.16 (APÊNDICE 3) apresentam a análise de variância, ambas para a luminosidade do miolo ( $L^*$ ) dos pães de queijo sem e com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

### 5.2.3.5 Saturação do miolo (C\*)

A análise dos valores médios da saturação do miolo (C\*) obtidos através da análise da cor dos pães de queijo com isolado proteico de soja e polidextrose (Tabelas 3.6 e 3.7) variaram entre 26,32 e 30,64 para os pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada e de 20,61 a 28,32 para os pães com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que, para a faixa de valores estudados, não foi possível estabelecer um modelo de 2ª ordem em função destas variáveis para os pães de queijo sem e com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

As Tabelas A.17 e A.18 (APÊNDICE 3) apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a saturação do miolo (C\*) dos pães de queijo, as quais mostram que para os pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, ao aumentar-se o teor de polvilho azedo e o isolado protéico de soja, aumentou a saturação do miolo (C\*), enquanto que ao aumentar o teor de polidextrose, diminuiu-se a saturação do miolo (C\*).

As Tabelas A.19 e A.20 (APÊNDICE 3) apresentam a análise de variância, ambas para a saturação do miolo (C\*) dos pães de queijo sem e com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

### 5.2.3.6 Ângulo de tonalidade do miolo (h)

A análise dos valores médios do ângulo de tonalidade do miolo (h) obtidos através da análise da cor dos pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose (Tabelas 3.6 e 3.7) mostrou que estes variaram de 83,52° a 86,92° para os pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada e de 84,04° a 88,61° para os pães com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

Os valores mínimo e máximo do ângulo de tonalidade do miolo (h) obtidos para os pães de queijo sem adição de fécula de mandioca ocorreram nos ensaios 04 e 06 do planejamento experimental, os quais correspondem a 79,76% de polvilho azedo, 8,48% e 2,21% de isolado protéico de soja e 1,03% e 4,05% de polidextrose. Enquanto para os pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, os valores mínimo e máximo ocorreram nos ensaios 17 e 10, os quais correspondem à formulações com 50,00% e 100,00% de polvilho azedo, 5,50% de isolado protéico de soja e 2,55% de polidextrose.

Através dos resultados do ângulo de tonalidade do miolo (h) para os pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada foi possível estabelecer um modelo de 2ª ordem em função destas variáveis, enquanto que para os pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, isso não foi possível. As Tabelas A.21 e A.22 (APÊNDICE 3) apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p e a análise de variância.

A Tabela 3.17 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para o ângulo de tonalidade do miolo (h) dos pães de queijo.

**Tabela 3.17 Análise dos coeficientes de regressão para o ângulo da tonalidade do miolo (h) dos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

|                           | <b>Coefficientes<br/>Regressão</b> | <b>Erro<br/>puro</b> | <b>t(3)</b> | <b>p - valor</b> |
|---------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------|------------------|
| <b>Média*</b>             | 85,33785                           | 0,27103              | 314,86619   | 0,00000          |
| <b>P_AZEDO (L)</b>        | -0,37017                           | 0,14690              | -2,51997    | 0,08618          |
| <b>P_AZEDO (Q)</b>        | -0,06956                           | 0,15263              | -0,45574    | 0,67954          |
| <b>ISOLADO (L)*</b>       | -0,73552                           | 0,14690              | -5,00712    | 0,01533          |
| <b>ISOLADO (Q)</b>        | -0,18093                           | 0,15263              | -1,18539    | 0,32120          |
| <b>POLIDEXT(L)</b>        | 0,33876                            | 0,14690              | 2,30611     | 0,10440          |
| <b>POLIDEXT(Q)</b>        | -0,04835                           | 0,15263              | -0,31676    | 0,77219          |
| <b>P_AZEDO x ISOLADO</b>  | -0,22500                           | 0,19193              | -1,17231    | 0,32569          |
| <b>P_AZEDO x POLIDEXT</b> | 0,30750                            | 0,19193              | 1,60216     | 0,20744          |
| <b>ISOLADO x POLIDEXT</b> | -0,29500                           | 0,19193              | -1,53703    | 0,22188          |

\*Fator estatisticamente significativo a 95% de confiança (p≤0,05).

Analisando os coeficientes de regressão da Tabela 3.17, observa-se que a variável que teve interferência estatisticamente significativa no ângulo de tonalidade do miolo (h) dos pães de queijo, dentro da faixa estudada, foi o isolado protéico de soja linear. Observou-se que ao aumentar o isolado protéico de soja de 0,00% a 10,54% o ângulo de tonalidade do miolo (h) dos pães de queijo foi reduzido.

**Tabela 3.18 Análise de variância para o ângulo de tonalidade do miolo (h) de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| Fontes de variação | SQ       | GL | MQ      | Fcal    | p              |
|--------------------|----------|----|---------|---------|----------------|
| Regressão          | 13,11220 | 9  | 1,45692 | 3,98993 | <b>0,03209</b> |
| Resíduo            | 2,92118  | 8  | 0,36510 |         |                |
| Total              | 16,03338 | 17 |         |         |                |

**% variação explicada ( $R^2$ ) = 0,8178;  $F_{9;8; 0,05} = 3,39$ .**

A ANOVA da Tabela 3.18 correspondente ao modelo do ângulo de tonalidade do miolo (h) dos pães de queijo mostrou que 81,78% da variação dos resultados foi explicada pela regressão e no teste de F, o valor calculado foi 1,17 vezes maior que o valor tabelado, a 95% de significância.

Em vista dos resultados satisfatórios da análise de variância para os pães de queijo, pode-se obter o modelo codificado que descreve o comportamento do ângulo de tonalidade do miolo (h) dos pães de queijo, expresso na equação 3.6.

O modelo ajustado apresenta uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado na Figura 3.18 que permite a visualização dos desvios ocorridos, sendo que o maior deles foi de 0,83% no ensaio 9. Assim, foi possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno do ângulo de tonalidade do miolo (h) dos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, apresentada nas Figuras 3.19 a 3.24.

$$\hat{\text{Ângulo de tonalidade do miolo}} = 85.3378 - 0.3701X_1 - 0.0695X_1^2 - 0.7355X_2 - 0.1809X_2^2 + 0.3387X_3 - 0.0481X_3^2 + 0.2250X_1X_2 + 0.3075X_1X_3 - 0.2950X_2X_3 \quad \text{equação 3.6}$$

Onde:

$X_1$  = polvilho azedo;

$X_2$  = isolado protéico de soja;

$X_3$  = polidextrose

Tabela 3.19 Valores e desvios absolutos e relativos do ângulo de tonalidade do miolo (h) de pães de queijo.

| ENSAIOS | POLVILHO AZEDO | ISOLADO SOJA | POLIDEXT | h miolo experimental | h miolo previsto | Desvios absolutos | Desvios relativos |
|---------|----------------|--------------|----------|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1       | -1             | -1           | -1       | 85,18                | 85,59            | -0,4134           | -0,4854           |
| 2       | 1              | -1           | -1       | 84,43                | 84,69            | -0,2581           | -0,3057           |
| 3       | -1             | 1            | -1       | 84,56                | 85,16            | -0,6024           | -0,7124           |
| 4       | 1              | 1            | -1       | 83,52                | 83,36            | 0,1629            | 0,1951            |
| 5       | -1             | -1           | 1        | 85,83                | 86,25            | -0,4160           | -0,4846           |
| 6       | 1              | -1           | 1        | 86,92                | 86,57            | 0,3494            | 0,4020            |
| 7       | -1             | 1            | 1        | 84,64                | 84,63            | 0,0051            | 0,0060            |
| 8       | 1              | 1            | 1        | 84,22                | 84,06            | 0,1604            | 0,1905            |
| 9       | -1,682         | 0            | 0        | 86,49                | 85,76            | 0,7264            | 0,8398            |
| 10      | 1,682          | 0            | 0        | 84,15                | 84,52            | -0,3685           | -0,4380           |
| 11      | 0              | -1,682       | 0        | 86,38                | 86,06            | 0,3169            | 0,3669            |
| 12      | 0              | 1,682        | 0        | 83,63                | 83,59            | 0,0409            | 0,0489            |
| 13      | 0              | 0            | -1,682   | 85,17                | 84,63            | 0,5386            | 0,6324            |
| 14      | 0              | 0            | 1,682    | 85,59                | 85,77            | -0,1808           | -0,2113           |
| 15      | 0              | 0            | 0        | 85,21                | 85,34            | -0,1278           | -0,1500           |
| 16      | 0              | 0            | 0        | 84,61                | 85,34            | -0,7278           | -0,8602           |
| 17      | 0              | 0            | 0        | 85,72                | 85,34            | 0,3822            | 0,4458            |
| 18      | 0              | 0            | 0        | 85,76                | 85,34            | 0,4222            | 0,4922            |

Valores dos desvios relativos encontram-se em (%).

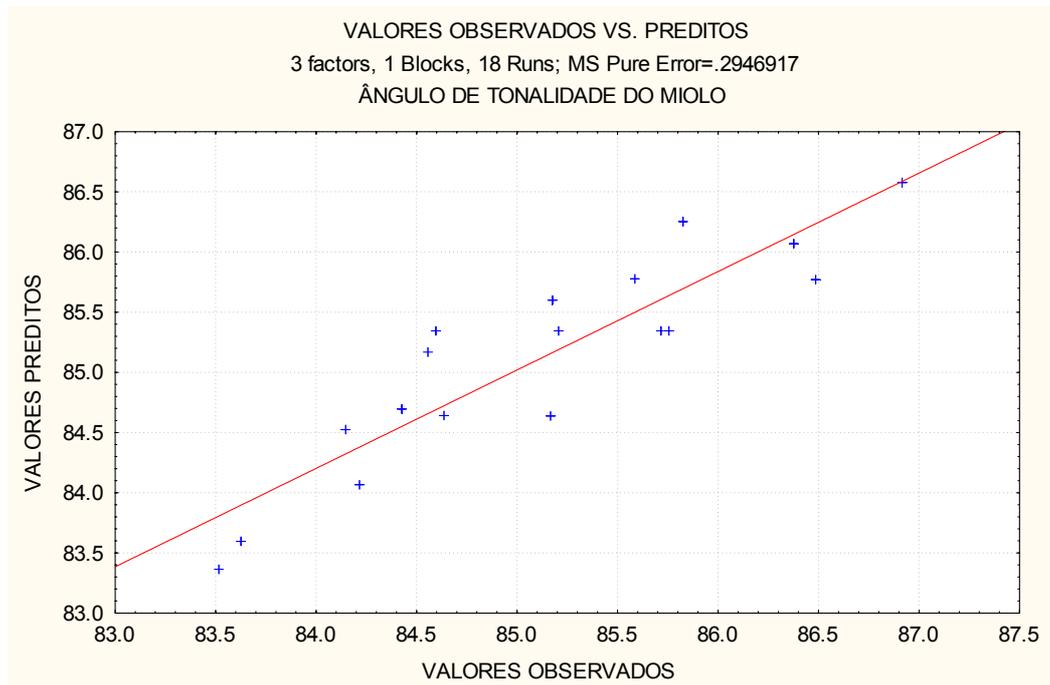


Figura 3.18 Valores observados versus valores previstos para o ângulo de tonalidade do miolo (h) de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

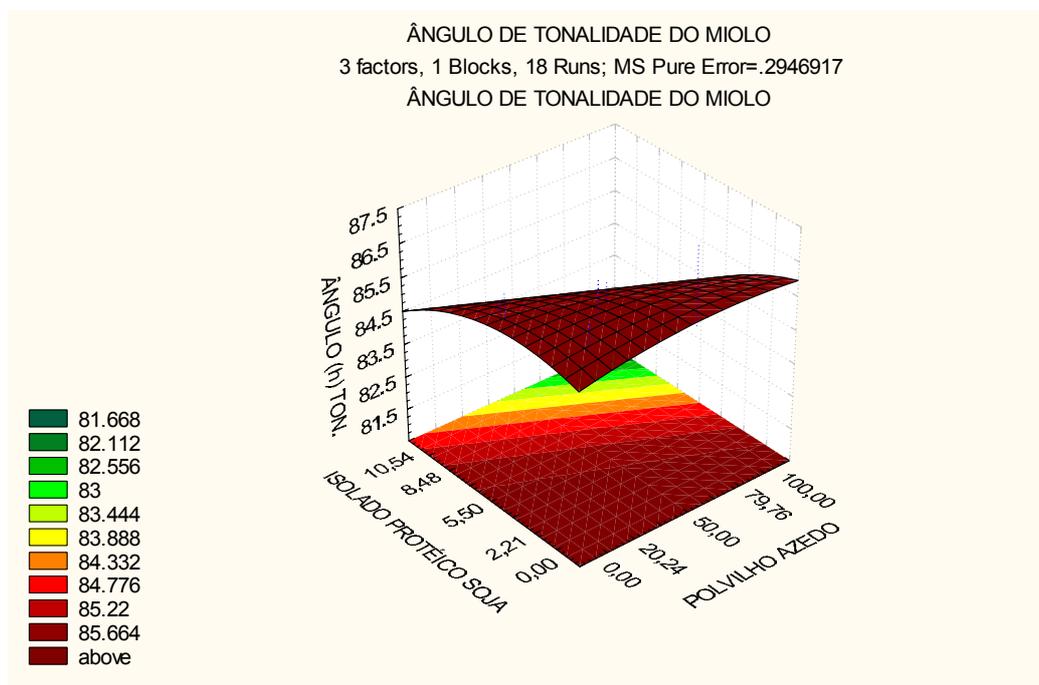


Figura 3.19 Superfície de resposta para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: isolado proteico de soja x polvilho azedo.

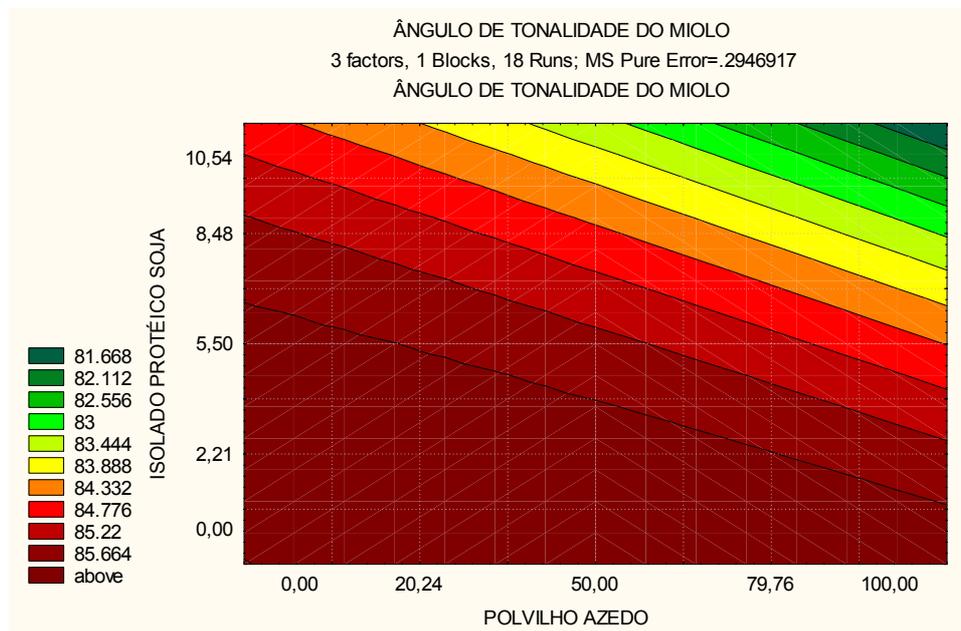


Figura 3.20 Curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: isolado protéico de soja x polvilho azedo.

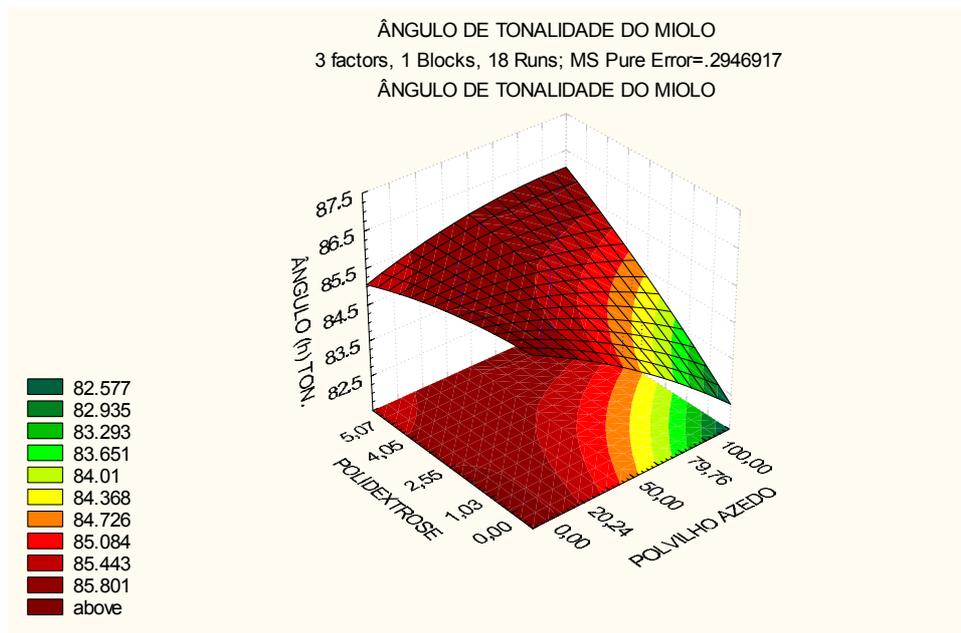
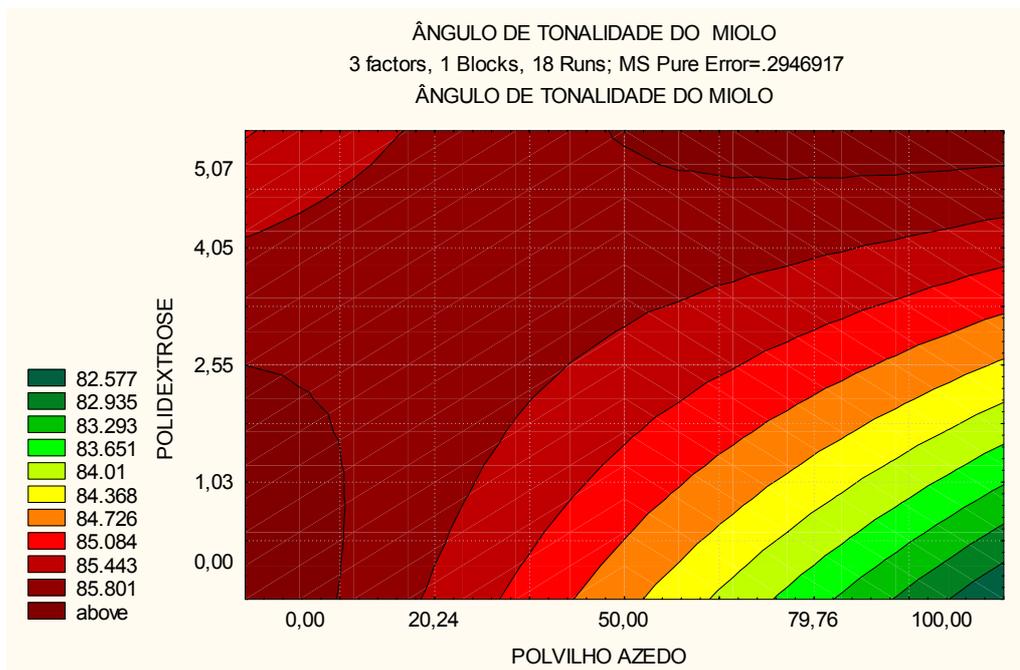
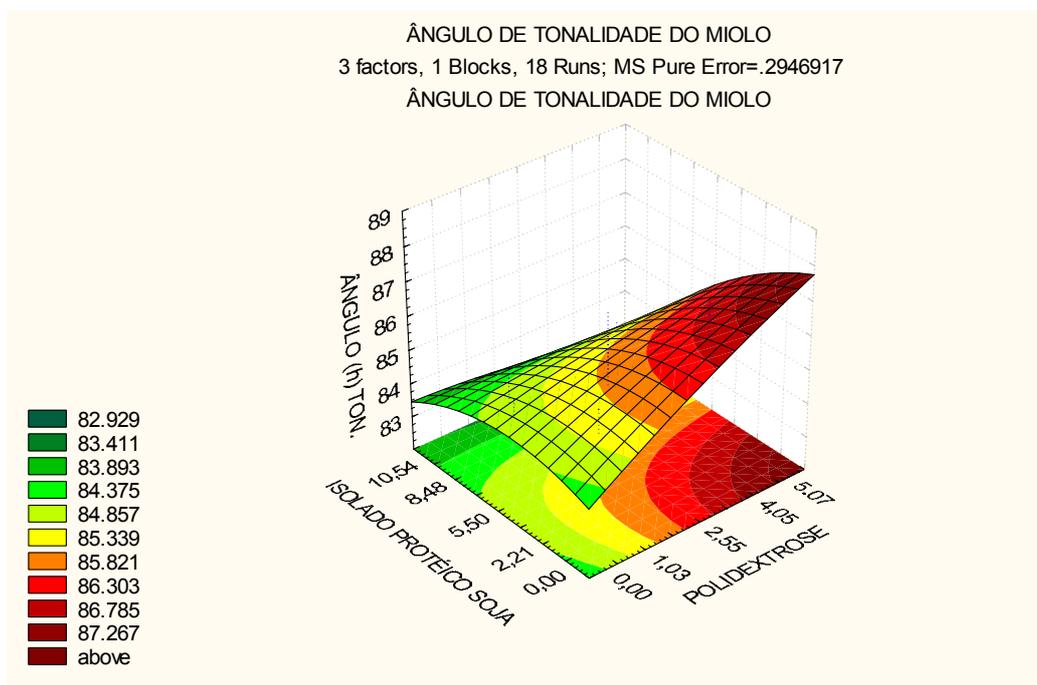


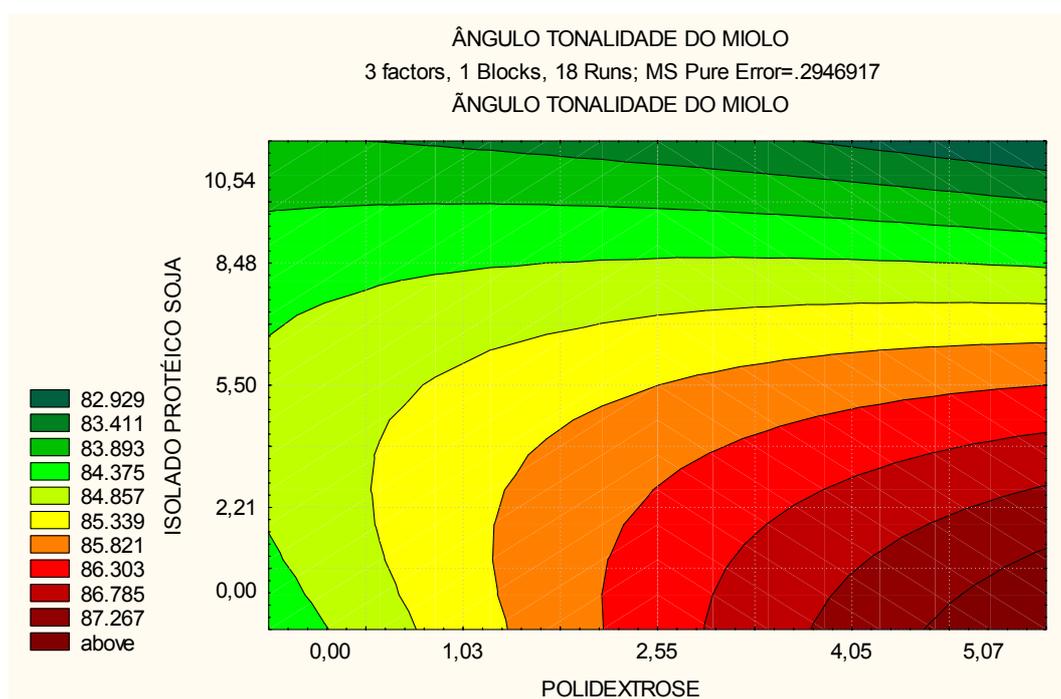
Figura 3.21 Superfície de resposta para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: povidone x polvilho azedo.



**Figura 3.22** Curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: polidextrose x polvilho azedo.



**Figura 3.23** Superfície de resposta para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada: isolado protéico de soja x polidextrose.



**Figura 3.24** Curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo (h) referente aos pães de queijo sem fécula de mandioca pré-gelatinizada de mandioca: isolado protéico de soja x polidextrose.

As superfícies de resposta e curvas de contorno mostram que com a utilização dos extremos mínimos e máximos de polvilho azedo (0,00% e 100,00%) com teores de 0,00% a 9,00% de isolado protéico de soja e teor médio de polidextrose (2,21%) na formulação de pão de queijo, obteve-se ângulos de tonalidade do miolo (h) bastante altos (amarelos), e estando de acordo com o reportado por Esteller et al. (2005) para pães tipo hambúrguer com adição de polidextrose.

Quando o teor de polidextrose é aumentado acima dos 2,21%, reportado anteriormente, também é possível obter ângulos de tonalidade de miolo (h) altos, sendo que o teor de polvilho azedo deve ser entre 0,00% e 30,00% aproximadamente, e o teor de isolado protéico de soja de 2,21 a 5,50%.

Ângulos de tonalidade do miolo (h) altos evidenciam a presença de ingredientes que os tornam mais amarelos, sendo isto ideal neste tipo de produto, cujas tonalidades baixas provocam rejeição por parte dos consumidores

porque os faz lembrar as características apresentadas pelos biscoitos de polvilho.

O interessante destes resultados é que a utilização de altos teores de fibra solúvel no pão de queijo não alterou sua tonalidade final, o que conduz à possibilidade de produzir pães de queijo mais saudáveis, sem modificar a qualidade quando comparado aos encontrados no mercado sem adição de nenhum ingredientes funcional.

### 5.3 Análise sensorial dos pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose

#### 5.3.1 Escolha da formulação dos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada

Os resultados obtidos na análise afetiva de aceitação para pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada são apresentados na Tabela 3.20.

**Tabela 3.20 Resultados sensoriais para pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| Formulação de pão de queijo (%) |        |      | Aparência geral   | Volume            | Cor de miolo      | Textura           | Sabor             |
|---------------------------------|--------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| PA                              | FM     | PDEX |                   |                   |                   |                   |                   |
| 0,00                            | 100,00 | 6,04 | 6,24 <sup>a</sup> | 6,12 <sup>a</sup> | 6,53 <sup>a</sup> | 6,15 <sup>a</sup> | 6,35 <sup>a</sup> |
| 100,00                          | 0,00   | 1,03 | 5,94 <sup>a</sup> | 5,74 <sup>a</sup> | 6,45 <sup>a</sup> | 5,61 <sup>a</sup> | 6,10 <sup>a</sup> |
| 79,76                           | 20,24  | 1,03 | 6,19 <sup>a</sup> | 5,90 <sup>a</sup> | 6,45 <sup>a</sup> | 6,00 <sup>a</sup> | 6,35 <sup>a</sup> |

PA: polvilho azedo; FM: fécula de mandioca; PDEX: polidextrose. Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). O teor de isolado protéico de soja foi 5,50% para as três formulações de pão de queijo.

Apesar dos pães de queijo não apresentarem diferença significativa a  $p \leq 0,05$ , pelo teste de Tukey, os escores sensoriais mostraram que a escolha de

qualquer uma das três formulações teria uma alta aceitação por parte dos consumidores potenciais do produto, sendo que os escores oscilaram entre 5,60 e 6,53, de um máximo de 7 para todos os atributos avaliados.

### **5.3.1.1 Aceitação da aparência geral**

A aparência geral dos pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada mostrou que os provadores têm uma leve preferência pelos pães elaborados unicamente com fécula de mandioca, teor médio de isolado protéico de soja e alto teor de polidextrose em relação aos pães elaborados com 100% de polvilho azedo, teor médio de isolado protéico de soja e baixo teor de polidextrose, como observado pelos scores sensoriais obtidos.

Estes resultados confirmam o observado no Capítulo 1 em pães de queijo elaborados sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, onde os pães elaborados com fécula de mandioca apresentaram maior aceitação em relação a estes atributos, comparados aos pães elaborados com polvilho azedo.

### **5.3.1.2 Aceitação do volume**

O volume dos pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca, teor médio de isolado protéico de soja e altos teores de polidextrose melhorou a aceitação por parte dos provadores em relação aos pães de queijo elaborados com polvilho azedo.

Estes resultados confirmam o fato que adicionar polidextrose aos pães de queijo elaborados com fécula de mandioca melhora seu volume, aumentando-o em relação às outras formulações, o qual também foi observado por Esteller (2004) em pães tipo hambúrguer com altos teores de polidextrose.

### **5.3.1.3 Aceitação da cor do miolo**

Os diferentes pães de queijo apresentaram a cor do miolo com alta aceitação e extremamente parecida, valores entre 6,45 e 6,53, tornando este parâmetro difícil de ser utilizado para avaliar a aceitação do produto por parte dos provadores, já que ele foi citado como extremamente parecido ao miolo dos pães de queijo do mercado comercial por parte dos provadores.

### **5.3.1.4 Aceitação da textura**

A textura apresentada pelos pães de queijo mostrou que a adição tanto de polidextrose como de isolado protéico de soja melhorou a maciez, tornando-os mais leves, como observado pelos provadores, os quais preferiram os pães de queijo elaborados com fécula de mandioca em relação aos elaborados com alto teor de polvilho azedo, devido à leve crocância da casca .

Estes resultados confirmaram os observados na análise instrumental de textura, onde a incorporação destes ingredientes funcionais melhorou a maciez dos pães, tornando-os mais leves, que conduziu a escore sensorial superior em relação ao obtido no Capítulo 1 para pães de queijo com altos teores de fécula de mandioca (5,93).

### **5.3.1.5 Aceitação do sabor**

O sabor dos pães de queijo elaborados com teores médios de polvilho azedo e diferentes conteúdos de fécula de mandioca atingiu valores de aceitação superiores aos pães de queijo com altos teores de polvilho azedo, como observado também no Capítulo 1 para pães de queijo com teores próximos a estes.

Os provadores reportaram que os pães de queijo elaborados com altos teores de polidextrose e sem polvilho azedo apresentaram uma casca mais

crocante e um sabor mais acentuado a queijo em relação aos pães de queijo elaborados com polvilho azedo, pois o sabor que o polvilho azedo fornece ao pão de queijo não é desejado pela maioria dos provadores. Em alguns casos, os provadores relataram que foi a presença desse sabor que os levou a reportar uma alta aceitação do sabor do pão de queijo.

### 5.3.2 Escolha da formulação com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada

Os resultados obtidos para pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinização na análise afetiva de aceitação são apresentados na Tabela 3.21.

**Tabela 3.21 Resultados sensoriais para pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| Formulação de pão de queijo (%) |        |      | Aparência geral   | Volume            | Cor de miolo      | Textura           | Sabor             |
|---------------------------------|--------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| PA                              | FM     | PDEX |                   |                   |                   |                   |                   |
| 0,00                            | 100,00 | 6,04 | 6,09 <sup>a</sup> | 5,82 <sup>a</sup> | 6,24 <sup>a</sup> | 5,97 <sup>a</sup> | 6,25 <sup>a</sup> |
| 100,00                          | 0,00   | 1,03 | 6,48 <sup>a</sup> | 6,13 <sup>a</sup> | 6,48 <sup>a</sup> | 5,83 <sup>a</sup> | 6,26 <sup>a</sup> |
| 79,76                           | 20,24  | 1,03 | 6,03 <sup>a</sup> | 6,19 <sup>a</sup> | 6,19 <sup>a</sup> | 5,56 <sup>a</sup> | 6,06 <sup>a</sup> |

PA: polvilho azedo; FM: fécula de mandioca; PDEX: polidextrose. Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). O teor de isolado protéico de soja foi 5,50% para as três formulações de pão de queijo.

Apesar dos pães de queijo não apresentarem diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey, os escores sensoriais mostraram que a escolha de qualquer uma das formulações de pão de queijo com altos teores de polvilho azedo teria uma alta aceitação por parte dos consumidores potenciais do produto em relação aos elaborados sem a presença deste ingrediente.

### **5.3.2.1 Aceitação da aparência geral**

A aparência geral dos pães de queijo mostrou que os provadores apresentaram uma leve preferência pelos pães elaborados unicamente com polvilho azedo, teor médio de isolado protéico de soja e baixo teor de polidextrose, em relação aos pães elaborados unicamente com fécula de mandioca, teor médio de isolado protéico de soja e alto teor de polidextrose, sendo, portanto, contrário ao observado para os pães de queijo elaborados sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (com escaldamento).

Estes resultados mostraram que a incorporação de fécula de mandioca pré-gelatinizada mantém a aceitação dos pães de queijo em relação aos pães de queijo sem sua adição, com a diferença da preferência reportada anteriormente, mas mantendo as características de qualidade sensorial do pão de queijo tradicional com escaldamento.

### **5.3.2.2 Aceitação do volume**

O volume dos pães de queijo elaborados com 100% fécula de mandioca, teor médio de isolado protéico de soja e alto teor de polidextrose apresentou um escore relativamente baixo (5,82) em relação aos valores encontrados para os outros pães de queijo, sendo reportado pelos provadores na ficha sensorial como um produto compacto.

Os pães de queijo elaborados com altos teores de polvilho azedo apresentaram uma melhor aceitação por parte dos provadores, o que pode ser observado também na análise das propriedades físicas avaliadas, evidenciado o poder de expansão que o polvilho azedo confere ao pão de queijo após seu forneamento como observado por Maeda e Cereda (2001) e Machado (2003) para biscoitos de polvilho e também para pães de queijo.

### **5.3.2.3 Aceitação da cor do miolo**

Os pães de queijo elaborados a partir das diferentes formulações apresentaram boa aceitação em relação à cor do miolo, sendo que devido à proximidade dos valores médios obtidos nas três formulações, tornou-se muito difícil para consumidores utilizar este parâmetro para avaliar a aceitação do pão de queijo com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, já que eles reportaram que a cor do miolo ficou muito parecida com a cor do miolo dos pães de queijo encontrados no mercado nacional.

### **5.3.2.4 Aceitação da textura**

O escore de textura obtido para os pães de queijo mostrou que altos teores de polvilho azedo conduzem a valores levemente menores aos obtidos para os pães de queijo elaborados com fécula de mandioca, considerados de alta aceitação devido aos escores obtidos oscilaram entre 5,56 e 5,97.

A incorporação de fécula de mandioca pré-gelatinizada diminuiu a aceitação da textura em relação aos pães de queijo elaborados sem a sua adição, os quais apresentaram médias próximas de 6,00, mas ainda podem ser considerados como produtos de alta aceitação.

### **5.3.2.5 Aceitação do sabor**

Os pães de queijo com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada apresentaram avaliação de sabor muito próxima, evidenciando o fato que a sua incorporação não altera a qualidade sensorial final dos pães de queijo.

O produto elaborado com polvilho azedo foi reportado pelos provadores como de sabor acentuado a queijo, tornando-o muito parecido aos encontrados

no mercado nacional, mas cabe ressaltar que todos os pães de queijo foram elaborados com o mesmo teor de queijo meia cura.

## CONCLUSÕES

Os pães de queijo com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada que apresentaram os maiores volumes foram os produzidos com teores mínimo e máximo de polvilho azedo, teores médios de isolado protéico de soja e teores mínimo e máximo de polidextrose, sendo que os que foram elaborados com teores máximos de polvilho azedo e mínimos de polidextrose produziram pães de queijo com maiores volumes.

De modo geral, constatou-se que a adição de diferentes teores de polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose interferiram nos parâmetros de cor da crosta e do miolo ( $L^*$ ,  $C^*$  e  $h$ ) dos pães de queijo com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, mas somente os pães de queijo elaborados sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada apresentaram um modelo codificado estatisticamente significativo que descreveu o comportamento do ângulo de tonalidade do miolo ( $h$ ).

Os resultados obtidos permitiram concluir que a adição de isolado protéico de soja e polidextrose melhorou a textura dos pães de queijo elaborados com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, tornando-os mais macios e leves, diminuindo assim a força de compressão, sendo que os elaborados com altos teores de polvilho azedo, teores médios de isolado protéico de soja e baixos teores de polidextrose produziram pães de queijo mais leves.

A utilização de fécula de mandioca pré-gelatinizada na elaboração de pães de queijo sem escaldamento apresentou escores sensoriais de aparência geral, textura, cor do miolo, aroma e sabor muito parecidos aos produtos sem este ingrediente e preparados com escaldamento. Portanto, a sua utilização seria adequada, pois reduz o tempo de preparação dos pães de queijo sem interferir na qualidade final do produto, como observado na análise afetiva de aceitação de pães de queijo pelos provadores potenciais do produto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**. 9. ed. Saint Paul: AACC, 1995.

BURDOCK, G.A.; FLAMM, W.G. **A review of the studies of the safety of polydextrose in food**. Food and Chemical Toxicology, v.37, p. 233-264. 1999.

CÁRDENAS, O.S; BUCKLE, T.S. **Sour cassa starch production: a preliminary study**. Journal of Food Science, v.45, n.6, p.1509-1512 e 1528. 1980.

ESTELLER, M.S.; DE LIMA, A.C.O.; LANNES, S.C. da S. **Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers**. Lebensm.-Wiss U. Technology, no prelo. 2005.

ESTELLER, M.S. **Fabricação de pães com reduzido teor de calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade de São Paulo, USP, 2004.

FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais de amido**, v.1, Fundação Cargill. 224p. 2001.

GRISWOLD, R.M. **Estudo experimental dos alimentos**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1972. 469p.

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

JESUS, C.C. de. **Contribuição para a caracterização físico-química e sensorial do pão de queijo**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Faculdade de Farmácia, Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte 1997.

LIU, K. **Soybeans – chemistry, technology and utilization**. Chapman & Hall, New York, USA, 1997.

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

MACHADO, A.V. **Efeito do escaldamento nas propriedades tecnológicas da massa e do pão de queijo**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, 2003.

MARTINS, V.B.; NETTO, F.M. **Physicochemical and functional properties of soy protein isolate as a function of water activity and storage**. Food Research International, v.39, p. 145-153. 2006.

MINOLTA. **Precise color communication: color control from feeling to instrumentation**. MINOLTA Co. Ltd., 1994, 49p.

MITCHEL, H.L.; **The role of the bulking agent polydextrose in fat replacement**. p. 235-238, 1996. In. ROLLER, S.; JONES, S.A. **Handbook of fat replacers**. Boca Ratón: CRC. 1996. 325p.

MOHAMED, A.A.; RAYAS-DUARTE, P.; SHOGREN, R.L.; SESSA, D.J. **Low carbohydrates bread: Formulation, processing and sensory quality**. Food Chemistry, no prelo. 2006.

PEREIRA, J. **Caracterização química, física, estrutural e sensorial do pão de queijo**. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, 2001.

PEREIRA, A.J.G. **Fatores que afetam a qualidade do pão de queijo**. Belo Horizonte: CETEC, 1998. 52p.

RIBEIRO, C.; ZIMMER, J.E.; YILDIZ, E.; KOKINI, J.L. **Estimation of effective diffusivities and glass transition temperature of polydextrose as a function of moisture content**. Carbohydrate polymers v.51, p. 273-280. 2003.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos; uma estratégia sequencial de planejamentos**. 1ª.ed. Campinas, 324p. 2005.

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

SMITH, A.K.; CIRCLE, S.J. **Soybeans: chemistry and technology. Volume 1 proteins**. Westport Connecticut, U.S.A., 1972.

SINGH, M.; MOHAMED, A. **Influence of gluten-soy protein blends on the quality of reduced carbohydrates cookies**. Food Science and Technology, no prelo. 2005.

SOLINA, M.; BAUMGARTNER, P.; JOHNSON, R.L.; WHITFIELD, F.B. **Volatile aroma components of soy protein isolate and acid-hydrolysed protein**. Food Chemistry v.90, p. 861-873. 2005.

STATISTICA for Windows – Release 5.0. **StatSoft, Inc.** Tulsa, OK, EUA. 1995

STRUMM, I.; BALTES, W. **Analysis of the linkage positions in polydextrose by the reductive cleavage method.** Food Chemistry, v.59, n.2 p.291-297. 1997.

TAKEITI, C.Y. **Influência do tratamento térmico nas propriedades funcionais de isolados protéicos de soja e de sus hidrolisados enzimáticos.** Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição)-Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ZAMBRANO, F.; CAMARGO, C.R.O.; TAVARES, D. **Amido de mandioca modificado comparado com substitutos de gordura comerciais.** Brazilian Journal of Food Technology, v.4, p.155-161. 2001.

ZOBEL, H.F. **X-ray analysis of starch granules.** In Whistler, R.L. Methods in Carbohydrate Chemistry: Starch; v. IV. NY e London; Academic Press; 1964, p. 109-143.

ZHONG, J; LUO, B-y.; XIANG, M-j.; LIU, H-w.; ZHAI, Z-k.; WANG, Ts.; STUART, A.C. **Estudo sobre os efeitos da ingestão de polidextrose sobre as funções fisiológicas em chineses.** American Journal Clinical Nutrition, v.72, p. 1503-1509. 2000.

### **Capítulo 3**

---

***Caracterização física, química, reológica e sensorial de pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.***



## RESUMO

No Brasil, o pão de queijo é considerado um alimento de alto consumo, altamente calórico e nutritivo, mas com nenhum apelo funcional. Devido a estes fatores, o desenvolvimento de pães de queijo a partir de formulações sucedidas e de aceitação no mercado, pode ajudar, em associação com outros alimentos funcionais, a suprir as necessidades básicas para se atingir os efeitos benéficos à saúde.

O objetivo deste estudo foi caracterizar duas formulações de pães de queijo assados em relação às suas propriedades físicas da massa crua (densidade aparente), propriedades físicas do pão de queijo assado (volume específico, força de compressão, coeficiente de expansão, cor da crosta e do miolo), físico-químicas (umidade, lipídios, proteína, resíduo mineral fixo e carboidratos), reológicas (consistência da massa) e sensoriais (análise de preferência por comparação pareada). As formulações avaliadas foram escolhidas a partir dos maiores escores sensoriais para cada atributo avaliado, obtidos no Capítulo 2. Portanto, foram analisadas: (i) formulação com escaldamento (FCE): 100% de fécula de mandioca, 5,50% de isolado protéico de soja e 6,04% de polidextrose; (ii) formulação sem escaldamento (FSE), 100% de polvilho azedo, 5,50 % de isolado protéico de soja e 1,03 % de polidextrose (está formulação de pão de queijo adicionou-se 7,00% de fécula de mandioca pré-gelatinizada à massa).

O estudo da consistência das massas de pão de queijo através da análise no farinógrafo Brabender mostrou que as amostras elaboradas a partir da FCE apresentaram consistências para a etapa de mistura até 31,40% superior às consistências obtidas para massas de pão de queijo elaboradas com a FSE.

O pão de queijo FCE apresentou volume específico e coeficiente de expansão, respectivamente, 1,84% e 50,0% menores aos obtidos pela formulação de pão de queijo FSE, o que também foi comprovado através da análise de força de compressão dos pães, onde a formulação FCE apresentou uma maior dureza, 14,40% superior à obtida pela formulação FSE.

A composição centesimal determinada para as formulações de pão de queijo FCE e FSE apresentou conteúdo de lipídios de 31% e 28%, proteína ao redor de 8%, resíduo mineral fixo de 1% e 3% e carboidratos totais (em base seca) de 58 e 60%, respectivamente.

A análise sensorial de preferência, por comparação pareada, dos pães de queijo FCE e FSE mostrou que o consumidor apresentou a mesma aceitação para as duas formulações, já que, dos trinta provadores, 50% preferiram os pães de queijo FCE, e os outros 50% preferiram os pães de queijo FSE. Estes resultados mostraram que embora os produtos possuam diferenças nas suas propriedades reológicas e físico-química, sensorialmente eles são igualmente aceitos.

Frente aos resultados obtidos, concluiu-se que a elaboração de pães de queijo com 100% de polvilho azedo ou de fécula de mandioca, isolado protéico de soja e polidextrose, com ou sem escaldamento, na faixa de valores avaliada, não altera a aceitação final do produto, sendo importante para o desenvolvimento de pães com alto conteúdo nutricional e funcional que beneficie a saúde dos consumidores.

**Palavras-chave: Composição centesimal, Pão de queijo, Reologia, Análise sensorial.**

## **ABSTRACT**

In Brazil, “pao de queijo” (cheese bread) is considered a highly consumed food, highly caloric and nutritious but with no functional appeal. Due to these factors, the development of cheese breads from successful formulations, well accepted in the market, can help, in association with other functional foods, to respond to the basic needs in the attainment of effects beneficial to health.

The objective of this study was to characterize two formulations of baked cheese breads regarding physical properties of the dough (apparent density), physical properties of cheese breads (specific volume, compression force, coefficient of expansion, color of crust and crumb), physico-chemical (moisture, lipids, protein, fixed mineral residue and carbohydrates), rheological (consistency of dough) and sensorial (analysis of preference by paired comparison) properties. The formulations evaluated were chosen from the highest sensorial scores for each attribute evaluated, obtained in Chapter 2.

Therefore, the following formulations: (i) formulation using the scalding process (FCE): 100% cassava starch, 5.50% soy protein isolate and 6.04% polydextrose; (ii) formulation without scalding process (FSE), with addition 7.00% pre-gelatinized cassava starch, 100% sour cassava starch, 5.50% soy protein isolate and 1.03% polydextrose.

The study of cheese bread dough consistency, through analysis in the Brabender farinograph, showed that the samples elaborated from FCE (formulation with the scalding process) presented consistencies for the mixing phase, 31.40% superior to the consistencies, obtained for cheese bread doughs elaborated from FSE (formulation without the scalding process).

The FCE cheese bread presented specific volume and coefficient of expansion, respectively, 1.84% and 50.0% lower than those obtained with the FSE formulation of cheese breads which was also confirmed through the analysis of compression force of breads, where the FCE formulation presented a force 14.40% superior to the force obtained by the FSE formulation.

The proximal composition determined for the FCE and FSE formulations presented a content of lipids of 31% and 28%, protein around 8%, fixed mineral residue between 1% and 3% and total carbohydrates (dry basis) from 58 to 60%, respectively.

The sensory analysis for preference, by paired comparison, of the FCE and FSE cheese breads showed that the consumer showed the same acceptance of both of the 30 panelists, 50% preferred the FCE cheese breads and the other 50% preferred the FSE cheese breads. These results showed that, despite the fact that the products have different physicochemical and rheological properties, they are equally accepted sensorially.

Considering the results obtained, the conclusion is that the elaboration of cheese breads with 100% sour cassava starch or cassava starch, soy protein isolate and polydextrose, with or without the scalding process in the range of values evaluated, does not alter the final acceptance of the product, being this important factor for the development of cheese breads with high nutritional and functional content which benefits the health of the consumers.

**Keywords: Proximate composition, Cheese breads, Rheology and Sensory analysis.**

## INTRODUÇÃO

O pão de queijo é um produto típico da culinária mineira, sendo amplamente comercializado e consumido em todo o país (CLARETO, 2000).

Não existe tecnologia fixa para a sua produção, sendo que a variabilidade dos ingredientes e do processo utilizado para sua elaboração, é ainda hoje, motivo de discussão pelos pesquisadores.

A utilização de fécula de mandioca pré-gelatinizada para eliminar a etapa de escaldamento no processo de elaboração de pão de queijo estudada no Capítulo 2 permitiu observar que a sua incorporação resultou em melhores propriedades físicas e sensoriais quando incorporada em massas de pães de queijo elaboradas com altos teores de polvilho azedo, conferindo características similares às obtidas em pães de queijo elaborados com fécula de mandioca, utilizando a etapa de escaldamento.

A incorporação de isolado protéico de soja e polidextrose à massa de pão de queijo também proporciona uma melhoria em suas propriedades físicas, sem alterar sua aceitação sensorial (MARTINS & NETO, 2006; SINGH & MOHAMED, 2005), beneficiando o consumidor potencial deste produto.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar duas formulações de pão de queijo adicionadas de diferentes teores de polvilho azedo, fécula de mandioca, isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, através das suas propriedades físicas (volume, coeficiente de expansão, textura e cor), reológicas (perfil de consistência) e sensoriais (aparência geral, aroma, textura, cor do miolo e sabor) com a finalidade de obter uma formulação de pão de queijo que mantenha as propriedades encontradas nos pães de queijo tradicionais e que traga benefícios nutricionais e funcionais aos consumidores deste produto.



## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos, Laboratório de Análise Sensorial, Laboratório de Apoio e Instrumentação do DTA/FEA/UNICAMP.

### 4.1 Materiais

#### 4.1.1 Matérias-Primas

Para a produção dos pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose foram utilizados os seguintes ingredientes:

- Fécula de mandioca, marca **Amilogill 1500** (lote: 410038 07, validade 26/01/06) da empresa Cargill Agrícola S.A. (Tatuí, SP);
- Polvilho azedo, marca **Yoki** (lote: 140306, validade: 140351) da empresa Yoki Alimentos (Paranavaí, SP);
- Fécula de mandioca pré-gelatinizada, marca **National 80** (lote: AUP 1037/2001) da empresa National Starch and Chemical Industrial Ltda (São Paulo, SP);
- Polidextrose, marca **Litesse II** (lote: V46110I 144710) da empresa Danisco Ltda (Cotia, SP);
- Isolado protéico de soja, marca **Supro 783** (E220001575) da empresa Solae Company (Porto Alegre, RS);
- Leite UHT Integral homogenizado, marca **Shefa** (lote: 181105, validade: 18/03/06) da Usina de Beneficiamento Agro-pecuária Tuiuti Ltda. (Amparo, SP);
- Óleo de soja, marca **Liza** (lote: L:33 23:01 MK, validade: 17/08/06) da empresa Cargill Agrícola S.A. (Tatuí, SP);

- Queijo minas meia cura, marca **Promissão** (lote: 1401005, validade: 14/06/06) da Usina de Beneficiamento Cooperativa de Laticínios de Promissão (Promissão, SP);
- Margarina, marca **Amélia** (lote: 09112005, validade: 09/08/06) da Cia Leco de Produtos Alimentícios (São Caetano do Sul, SP);
- Ovos vermelhos grandes, marca PURE QUALITY;
- Sal, marca **Lebre** (lote: 415CA, validade: 12/2006) da empresa Norte Salineira S.A. Indústria e Comércio NORSAL (Area Branca, RN).

#### 4.1.2 Principais Equipamentos

Além da vidraria e dos utensílios de laboratório para a elaboração das massas e dos pães de queijo, foram utilizados os seguintes equipamentos na caracterização físico-química dos pães de queijo, análise reológica das massas e análise sensorial dos pães de queijo:

1. Balança analítica, marca Mettler Toledo, modelo AB 204, capacidade de 210 g;
2. Balança semi-analítica, marca Mettler Toledo, modelo PB 3002, capacidade de 3100 g;
3. Conjunto para extração de gordura Soxhlet, constituído de balão extrator, condensador tipo Ahllin e bateria de aquecedores (por resistencia elétrica protegida por placa) marca Quimis, modelo 308.526;
4. Destilador de nitrogênio, marca Tecnal modelo TE 036/1, Piracicaba, SP, Brasil;
5. Digestor de proteínas, marca Tecnal, modelo TE 040/25, Piracicaba, SP, Brasil;
6. Dessecador, marca Pyrex, modelo com 200 mm;
7. Espectrofotômetro, marca HUNTERLAB, modelo COLOR QUEST II Reston, VA, EUA;

8. Espectrômetro de varredura a Laser, MALVERN, modelo S-MAM 5005, Inglaterra;
9. Estufa, marca Titã Electrocomerciais, modelo w4, linha W, Brasil;
10. Estufa com circulação e renovação de ar, marca Tecnal, modelo TE 394/2, Piracicaba, SP, Brasil.
11. Forno a gás, marca RATIONAL, modelo Combi-dampfer D-86899 CM 101G, Alemanha;
12. Mufla, marca Fornitec;
13. Texturômetro TA-XT2, Stable Micro Systems, Haslemere, Inglaterra, com software XTRA DIMENSION.

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Análise do perfil de consistência da massa de pão de queijo

O farinógrafo é um aparelho desenvolvido para a análise da qualidade da farinha de trigo. Porém, este aparelho foi utilizado, neste trabalho, para a fabricação das massas de pão de queijo e o registro da consistência, em U.F., durante a mistura da massa de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose. A massa foi misturada no recipiente do farinógrafo por duas pás horizontais em forma de \*Z\*, que giram em sentido contrário, com diferencial de velocidade de 3:2, sendo que a pá mais lenta gira a 63 rpm. A resistência que a massa ofereceu ao movimento das pás foi transmitida a um dinamômetro, conectado a um sistema de alavanca e de escala e a uma pena, que traça uma curva chamada farinograma, sobre uma carta que caminha a velocidade constante. Para minimizar a oscilação no sistema de alavanca, um amortecedor é inserido no circuito. A temperatura no vaso misturador e no amortecedor é mantida constante por um banho de água circulante a 30°C, cuja temperatura é controlada por um termostato.

As massas de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem adição de fécula pré-gelatinizada de mandioca, selecionadas anteriormente no Capítulo 2, foram analisadas em triplicata de acordo com a descrição apresentada a seguir:

- *Homogeneização*

- *Fécula de mandioca*

Uma quantidade específica em gramas de fécula de mandioca foi adicionada no vaso e misturada por um minuto, objetivando homogeneizar o material.

- *Polvilho azedo/fécula de mandioca pré-gelatinizada*

Uma quantidade específica em gramas de polvilho azedo e 7,00% de fécula de mandioca pré-gelatinizada foi adicionada no vaso e misturada por um minuto, objetivando homogeneizar o material.

- *Mistura*

- *Escaldamento da fécula de mandioca*

A mistura de leite integral, óleo de soja, sal e margarina foi previamente levada à fervura em fogão doméstico, utilizando uma panela de alumínio, antes de adicioná-la aos poucos à fécula de mandioca previamente homogeneizada, conforme descrito. O tempo de mistura da massa do pão de queijo após o escaldamento foi de 10 minutos.

- *Sem escaldamento do polvilho azedo*

A mistura de leite integral, óleo de soja, sal e margarina foi misturada à mistura de polvilho azedo e fécula de mandioca pré-gelatinizada previamente homogeneizada, conforme descrito anteriormente. O tempo de mistura da massa do pão de queijo após esta etapa foi de 10 minutos.

- *Incorporação de ovo*

Depois de atingido o tempo de mistura (com ou sem escaldamento), foram adicionados à massa de pão de queijo, os ovos frescos, (cuja clara e gema foram previamente homogenizados), misturando-as por um período de 2 minutos.

- *Incorporação de queijo meia cura*

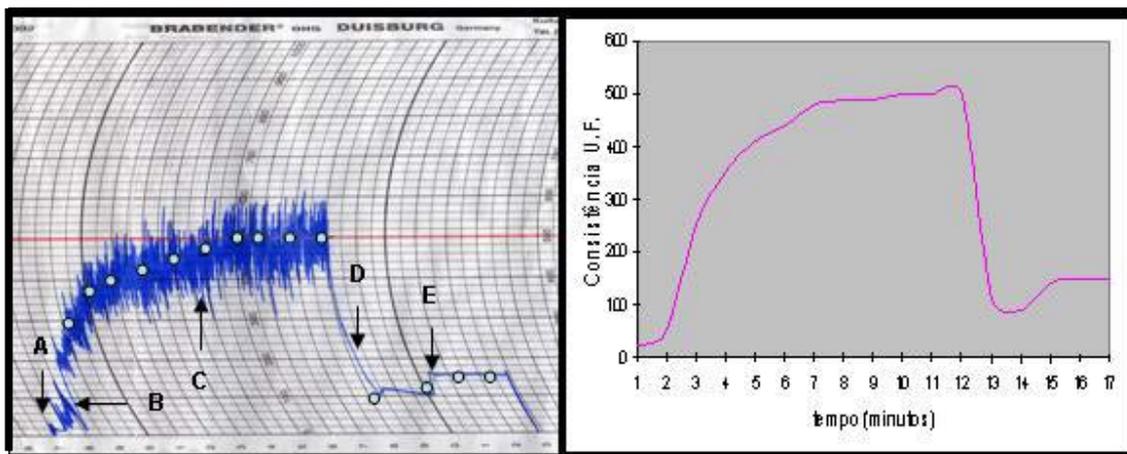
Depois de atingido o tempo de mistura do ovo, foi incorporado à massa de pão de queijo o queijo meia cura previamente ralado, misturando-o por mais 3 minutos, até obtenção da consistência final. Após esta etapa, o equipamento foi desligado.

- *Interpretação dos resultados*

As curvas de consistência a massa de pão de queijo geradas pelo farinógrafo Brabender foram analisadas da seguinte forma:

i) Para cada minuto das diferentes etapas de operação, foi calculado o valor médio em U.F. (Figura 4.1);

ii) Os resultados em U.F. obtidos no farinograma foram trasladados para uma planilha do Excel para a elaboração da curva de consistência de massa de pão de queijo.



**Figura 4.1** Interpretação da curva de consistência da massa de pão de queijo durante o processo de elaboração. A: homogeneização da fécula de mandioca/polvilho azedo; B: escaldamento da massa; C: mistura da massa escaldada; D: adição do ovo e E: adição do queijo meia cura.

#### 4.2.2 Processo de elaboração do pão de queijo

Foram elaboradas duas formulações de pão de queijo com diferentes teores de fécula de mandioca, polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (sem e com escaldamento) escolhidas através da análise afetiva de aceitação, apresentadas no Capítulo 2 (Tabelas 4.1 e 4.2):

Tabela 4.1 Formulação de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (FCE).

| <b>Ingredientes</b>       | <b>Peso (g)</b> | <b>(%)</b>  |
|---------------------------|-----------------|-------------|
| Fécula de mandioca        | 204,56          | 35,00       |
| Isolado protéico de soja* | 11,25           | <b>5,50</b> |
| Polidextrose*             | 12,35           | <b>6,04</b> |
| Leite integral            | 105,00          | 17,96       |
| Óleo de soja              | 75,00           | 12,83       |
| Margarina                 | 10,97           | 1,88        |
| Sal                       | 8,96            | 1,54        |
| Ovos frescos              | 75,00           | 12,83       |
| Queijo minas meia cura    | 105,00          | 17,96       |

\* Ingredientes foram adicionadas à massa de pão de queijo.

Tabela 4.2 Formulação de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada (FSE).

| <b>Ingredientes</b>                  | <b>Peso (g)</b> | <b>(%)</b>  |
|--------------------------------------|-----------------|-------------|
| Polvilho azedo                       | 204,56          | 35,00       |
| Fécula de mandioca pré-gelatinizada* | 14,32           | <b>7,00</b> |
| Isolado protéico de soja*            | 11,25           | <b>5,50</b> |
| Polidextrose*                        | 2,11            | <b>1,03</b> |
| Leite integral                       | 105,00          | 17,96       |
| Óleo de soja                         | 75,00           | 12,83       |
| Margarina                            | 10,97           | 1,88        |
| Sal                                  | 8,96            | 1,54        |
| Ovos frescos                         | 75,00           | 12,83       |
| Queijo minas meia cura               | 105,00          | 17,96       |

\* Ingredientes adicionados à massa de pão de queijo.

#### 4.2.2.1 Obtenção das massas de pão de queijo

As massas de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, foram elaboradas da seguinte forma:

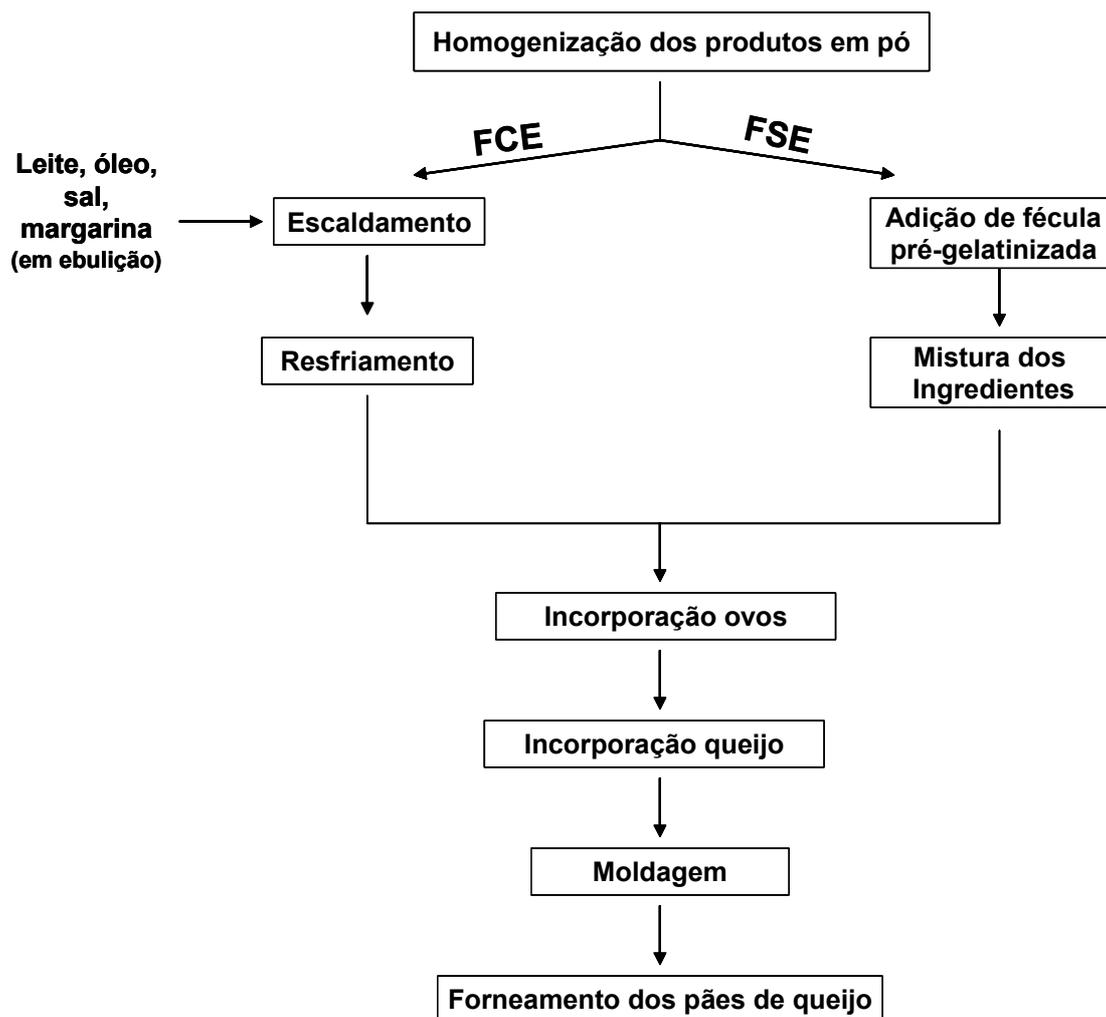


Figura 4.2 Fluxograma do processo de elaboração dos pães de queijo com e sem escaldamento.

## **Escaldamento da massa**

### **(i) Processo com escaldamento**

O leite integral, óleo de soja, margarina e sal foram submetidos ao aquecimento em uma panela de alumínio em fogão comum, até a sua fervura. A mistura quente foi transladada para uma bacia plástica contendo a mistura de ingredientes secos (Figura 4.3A) correspondente à formulação de pão de queijo (FCE), com a finalidade de provocar a gelatinização da fécula de mandioca. O material quente (75-85°C) foi trabalhado com as mãos até a obtenção de uma massa homogênea (Figura 4.3B).

### **(ii) Processo sem escaldamento**

Devido à incorporação de fécula de mandioca pré-gelatinizada à mistura de ingredientes secos correspondentes à formulação de pão de queijo (FSE), a etapa de escaldamento pode ser eliminada, sendo que a mistura de leite integral, óleo de soja, sal e margarina (a temperatura ambiente) foi adicionada aos poucos à mistura de ingredientes secos (Figura 4.3C) e o material foi trabalhado com as mãos até a obtenção de uma massa homogênea (Figura 4.3D).



**Figura 4.3 (A) Mistura dos ingredientes secos da formulação (FCE) antes do escaldamento; (B) formulação (FCE) após o escaldamento; (C) mistura dos ingredientes secos da formulação (FSE); (D) formulação (FSE) após a mistura dos ingredientes líquidos.**

## **Resfriamento da massa**

### **(i) Processo com escaldamento**

A massa escaldada foi deixada a temperatura ambiente por um período aproximado de 25 minutos, tempo necessário para a massa atingir uma temperatura de 25-30°C.

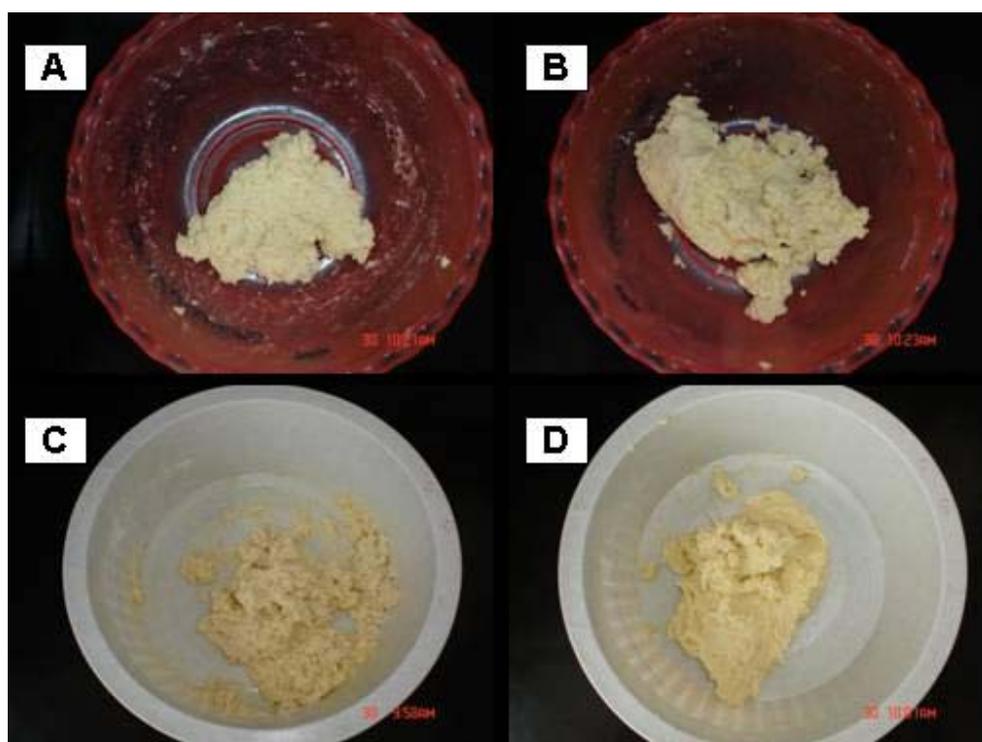
**(ii) Processo sem escaldamento**

A massa obtida pela adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada não precisou ser deixada a temperatura ambiente para seu resfriamento, pois a temperatura da massa encontrava-se nas condições de trabalho.

**Incorporação dos ovos e do queijo à massa**

Após o resfriamento da massa, foram adicionados os ovos previamente homogeneizados, misturando-se com as mãos para a completa incorporação.

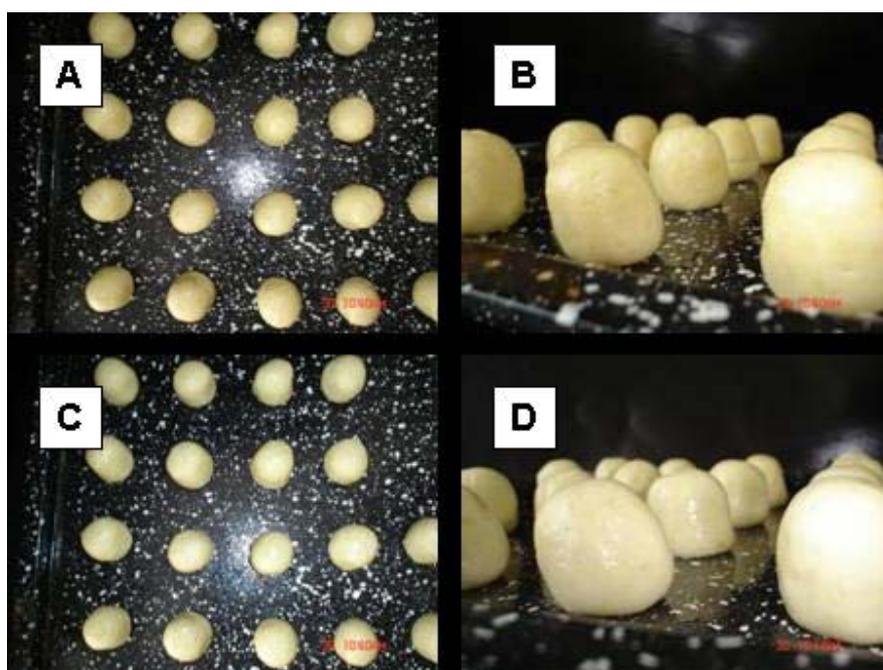
Posteriormente, foi adicionado o queijo meia cura previamente ralado, trabalhando a massa da mesma forma descrita acima, até a obtenção de uma massa consistente para a moldagem dos pães de queijo (Figura 4.4A-D).



**Figura 4.4** Característica visual das massas de pão de queijo. (A) Formulação (FCE) após a adição de ovo; (B) formulação (FSE) após a adição de queijo; (C) formulação (FCE) após a adição do ovo; (D) formulação (FSE) após a adição de queijo.

### Moldagem da massa

A massa obtida no ítem anterior foi dividida em pequenas porções e pesada em balança semi-analítica entre 25,00 e 25,30 gramas. A moldagem de pequenos cilindros de pão de queijo (formato coquetel) foi realizada manualmente.



**Figura 4.5** Características visuais das massas antes do forneamento. (A) e (B) Formulação FCE; (C) e (D) Formulação FSE.

### Obtenção dos pães de queijo

Após a moldagem dos cilindros de massa de pão de queijo, estes foram depositados em uma forma de alumínio (Figura 4.5) e colocados em forno a gás, sem a adição de vapor. As massas foram assadas por um período de 15 minutos a uma temperatura de 180°C (Figura 4.6).



**Figura 4.6 Pães de queijo assados com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

#### **4.2.3 Análise física da massa de pão de queijo**

A análise realizada nos pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, foi a seguinte:

##### **4.2.3.1 Densidade aparente**

A densidade aparente da massa de pão de queijo foi determinada em proveta de 1000 mL pelo método de deslocamento de sementes de painço (GRISWOLD, 1972). A massa de pão de queijo foi previamente embrulhada em filme plástico transparente para evitar que as sementes de painço se aderissem ao material. Posteriormente, a densidade aparente foi calculada utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\rho = m/V \quad \text{equação 4.1}$$

Onde:

$\rho$  = densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

$m$  = massa crua (g);

$V$  = volume massa crua (cm<sup>3</sup>).

#### 4.2.4 Análises físicas do pão de queijo assado

##### 4.2.4.1 Volume específico

Após a pesagem em balança semi-analítica, o volume dos pães de queijo assados foi medido pelo método de deslocamento de sementes de painço (GRISWOLD, 1972). Nesse método, o volume do produto é calculado subtraindo-se o volume obtido na proveta pelas sementes de painço contendo o pão de queijo, do volume fixo na proveta com as sementes de painço sem produto. O cálculo do volume é realizado utilizando a seguinte equação:

$$V_{\text{esp}} = V / m \quad \text{equação 4.2}$$

Onde:

$V_{\text{esp}}$  = volume específico do pão de queijo (cm<sup>3</sup>/g)

$V$  = volume do pão de queijo (cm<sup>3</sup>);

$m$  = massa do pão de queijo (g).

#### 4.2.4.2 Textura

Para determinar a força de compressão dos pães de queijo assados foi utilizado o analisador de textura Stable Micro Systems TAXT2i (HASLEMERE, Inglaterra, com software XTRA DIMENSION), com o “probe” cilíndrico de alumínio com extremidade plana e 100 mm de diâmetro (Figura 4.7). Os resultados foram expressos em N, a temperatura de análise foi de aproximadamente 25°C e os parâmetros de configuração do aparelho foram: (i) velocidade de teste = 2,0 mm/s; (ii) velocidade de pré-teste = 2,0 mm/s; (iii) velocidade de pós-teste = 10,0 mm/s; (iv) distância de compressão = 50,0%. Os valores dos parâmetros de textura dos pães de queijo foram obtidos a partir da média aritmética de 5 replicatas. Os pães de queijo foram deixados a temperatura ambiente por um período de uma hora previamente à determinação da textura.



**Figura 4.7** Ensaio de força de compressão no texturômetro TA-XT2 de uma amostra de pão de queijo.

### 4.2.4.3 Cor

A cor da crosta e do miolo dos pães de queijo foi determinada em três diferentes pontos utilizando-se o sistema  $L^* C^* h$ , o qual é uma representação polar do sistema de coordenadas do sistema  $L^* a^* b^*$ . Este sistema utiliza o mesmo diagrama do sistema  $L^* a^* b^*$ , no entanto, a diferença é que utiliza coordenadas cilíndricas em vez de coordenadas retangulares (ver Figura 4.8).

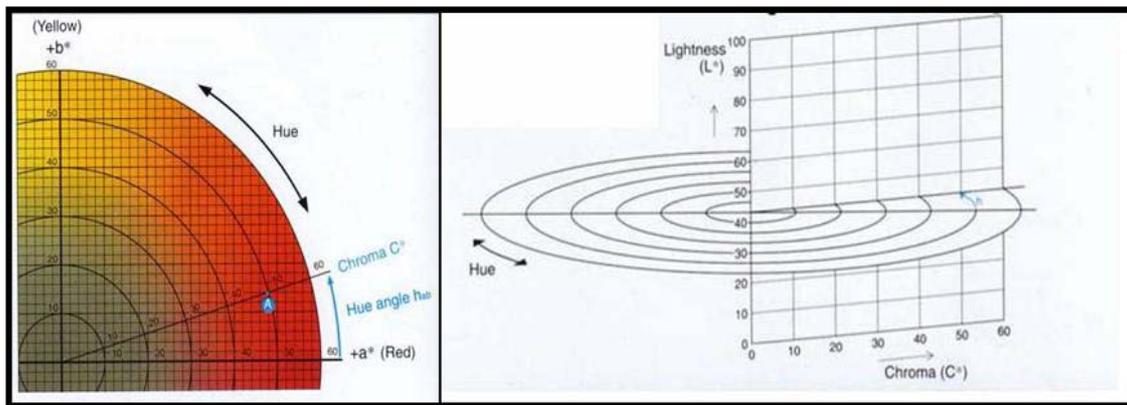


Figura 4.8 Representação do sistema de cor  $L^* C^* h$ .

O cromia  $C^*$  foi determinado utilizando a seguinte equação:

$$\text{Croma } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{equação 4.3}$$

O ângulo de saturação  $h$  foi calculado pela expressão:

$$H_{ab} = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad \text{equação 4.4}$$

Neste sistema, o  $L^*$  indica a luminosidade, e é o mesmo  $L^*$  do sistema  $L^* a^* b^*$ . O  $C^*$  representa o cromia, e o  $h$  representa o ângulo de saturação. O valor de  $C^*$  é 0 no centro, e aumenta conforme a distância do centro. O ângulo de

satuação  $h$  é definido como o ponto inicial do eixo  $+a^*$  expressado em graus, sendo  $0^\circ$  igual  $+a^*$  (vermelho),  $90^\circ$  seria o  $+b^*$  (amarelo),  $180^\circ$  o  $-a^*$  (verde), e  $270^\circ$  o  $-b^*$  (azul).

As determinações foram realizadas no espectrofotômetro Color Quest II HUNTERLAB (RESTON, VA, EUA), com o iluminante  $D_{65}$ , refletância (objetos opacos), com ângulo do observador de  $10^\circ$  e com especular excluída.

#### **4.2.5 Análises químicas do pão de queijo assado**

##### **4.2.5.1 Composição centesimal**

Todas as análises de composição centesimal para o pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, foram realizadas em triplicata.

###### **4.2.5.1.1 Umidade**

Para determinar a umidade do pão de queijo foi realizada uma pré-secagem controlada do produto em estufa ventilada a  $60^\circ\text{C}$  por aproximadamente 15 horas. O teor de umidade residual foi determinado pelo método de perdas por dessecação, em estufa à temperatura de 100 a  $105^\circ\text{C}$ , até massa constante, segundo a AOAC (1997).

#### **4.2.5.1.2 Lipídios**

Os lipídios foram dosados por extração direta com éter etílico, segundo o método de Soxhlet (AOAC, 1997). A amostra foi previamente seca em estufa, como recomendado pelo método.

#### **4.2.5.1.3 Proteína bruta**

O teor de proteínas foi determinado pelo método de micro-Kjeldahl, conforme AOAC (1997). O método baseia-se na digestão da amostra, convertendo-se o nitrogênio presente em sulfato de amônio. O sulfato de amônio reage com uma solução de ácido bórico e é titulado com solução padrão de ácido clorídrico, em presença de indicador misto (vermelho de metila + verde de bromocresol). Por se tratar de um produto composto, foi utilizado o fator de conversão geral de 6,25 para o pão de queijo.

#### **4.2.5.1.4 Resíduo mineral fixo**

A amostra de pão de queijo foi inicialmente carbonizada em bico de Bunsen e depois calcinada em mufla a 550°C até obtenção de cinzas brancas, que representam o resíduo mineral fixo (AOAC, 1997).

#### **4.2.5.1.5 Carboidratos**

O teor de carboidratos foi realizado em base seca por diferença, isto é, a fração de carboidratos corresponde a 100 menos a somatória das frações protéica, lipídica e resíduo mineral fixo.

---

$$\% \text{ carboidratos} = 100\% - (\% \text{ P} + \% \text{ L} + \% \text{ RMF} ) \quad \text{equação 4.5}$$

**Onde:**

**P** é a proteína;

**L** são os lipídios;

**RMF** é o resíduo mineral fixo.

#### 4.2.6 Análise Sensorial

As duas formulações de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose, com e sem a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, foram avaliadas sensorialmente por 30 provadores não treinados, entre 20-30 anos, sendo a maioria estudantes de graduação e pós-graduação, consumidores potenciais do produto.

O teste afetivo de preferência por comparação pareada foi conduzido no Laboratório de Análise Sensorial, utilizando-se cabines individuais com luz normal para cada provador.

Uma ficha sensorial de preferência (APÊNDICE 4) foi fornecida a cada provador, onde foi solicitado que avaliassem duas amostras de pão de queijo de 23 gramas, indicando qual amostra era de sua preferência.

As duas amostras de pão de queijo, a temperatura em que são consumidos comercialmente (45°C, aquecidos em forno elétrico), foram servidas aos provadores de uma vez só, em pratos descartáveis codificados com números de três dígitos escolhidos ao acaso, de forma a não influenciar os provadores.

#### **4.2.6 Análise estatística dos resultados**

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente por ANOVA e o teste de Tukey, utilizando-se o programa Statistica 5.0 (Stat Soft, Inc., TULSA, OK, EUA), com o objetivo de identificar a existência de diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as duas formulações avaliadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise da massa de pão de queijo

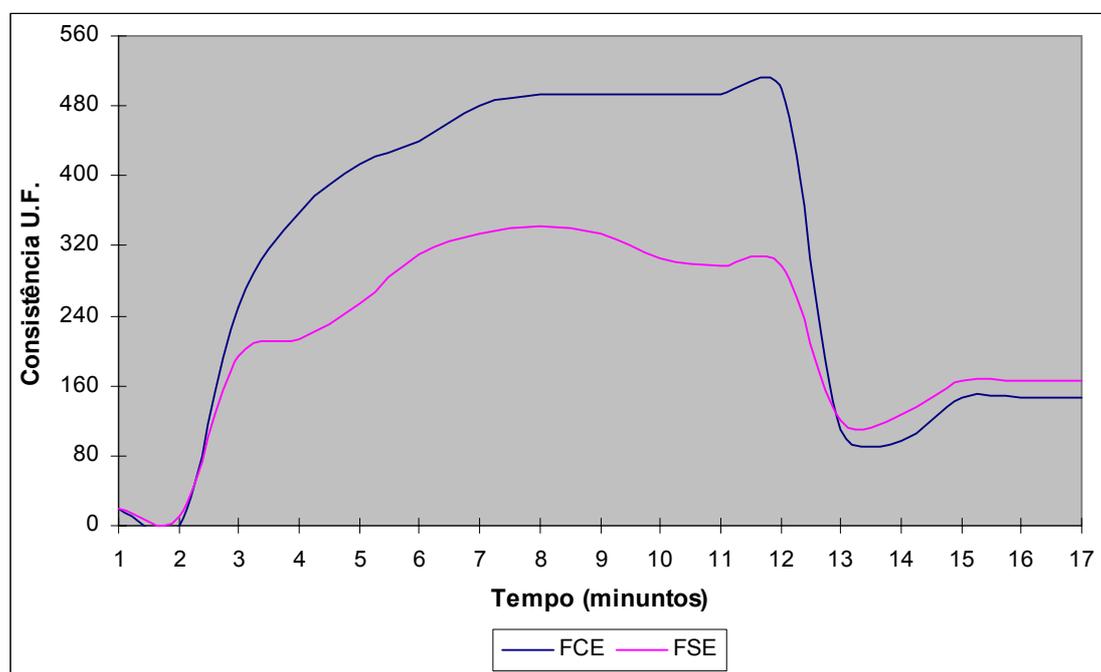
#### 5.1.1 Perfil reológico

O perfil reológico para cada etapa do processo das massas de pão de queijo FCE e FSE, no farinógrafo Brabender, é apresentado na Tabela 4.3 e na Figura 4.9.

**Tabela 4.3 Perfil reológico das massas de pão de queijo FCE e FSE obtidas no farinógrafo Brabender.**

| Etapa | Tempo (minutos) | Formulação FCE              | Formulação FSE              |
|-------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1     | 0               | 20,00 ± 0,00 <sup>a</sup>   | 20,00 ± 0,00 <sup>a</sup>   |
|       | 2               |                             |                             |
| 2     | 1               | 56,67 ± 5,77 <sup>a</sup>   | 10,00 ± 0,00 <sup>a</sup>   |
|       | 2               | 250,00 ± 10,00 <sup>a</sup> | 193,33 ± 11,55 <sup>b</sup> |
|       | 3               | 356,67 ± 5,77 <sup>a</sup>  | 213,33 ± 11,55 <sup>b</sup> |
|       | 4               | 413,33 ± 23,09 <sup>a</sup> | 253,33 ± 23,09 <sup>b</sup> |
|       | 5               | 440,00 ± 34,64 <sup>a</sup> | 310,00 ± 26,46 <sup>b</sup> |
|       | 6               | 480,00 ± 20,00 <sup>a</sup> | 333,33 ± 30,55 <sup>b</sup> |
|       | 7               | 493,33 ± 23,09 <sup>a</sup> | 343,33 ± 20,82 <sup>b</sup> |
|       | 8               | 493,33 ± 11,55 <sup>a</sup> | 333,33 ± 11,55 <sup>b</sup> |
|       | 9               | 493,33 ± 11,55 <sup>a</sup> | 306,67 ± 11,55 <sup>b</sup> |
|       | 10              | 493,33 ± 11,55 <sup>a</sup> | 296,67 ± 15,23 <sup>b</sup> |
| 3     | 11              | 500,00 ± 0,00 <sup>a</sup>  | 296,67 ± 15,23 <sup>b</sup> |
|       | 12              | 110,00 ± 0,00 <sup>a</sup>  | 120,00 ± 0,00 <sup>a</sup>  |
|       | 13              | 96,667 ± 5,77 <sup>b</sup>  | 126,67 ± 11,55 <sup>a</sup> |
| 4     | 14              | 146,67 ± 11,55 <sup>a</sup> | 166,67 ± 11,55 <sup>a</sup> |
|       | 15              | 146,67 ± 11,55 <sup>a</sup> | 166,67 ± 11,55 <sup>a</sup> |
|       | 16              | 146,67 ± 11,55 <sup>a</sup> | 166,67 ± 11,55 <sup>a</sup> |
|       | 16              | 146,67 ± 11,55 <sup>a</sup> | 166,67 ± 11,55 <sup>a</sup> |

Médias na mesma linha seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). 1: Homogeneização dos ingredientes secos; 2: Escaldamento massa (formulação FCE) / Etapa de mistura (formulação FSE); 3: Incorporação de ovo e 4: Incorporação de queijo meia cura.



**Figura 4.9** Curvas de consistência das massas de pão de queijo FCE e FSE obtidas em farinógrafo Brabender.

Os perfis apresentados pelas curvas de consistência para as massas de pão de queijo FCE e FSE são semelhantes em quase todas as etapas aos perfis apresentados por Pereira (2001) e também aos estudados no Capítulo 1 para massas de pão de queijo elaboradas com 100% de fécula de mandioca e 100% de polvilho azedo.

Durante a etapa de homogeneização e escaldamento, a consistência obtida para ambas formulações não foi significativamente diferente a  $p \leq 0,05$ .

Na etapa de homogeneização, os valores reportados tanto para a massa FCE como para FSE, foram 60,00 e 43,86% menores aos obtidos no Capítulo 1 para massas elaboradas unicamente com fécula de mandioca (formulação A) e polvilho azedo (formulação B), respectivamente, sem adição de isolado protéico de soja, polidextrose e fécula de mandioca pré-gelatinizada, mas próximos aos valores reportados por Pereira (2001) e Machado (2003).

A etapa de mistura da massa, compreendida entre 2 e 10 minutos, apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) na consistência das massas para as

duas formulações de pão de queijo, sendo também reportado no Capítulo 1 para as formulações com 100% de fécula de mandioca e/ou polvilho azedo.

A consistência observada durante esta etapa para a massa de pão de queijo FCE oscilou entre 250 e 500 U.F., sendo que a maior parte do tempo, a massa apresentou uma consistência entre 480 e 493 U.F. Segundo Pereira (2001), as consistências de massa de pão de queijo elaboradas com polvilho doce oscilaram entre 400 e 450 U.F., enquanto que as massas de pão de queijo elaboradas com fécula de mandioca observadas no Capítulo 1, os valores oscilaram entre 420 e 470 U.F.

Durante esta mesma etapa, a massa de pão de queijo FSE apresentou consistências entre 193 e 343 U.F., diferindo dos valores observados no Capítulo 1 em massas elaboradas com polvilho azedo (210 a 280 U.F.) e dos reportados (250 a 400 U.F.) por Pereira (2001) e observado (350 U.F.) por Machado (2003).

A diferença apresentada entre as massas de pão de queijo elaboradas unicamente com fécula de mandioca, polvilho doce e/ou azedo em relação às massas elaboradas com a adição de isolado protéico de soja e povidona deve-se em parte à interação entre a proteína e os fosfolípidios, provocando mudanças na carga e na estrutura protéica (COMAS et al., 2005). Assim, com o aumento na absorção de água por parte da massa de pão de queijo (SINGH & MOHAMED, 2005) ocorrem mudanças na conformação estrutural quaternária, terciária e secundária do isolado protéico de soja, que envolve interações hidrofóbicas, eletrostáticas e pontes de dissulfeto (MARTINS & NETO, 2006).

Um dos fatores observados nos perfis de consistência das massas foi que a formulação FCE mostrou um crescimento exponencial durante a etapa de mistura, conseguindo atingir uma consistência homogênea e estável.

Enquanto que a massa FSE apresentou no início um crescimento exponencial, seguido de um leve crescimento linear e, posteriormente, uma queda antes da incorporação de ovo.

A avaliação do perfil de consistência durante a incorporação do ovo evidenciou o efeito que este ingrediente fornece à massa de pão de queijo,

adicionalmente ao poder emulsificante que o isolado protéico de soja possui devido às propriedades ativas de superfície de suas proteínas (globulinas) 7S e 11S, fornecendo assim uma queda substancial aproximada de 390 U.F. para a massa FCE e de 170 U.F. para a massa FSE.

Apesar desta diferença durante o primeiro minuto da incorporação do ovo, as massas não registraram diferença significativa a  $p \leq 0,05$ , o que, no entanto, não aconteceu para o segundo minuto, onde foi reportada diferença significativa entre as massas de pão de queijo.

A queda da consistência da massa observada é semelhante à descrita no Capítulo 1 para massas elaboradas com 100% de fécula de mandioca ou polvilho azedo, sendo que para ambas, não foi reportada diferença significativa a  $p \leq 0,05$ . Pereira (2001) e Machado (2003) reportaram uma queda menos intensa, entre 100 e 200 U.F., para massas de pão de queijo com polvilho doce, e de 200 U.F. para massas de pão de queijo elaboradas com polvilho azedo.

A adição do queijo Minas meia cura aumentou a consistência das massas de pão de queijo para ambas formulações, sendo que para a massa FCE foram atingidos valores de 146 U.F., sendo próximos aos valores reportados no Capítulo 1, mas 18,89% inferior ao reportado por Pereira (2001).

As massas de pão de queijo FSE e FCE não apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) no valor de consistência após a adição do queijo. Machado (2003) observou uma consistência para massas com polvilho azedo 27% superior (220 U.F.) aos valores obtidos neste trabalho.

### 5.1.2 Densidade aparente

Valores médios de densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) para a massa dos pães de queijo FCE e FSE são apresentados na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 Valores médios de densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) para os pães de queijo FCE e FSE.**

| Pães de queijo | Densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) |
|----------------|-------------------------------|
| FCE            | $0,37 \pm 0,01^a$             |
| FSE            | $0,37 \pm 0,01^a$             |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os resultados médios de densidade aparente dos pães das duas formulações estudadas não apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Valores baixos de densidade aparente constituem um parâmetro de qualidade do pão de queijo, sendo desejável que os pães sejam leves, conforme citado por Pereira et al. (1999). As médias de densidade aparente obtidas para os pães de queijo foram maiores que as observadas no Capítulo 1, assim como, as obtidas por Machado (2003).

Os valores de densidade aparente apresentados no Capítulo 1 foram iguais a  $0,24 \text{ g/cm}^3$  para pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca, e  $0,27 \text{ g/cm}^3$  para pães de queijo elaborados com 100% de polvilho azedo.

Pereira (2001) obteve resultado de densidade aparente igual a  $0,31 \text{ g/cm}^3$  para pães de queijo elaborados com mistura de polvilho doce/azedo, sendo 16,22% menor que o determinado no presente trabalho.

A incorporação de isolado protéico de soja e polidextrose no pão de queijo provocou um aumento na sua densidade, tornando-os mais pesados e compactos. Apesar de eles serem mais pesados, os pães de queijo FSE apresentaram uma massa muito mais leve e pegajosa em relação à massa FCE,

o qual também foi observado no estudo reológico das massas no farinógrafo Brabender.

Bertolini et al. (2001) relataram que as maiores mudanças que ocorrem durante o processo de confecção de pães elaborados com polvilho azedo é o desenvolvimento de uma estrutura porosa parcialmente aberta que leva a uma redução da densidade aparente, desidratação e mudanças na cor, o qual foi observado nos pães de queijo FSE, onde a sua estrutura porosa foi levemente mais aberta que os pães de queijo FCE.

## 5.2 Análises físicas do pão de queijo assado

### 5.2.1 Volume específico

Valores médios de volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) para os pães de queijo FCE e FSE, são apresentados na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5 Valores médios de volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) para os pães de queijo FCE e FSE.**

| Pães de queijo | Volume Específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) |
|----------------|--|
| FCE            | $2,67 \pm 0,01^b$                            |
| FSE            | $2,72 \pm 0,01^a$                            |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O volume específico e a densidade absoluta dependem diretamente da expansão do produto após o forneamento, sendo que a mesma estabelece uma relação direta com o volume e inversa com a densidade. Os valores médios obtidos para ambas formulações, apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Pereira (2001) e Machado (2003) determinaram volumes de  $4.90 \text{ cm}^3/\text{g}$  e  $3.68 \text{ cm}^3/\text{g}$  para pães de queijo elaborados com polvilho azedo, sendo, portanto,

44,49% e 26,09%, respectivamente, superiores aos obtidos para a formulação FSE.

A incorporação de isolado protéico de soja e povidexose provocou uma diminuição no volume específico do pão de queijo, quando comparado com os valores reportados para pães de queijo elaborados com diferentes tipos de polvilho sem a adição de ingredientes funcionais. Esta redução deve-se à existência de maior conteúdo de sólidos na formulação do pão de queijo que limitou o crescimento durante o forneamento.

Sahni & Krishnamurthy (1975), citados por Mohamed et al. (2006), reportaram que a adição de 4,00% de isolado protéico de soja produz pães elaborados com farinha de trigo com volumes aceitáveis.

No Capítulo 2, observou-se que pães de queijo elaborados com os mesmos teores de fécula de mandioca, polvilho azedo e isolado protéico de soja, mas com teor de povidexose de 2,55% apresentaram valores médios de 2,17 cm<sup>3</sup>/g e 3,53 cm<sup>3</sup>/g, respectivamente, mostrando assim que o aumento no teor de povidexose de 2,55% para 6,04%, provocou um aumento de 18,85% no volume final.

Os pães de queijo FSE apresentaram um volume final 22,97% inferior à formulação de pão de queijo obtida no Capítulo 2 com o mesmo teor de polvilho azedo, isolado protéico de soja, mas com 2,55% de povidexose, mostrando que ao diminuir o teor de povidexose para 1,03%, foram obtidos pães de queijo com menores volumes.

### 5.2.2 Coeficiente de expansão

Valores médios de coeficiente de expansão (%) para os pães de queijo FCE e FSE são apresentados na Tabela 4.6.

**Tabela 4.6 Valores médios de coeficiente de expansão (%) para os pães de queijo FCE e FSE.**

| Pães de queijo | Coeficiente de Expansão (%) |
|----------------|-----------------------------|
| FCE            | 50,00 ± 0,00 <sup>b</sup>   |
| FSE            | 100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>  |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os valores médios de coeficiente de expansão obtidos para os pães de queijo FCE e FSE apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

O assamento de produtos de panificação, como é o caso do pão de queijo, resulta na transformação de uma massa líquida em um pão com miolo sólido de células de gás interligadas e com uma estrutura esponjosa.

O coeficiente de expansão para os pães de queijo FCE foi igual a 50%, sendo 14,28% menor ao valor obtido no Capítulo 1 para pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca sem a incorporação de ingredientes funcionais. Portanto, a incorporação de isolado protéico de soja e polidextrose provocou uma diminuição mínima no poder de expansão.

O teor ideal de isolado protéico de soja a ser adicionado aos pães de queijo elaborados com fécula de mandioca e/ou polvilho azedo foi de 5,50%.

Mestres e Rouau (1997) observaram que o polvilho azedo sofre oxidação degradativa durante a exposição à radiação solar, sendo importante, pois a presença de grupos carboxila é essencial na capacidade de expansão.

Bertolini et al. (2001) determinou que a expansão do polvilho azedo durante o forneamento pode ser atribuído ao incremento da pressão causado pela evaporação de água, levando a uma menor viscosidade causada pela despolimerização do amido, o que reduz a força de resistência à expansão, além

do fato da transição térmica modificar as propriedades termomecânicas da massa, afetando o poder de expansão.

O valor médio de expansão para os pães de queijo FSE foi 100%, sendo 20% maior que o valor observado no Capítulo 1 para pães de queijo elaborados com 100% de polvilho azedo, possivelmente pela incorporação mínima de povidexose, como observado nos pães de queijo FCE.

### 5.2.3 Textura

As forças de compressão obtidas para os pães de queijo FCE e FSE foram significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey (Tabela 4.7)

**Tabela 4.7 Valores médios de força de compressão (g) para os pães de queijo FCE e FSE.**

| Pães de queijo | Força de compressão (g)       |
|----------------|-------------------------------|
| FCE            | 1917,40 ± 133,26 <sup>a</sup> |
| FSE            | 1641,20 ± 57,75 <sup>b</sup>  |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

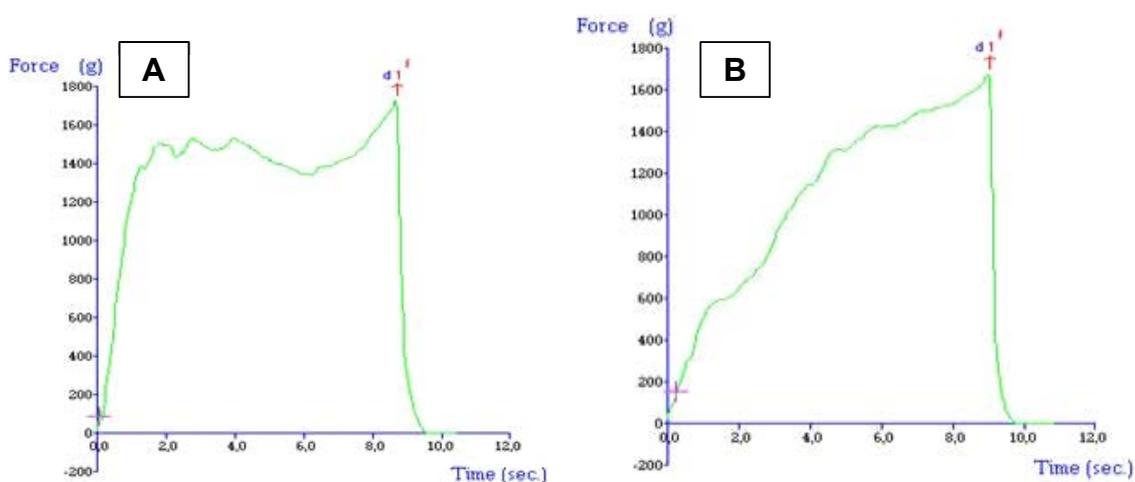
A força de compressão obtida para a formulação de pão de queijo FCE foi 26,87% menor que a reportada no Capítulo 2 para pães de queijo com os mesmos teores de fécula de mandioca e isolado protéico de soja e 2,55% de povidexose. Enquanto que para os pães de queijo FSE, o valor observado foi 31,34% à força reportada no Capítulo 2 para pães de queijo com os mesmos teores de polvilho azedo e isolado protéico de soja e 2,55% de povidexose.

Estes resultados confirmam que ao aumentar o teor de povidexose, mantendo o teor de isolado protéico de soja, os pães de queijo tornam-se mais leves e macios, pelo fato da povidexose ser um agente de corpo e melhorador de textura (ESTELLER, 2004) e o isolado protéico de soja possui a propriedade

de texturização e aumento do nível protéico, devido a sua conformação estrutural protéica (SOLINA et al., 2005).

Os resultados mostram que os pães de queijo FSE apresentam uma textura mais leve e macia em relação à formulação FCE, como pode ser observado na Figura 4.10. A curva de compressão dos pães de queijo FCE apresentou uma série de picos antes de atingir o ponto máximo de resistência, evidenciando a presença de uma casca crocante e heterogênea, em relação à curva apresentada pelos pães de queijo FSE, que mostraram um aumento gradativo, sem picos de ruptura, apresentando uma casca mais homogênea e lisa.

A redução da dureza da crosta dos pães de queijo FSE pode ter acontecido em função da migração de umidade do miolo para a crosta, tornando-o mais borrachudo, sendo uma característica que foi descrita pelos provadores na análise sensorial de preferência.



**Figura 4.10** Perfil da força de compressão obtida no texturômetro para: (A) g de pão de queijo FCE; (B) g de pão de queijo FSE.

Machado (2003) e Pereira (2001) relataram valores médios de força de compressão (1664 g e 1644 g, respectivamente) para pães de queijo elaborados com polvilho azedo submetidos ao processo de escaldamento similares à força

de compressão reportada para o pão de queijo FSE (1641,20 g). A força de compressão de pães de queijo elaborados com fécula de mandioca apresentada no Capítulo 1, foi de 2,359 g, sendo 18,72% superior à obtida para a formulação de pão de queijo FCE. A diferença apresentada pelos pães de queijo elaborados com polvilho azedo em relação à fécula de mandioca, deve-se em parte à estabilidade que o polvilho azedo possui durante a etapa de retrogradação do amido, o qual foi observado também nas curvas de propriedades de pasta para fécula de mandioca e polvilho azedo obtidas no RVA e apresentados no Capítulo 1.

A manutenção ou diminuição da força de compressão para os pães de queijo elaborados com a incorporação de isolado protéico de soja e povidexose em relação aos pães de queijo sem a adição destes componentes, comprovam o efeito que o isolado protéico de soja possui de melhorar a textura e a capacidade de retenção de água (MARTINS & NETO, 2006), enquanto que a povidexose age como melhorador de textura, como observado também por Esteller (2004), na incorporação de povidexose em pão tipo hambúrguer.

Outro fator importante a ser considerado, é a possibilidade de incorporar fécula de mandioca pré-gelatinizada à massa de pão de queijo, podendo produzir uma massa sem escaldamento, diminuindo o tempo de processo para a obtenção dos pães de queijo assados, sem, no entanto, alterar a qualidade apresentada pelos pães obtidos com escaldamento.

#### **5.2.4 Cor da crosta**

Valores médios das coordenadas de cor  $L^* C^* h$  da crosta para os pães de queijo FCE e FSE são apresentadas na Tabela 4.8 (Figura 4.10).

**Tabela 4.8 Valores médios das coordenadas L\* C\* h da crosta para os pães de queijo FCE e FSE.**

| Cor da crosta | Pães de queijo<br>FCE     | Pães de queijo<br>FSE     |
|---------------|---------------------------|---------------------------|
| L*            | 75,65 ± 0,42 <sup>a</sup> | 75,10 ± 0,31 <sup>a</sup> |
| C*            | 33,78 ± 0,10 <sup>a</sup> | 29,12 ± 0,23 <sup>b</sup> |
| h             | 80,93 ± 0,17 <sup>a</sup> | 79,97 ± 0,24 <sup>b</sup> |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A saturação (C\*) e o ângulo de tonalidade (h) para a crosta dos pães de queijo FCE e FSE apresentaram diferença significativa a  $p \leq 0,05$ , enquanto que para a luminosidade (L\*) não foi detectada diferença significativa.

#### 5.2.4.1 Luminosidade da crosta (L\*)

Os valores de luminosidade (L\*) obtidos para pães de queijo FCE e FSE foram similares aos valores mencionados anteriormente no Capítulo 2 (76,56 e 75,61) para pães de queijo com os mesmos teores de fécula de mandioca, polvilho azedo e isolado protéico de soja, mas com 2,55% de polidextrose. Os pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca ou polvilho azedo (sem ingredientes funcionais), reportados no Capítulo 1, no entanto, apresentaram valores de luminosidade da crosta (L\*) entre 8 e 9% superiores, evidenciando que a adição de isolado protéico de soja e polidextrose diminuem a luminosidade da crosta (L\*) do pão de queijo, como observado por Esteller et al. (2005) e Singh & Mohamed (2005), respectivamente, para pães tipo hambúrguer com polidextrose e biscoitos adicionados com isolado protéico de soja.

O efeito de redução de luminosidade da crosta (L\*) deve-se à ocorrência a reação de escurecimento não enzimático, o qual foi observado por Mitchell (1996) na avaliação da ação de polidextrose em massa folhada (*pastry*), onde se

verificou que este ingrediente apresenta a característica de açúcar redutor, participando, portanto na reação de Maillard.

Outro fator observado foi que o valor de luminosidade da crosta ( $L^*$ ) para os pães de queijo elaborados com escaldamento foi superior aos pães de queijo adicionados de fécula de mandioca pré-gelatinizada (sem escaldamento), devido à influência da temperatura utilizada durante a etapa de escaldamento.

#### **5.2.4.2 Saturação da crosta ( $C^*$ )**

A saturação da crosta ( $C^*$ ) é um atributo associado à pureza da cor de um objeto, sendo que para o pão de queijo FCE o valor médio foi 13,79% maior ao obtido pelo pão de queijo FSE.

O pão de queijo FCE, que possui maior teor de polidextrose, apresentou uma cor mais saturada em relação ao pão de queijo FSE, o fato também observado por Esteller et al. (2005). Estes autores relataram que o aumento do teor de polidextrose em pães tipo hambúrguer conferiu uma melhora na cor da crosta.

Como apresentado anteriormente no Capítulo 1, os valores médios de saturação da crosta ( $C^*$ ) para formulações de pão de queijo elaboradas com 100% de fécula de mandioca ou 100% de polvilho azedo foram iguais a 31,76 e 26,00, respectivamente, sendo inferiores aos reportados para pães de queijo com a adição de isolado protéico de soja e polidextrose, comprovando o efeito que a sua incorporação provoca uma maior saturação da crosta ( $C^*$ ) do pão de queijo.

Para pães de queijo elaborados com os mesmos teores de polvilho azedo e isolado protéico de soja, mas com 2,55% de polidextrose (Capítulo 2), a saturação da cor foi de 32,14, enquanto que para os pães de queijo elaborados com os mesmos teores de fécula de mandioca e isolado protéico de soja, mas com 2,55% de polidextrose, a saturação diminuiu para 29,55, sendo que a

elaboração de pães de queijo com 100% de polvilho azedo altera a saturação da crosta (C\*) final dos pães de queijo.

#### 5.2.4.3 Ângulo de tonalidade da crosta (h)

O ângulo de tonalidade da crosta (h) dos pães de queijo FCE e FSE foi igual a 80,93° e 79,97°, respectivamente, os quais se localizam no primeiro quadrante do diagrama da representação da cor da Figura 4.7. Pelo fato dos ângulos apresentarem valores acima de 70°, pode-se considerar que os pães de queijo possuem uma tonalidade amarela, o que se deve em parte à incorporação de ovo fresco, queijo Minas meia cura, isolado protéico de soja e a polidextrose (SINGH & MOHAMED, 2005; ESTELLER et al., 2005), sendo parecida com a tonalidade típica amarela dos pães de queijo encontrados no mercado nacional.

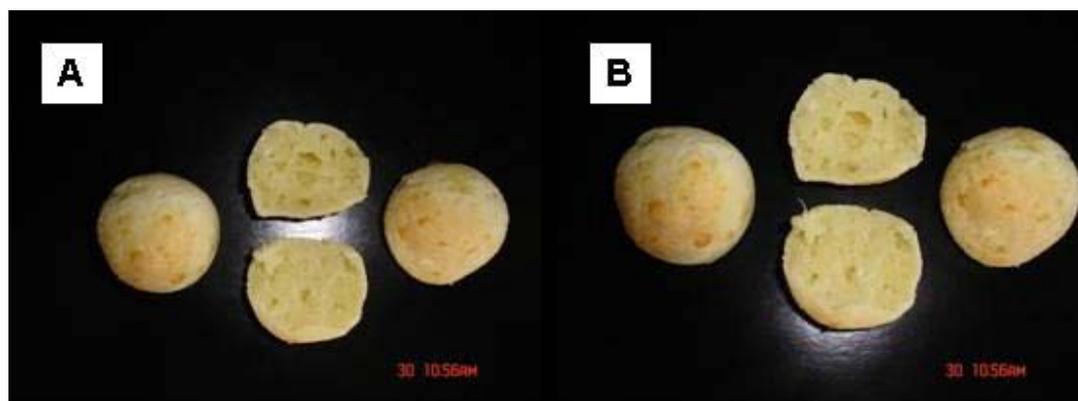
#### 5.2.5 Cor do miolo

Valores médios das coordenadas de cor L\* C\* h do miolo para os pães de queijo FCE e FSE são apresentadas na Tabela 4.9 (Figura 4.11)

**Tabela 4.9 Valores médios das coordenadas L\* C\* h do miolo para os pães de queijo FCE e FSE.**

| Cor do miolo | Pães de queijo<br>FCE     | Pães de queijo<br>FSE     |
|--------------|---------------------------|---------------------------|
| L*           | 68,54 ± 1,07 <sup>a</sup> | 59,42 ± 0,97 <sup>b</sup> |
| C*           | 30,17 ± 0,08 <sup>a</sup> | 27,47 ± 0,27 <sup>b</sup> |
| h            | 87,04 ± 0,03 <sup>a</sup> | 85,18 ± 0,50 <sup>b</sup> |

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).



**Figura 4.11** Características da crosta e do miolo de pão de queijo: (A) FCE; (B) FSE.

As coordenadas  $L^*$   $C^*$   $h$  para o miolo dos pães de queijo FCE e FSE apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

#### 5.2.5.1 Luminosidade do miolo ( $L^*$ )

Os valores de luminosidade do miolo ( $L^*$ ) para os pães de queijo FCE e FSE foram próximos aos reportados no Capítulo 2 (68,44 e 63,52) para pães de queijo com os mesmos teores de fécula de mandioca, polvilho azedo e isolado protéico de soja, mas com 2,55% de povidexose.

A incorporação de ingredientes como o isolado protéico de soja, a povidexose e os outros ingredientes do pão de queijo (ovo, margarina, óleo e queijo) influenciaram a luminosidade ( $L^*$ ) final do miolo.

Devido ao teor de povidexose incorporado à massa de pão de queijo FCE, o valor da luminosidade do miolo ( $L^*$ ) foi 13,31% superior ao reportado para a luminosidade do miolo ( $L^*$ ) dos pães de queijo FSE, o qual foi observado também por Esteller et al., (2005) em pães de hambúrguer com adição de altos teores de povidexose.

#### **5.2.5.2 Saturação do miolo (C\*)**

Os pães de queijo FCE e FSE apresentam valores de saturação do miolo (C\*) próximos aos reportados no Capítulo 2 para pães de queijo com o mesmo teor de fécula de mandioca, polvilho azedo e isolado protéico de soja, mas com 2,55% de povidexrose.

O aumento do teor de povidexrose nos pães de queijo conduziu também ao aumento da saturação do miolo (C\*), como observado nos pães de queijo FCE e FSE.

#### **5.2.5.3 Ângulo de tonalidade do miolo (h)**

O ângulo de tonalidade do miolo (h) obtido para os pães de queijo FCE e FSE foi de 87.04° e 85.18°, os quais se localizam no primeiro quadrante do diagrama da cor da Figura 4.7. O ângulo de tonalidade obtido para o miolo dos pães de queijo mostra que devido às mudanças estruturais das proteínas, assim como a formação de complexo amido-lipídios e proteína-hidrocolóides, o ângulo de tonalidade aumentou, tornando-o mais amarelo.

### **5.3 Análises físico-químicas dos pães de queijo**

#### **5.3.1 Composição centesimal**

A composição centesimal, em base seca, para os pães de queijo FCE e FSE, são apresentados na Tabela 4.10.

**Tabela 4.10 Valores médios de umidade, lipídios, proteína bruta, resíduo mineral fixo e carboidratos para pães de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| Constituintes         | Pães de queijo<br>FCE     | Pães de queijo<br>FSE     |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Umidade               | 29,80 ± 0,93 <sup>a</sup> | 29,53 ± 1,26 <sup>a</sup> |
| Lipídios*             | 31,21 ± 0,56 <sup>a</sup> | 28,24 ± 0,35 <sup>b</sup> |
| Proteína bruta*       | 8,45 ± 0,29 <sup>a</sup>  | 7,81 ± 0,18 <sup>b</sup>  |
| Resíduo mineral fixo* | 1,90 ± 0,06 <sup>b</sup>  | 3,64 ± 0,04 <sup>a</sup>  |
| Carboidratos*         | 58,43 ± 0,90 <sup>b</sup> | 60,30 ± 1,21 <sup>a</sup> |

\*Cálculo em base seca. Valores com a mesma letra na mesma linha não apresentam diferença significativa entre si a ( $p \leq 0,05$ ), pelo teste de Tukey. O teor de carboidratos foi calculado por diferença.

### (i) Lipídios

O conteúdo de lipídios para os pães de queijo FCE e FSE apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Os pães de queijo FCE e FSE apresentaram teores médios de lipídios de 48,29% e 47,13% maiores, respectivamente que os reportados por Pereira (2001) para pães de queijo consumidos em Belo Horizonte elaborados com polvilho doce e/ou azedo.

Nas formulações de pão de queijo FCE e FSE, 63,46% dos ingredientes possuem matéria graxa correspondendo ao leite, óleo de soja, margarina, ovo e queijo Minas meia cura, sendo, este valor superior ao presente na formulação de queijo estudada por Pereira (2001).

Em 1997, Jesús estudou a influência do teor de óleo na qualidade sensorial do pão de queijo, observando que teores de 15 a 20% conferem melhor aceitação quanto à aparência e ao sabor em relação aos pães de queijo elaborados com teores entre 5 e 10%. Este resultado evidencia que a incorporação de 15 a 20% de óleo, produz pães de queijo de alta aceitação, como observado nos pães de queijo estudados nos Capítulos 1 e 2.

O teor total de lipídio encontrado nos pães de queijo FCE e FSE não teve participação significativa das matérias-primas secas adicionadas (fécula de mandioca, polvilho azedo, fécula de mandioca pré-gelatinizada, isolado protéico de soja e povidexrose), pois na fécula de mandioca e o polvilho azedo, seu conteúdo varia apenas de 0,06% a 0,08% (FRANCO et al, 2001), o isolado protéico de soja possui ao redor de 0,08% (HUA et al., 2005), dos quais, segundo a composição de ácidos graxos reportada por Solina et al. (2005), 24,9% são saturados; 14,8% monoinsaturados e 47,8% polinsaturados. A povidexrose, pelo fato de ser considerada fibra solúvel, possui valor calórico reduzido de 1kcal/g, chegando a ser considerada como um substituto de gordura em pães tipo hambúrguer (ESTELLER et al., 2005).

#### **(ii) Proteína bruta**

Os valores médios de proteína para as formulações de pão de queijo FCE e FSE foram 32,77% e 32,35% menores, respectivamente que os reportados por Pereira (2001) para pães de queijo elaborados com polvilho doce e polvilho azedo.

O valor protéico dos pães de queijo deve-se à proteína fornecida pelo ovo, a qual não apresenta mudanças na temperatura de desnaturação devido à incorporação de povidexrose, (ROSENTHAL, 1995, citado por HICSASMAZ et al., 2003), leite integral, queijo minas meia cura e o isolado protéico de soja. As outras matérias-primas fornecem um aporte protéico muito baixo de 0,289%, 0,432% e isento, para a fécula de mandioca, o polvilho azedo e a povidexrose.

**(iii) Resíduo mineral fixo**

O resíduo mineral fixo reportado para os pães de queijo FCE e FSE foi 54,33% e 10,79% inferiores aos reportados por Pereira (2001) para pães de queijo elaborados com polvilho doce e polvilho azedo.

**(iv) Carboidratos**

O teor de carboidratos foi calculado por diferença, sendo que para a formulação FCE e FSE, os resultados obtidos ficaram próximos aos reportados (59,05% a 71,67%) por Jesus (1997) para três marcas diferentes de pães de queijo comercializados em Belo Horizonte.

**(v) Umidade**

Os valores reportados pelas formulações FCE e FSE ficaram próximos aos determinados (23,07% a 32,18%) por Jésus (1997) para pães de queijo comercializados em Belo Horizonte, mas inferiores aos apresentados por Pereira (2001) para pães de queijo elaborados com polvilho azedo e doce (38,73% e 37,91%, respectivamente).

#### 5.4 Análise de preferência por comparação pareada

Os resultados obtidos na análise de preferência por comparação pareada dos pães de queijo FCE e FSE são apresentados na Tabela 4.11.

**Tabela 4.11 Resultados da análise de preferência por comparação pareada para os pães de queijo FCE e FSE.**

| Pães de queijo | % de preferência dos provadores |
|----------------|---------------------------------|
| FCE            | 50,0%                           |
| FSE            | 50,0%                           |

A análise de preferência por comparação pareada mostrou que não existiu diferença entre os dois pães de queijo, FCE e FSE, pois quinze dos trinta provadores que participaram da análise sensorial escolheram o pão de queijo FCE, e os quinze restantes preferiram o pão de queijo FSE.

Este resultado é importante, pois uma das etapas mais importantes na elaboração do produto, o escaldamento da fécula de mandioca e/ou polvilho doce/azedo utilizado, pode ser eliminada, reduzindo o tempo de processo.

Portanto, a adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada, elimina a etapa de escaldamento, conseqüentemente, também a etapa de resfriamento da massa escaldada, reduzindo o tempo de processo em aproximadamente 25 minutos.

Outro fato interessante é que este resultado do teste de preferência evidenciou que ainda se mantém uns dos maiores problemas, até hoje não solucionados no mercado de pão de queijo, ou seja, a inexistência de legislação na padronização de ingredientes e processo de elaboração do produto. O problema deve-se à utilização de diferentes tipos de amido, tipos de queijo, entre outros, ou pelo fato de cada pessoa ter um conceito próprio de qualidade de pão de queijo, possivelmente pela associação realizada com os pães de queijo vendidos comercialmente.

Pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca, ou 100% de polvilho doce e/ou azedo, apresentam características físico-químicas e sensoriais diferentes como descrito por Jésus (1997), Pereira (2001), Machado (2003), Canavesi et al. (1997, 2000), Pereira (1998), e Minim et al., (2000), nos estudos sobre a influência do tipo de fécula de mandioca na qualidade físico-química, no perfil sensorial e aceitabilidade de diferentes formulações de pão de queijo.

Os pães de queijo FCE e FSE apresentaram também estas diferenças nas propriedades físico-químicas, reológicas e sensoriais, sendo uma delas a alteração do miolo, que apresentou um aspecto gelatinoso em comparação ao miolo de pães de queijo elaborados sem a adição dos ingredientes funcionais, sendo que a interação entre as proteínas do isolado protéico de soja e a polidextrose, aumenta as propriedades de gelificação como observado na textura dos pães de queijo (ORTIZ et al., 2004).

Solina et al. (2005) reportaram que o isolado protéico de soja apresenta aroma que lembra o feijão verde, possuindo 33 compostos voláteis devido à quantidade de ácidos graxos livres, os quais são derivados da degradação lipídica, incluindo aldeídos alifáticos, cetonas, álcoois e compostos adicionais, como o benzaldeído e 2-pentilfurano.

A incorporação de isolado protéico de soja e polidextrose ao pão de queijo não foi detectado pelos provadores, já que a maioria deles comentou que os pães de queijo pareciam não apresentar estes produtos, já que o aroma e o sabor dos pães de queijo não foram alterados. Isso é importante, pois hoje em dia, os tecnólogos de alimentos buscam desenvolver produtos funcionais que beneficiem a saúde do consumidor sem comprometer, no entanto, a aceitação do consumidor.



## CONCLUSÕES

O perfil reológico das massas de pão de queijo obtido no farinógrafo Brabender mostrou que a massa FCE apresentou maiores valores de consistência durante o tempo de mistura em relação à massa FSE, sendo que a incorporação de fécula de mandioca pré-gelatinizada não modificou a consistência obtida em massas de pão de queijo elaboradas com polvilho azedo.

Após a etapa de incorporação do ovo e o queijo Minas meia cura, a consistência final das massas ficou similar.

Os pães de queijo FCE e FSE apresentaram diferenças significativas nas suas propriedades físico-químicas e reológicas, principalmente no coeficiente de expansão, sendo que os pães de queijo FCE apresentaram uma expansão de 50% inferior aos pães de queijo FSE, mostrando o poder de expansão fornecido pelo polvilho azedo em relação à fécula de mandioca.

Os pães de queijo FCE e FSE não apresentaram diferença significativa na análise de preferência por comparação pareada, sendo ambos aceitos com o mesmo score (50%) por parte dos provadores, evidenciando que os pães de queijo elaborados com 100% de fécula de mandioca e alto teor de povidexose (6,04%) apresentam a mesma aceitação que pães de queijo elaborados com 100% de polvilho azedo, baixo teor de povidexose (1,03%) e adicionados de fécula de mandioca pré-gelatinizada (processo sem escaldamento).

A incorporação do isolado protéico de soja e povidexrose nos pães de queijo FCE e FSE não influenciou na aceitação sensorial por parte dos provadores, sendo que a maioria deles reportou que não foi possível detectar estes ingredientes funcionais, considerando os pães de queijo semelhantes aos encontrados no mercado nacional, o que possibilita a elaboração de pães de queijo com altos teores de fibra solúvel, sem comprometer a sua aceitação sensorial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC – Association of Official Analytical Chemists **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 16<sup>a</sup> ed., 3 rev. Gaithersburg: AOAC International, 1997.

BERTOLINI, A.C.; MESTRES, C.; LOUDIN, D.; VALLE, G.D.; COLONNA, P. **Relationship between thermomechanical properties and baking expansion of sour cassava starch (Polvilho azedo)**. Journal of Science and Food Agricultural, v.81, p. 429-435. 2001.

CANAVESI, E.; PIROZI, M.R.; MACHADO, P.T.; MINIM, V.P.R.; **Efeito da concentração dos ingredientes nas características físico-químicas do pão de queijo**. In. II Simpósio Latino Americano de Ciências de Alimentos. **Resumos....** Campinas: Universidade Estadual de Campinas 1997. p.39.

CLARETO, S.S. **Influência da formulação e da adição de substitutos de gordura na qualidade de pão de queijo**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

COMAS, D.I.; WAGNER, J.R.; TOMÁS, M.C. **Creaming stability of oil in water (O/W) emulsions: Influence of pH on soybean protein-lecithin interaction**. Food Hydrocolloids, no prelo. 2005.

ESTELLER, M.S.; DE LIMA, A.C.O.; LANNES, S.C. da S. **Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers**. Lebensm.-Wiss U. Technology, no prelo. 2005.

ESTELLER, M.S. **Fabricação de pães com reduzido teor de calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade de São Paulo, USP, 2004.

FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais de amido**, v.1, Fundação Cargill. 224p. 2001

GRISWOLD, R.M. Estudo experimental dos alimentos. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1972. 469p. PEREIRA, S.G.I. **Avaliação química e sensorial de pão de queijo enriquecido com folhas de cenoura.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, 2002.

HUA, Y.; HUANG, Y.; QIU, A.; LIU, X. **Protein of soy isolate prepared from aqueous alcohol washed soy flakes.** Food Research International, v.38, p. 273-279. 2005.

JESUS, C.C. de. **Contribuição para a caracterização físico-química e sensorial do pão de queijo.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Faculdade de Farmácia, Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte 1997.

MACHADO, A.V. **Efeito do escaldamento nas propriedades tecnológicas da massa e do pão de queijo.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Lavras, 2003.

MARTINS, V.B.; NETTO, F.M. **Physicochemical and functional properties of soy protein isolate as a function of water activity and storage.** Food Research International, v.39, p. 145-153. 2006.

MESTRES, C.; ROUAU, X. **Influence of natural fermentation and drying conditions on the physicochemical characteristics of cassava starch.** Journal of Science of Food and Agricultural, v.74, p. 147-155. 1997.

MINIM, V.P.R.; MACHADO, P.T.; CANAVESI, E.; PIROZI, M.R. **Perfil sensorial e aceitabilidade de diferentes formulações de pão de queijo.** Ciencia e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.20, n.2, p. 154-159, maio/ago. 2000.

MINOLTA. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. MINOLTA Co. Ltd., 1994, 49p.

MITCHEL, H.L. **The role of the bulking agent polydextrose in fat replacement,** p. 235-238. 1996. In. ROLLER, S.; JONES, S.A. **Handbook of fat replacers.** Boca Raton: CRC. 1996. 325p.

MOHAMED, A.A.; RAYAS-DUARTE, P.; SHOGREN, R.L.; SESSA, D.J. **Low carbohydrates bread: Formulation, processing and sensory quality.** Food Chemistry, no prelo. 2006.

ORTIZ, S.E.M.; PUPPO, M.C.; WAGNER, J.R. **Relationship between structural changes and functional properties of soy protein isolates – carrageenan systems.** Food Hydrocolloids, v.18, p. 1045-1053, 2004.

PEREIRA, J. **Caracterização química, física, estrutural e sensorial do pão de queijo.** Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras. 2001.

PEREIRA, A.J.G. **Fatores que afetam a qualidade do pão de queijo.** Belo Horizonte: CETEC, 1998. 52p.

PEREIRA, A.J.G.; JESUS, C.C. de; FERREIRA, F.L.; LABODSIERE, L.H.E.S.; ROCHA, R de C.F.; JOKI, L. **Caracterização física e química de pão-de-queijo assado comercializado em Belo Horizonte**, Minas Gerais. In. Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos. **Resumos.....**Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1999. p.25.

ROSENTHAL, J.A. **Application of aged egg in enabling increased substitution of sucrose by Litesse (polydextrose) in high-ratio cake**. Journal of Science of Food and Agricultural, v.68, p. 127-131. 1995. In. HICSASMAZ, Z.; YAZGAN, Y.; BOZOGLU, F.; KATNAS, Z. **Effect of poludextrose-substitution on the cell structure of the high-ratio cake system**. Lebensm.-Wiss U. Technology, v.36, p. 441-450. 2003.

SAHNI, S.K.; KRISHNAMURTHY, K. **Development of high protein bread. Part I. Groundnut flour and ground nut protein isolate utilisation**. Journal of Food Science and Technology, v.12, p. 283-289. 1975. In. MOHAMED, A.A.; RAYAS-DUARTE, P.; SHOGREN, R.L.; SESSA, D.J. **Low carbohydrates bread: Formulation, processing and sensory quality**. Food Chemistry, in prelo. 2006.

SINGH, M.; MOHAMED, A. **Influence of gluten-soy protein blends on the quality of reduced carbohydrates cookies**. Food Science and Technology, in prelo. 2005.

SOLINA, M.; BAUMGARTNER, P.; JOHNSON, R.L.; WHITFIELD, F.B. **Volatile aroma components of soy protein isolate and acid-hydrolysed protein**. Food Chemistry, v.90, p. 861-873. 2005.

STATISTICA for Windows – Release 5.0. **StatSoft, Inc.** Tulsa, OK, EUA. 1995

## **CONCLUSÕES GERAIS**

As massas de pão de queijo analisadas no farinógrafo Brabender e elaboradas com teores acima de 70% de fécula de mandioca apresentaram maiores consistências após a etapa de escaldamento comparado com as massas elaboradas com os mesmos teores de polvilho azedo.

Os pães de queijo elaborados com teores acima de 50% de polvilho azedo apresentaram os maiores volumes específicos e coeficientes de expansão comparados com os produtos elaborados com teores acima de 70% de fécula de mandioca.

Os pães de queijo elaborados com fécula de mandioca e polvilho azedo na proporção de 50/50% apresentaram menor dureza da crosta que os preparados com 100% de fécula de mandioca, evidenciando o poder de expansão fornecido pelo polvilho azedo para melhorar a maciez do pão de queijo.

A adição de povidexose e isolado protéico de soja nas concentrações estudadas (0,00 a 5,07%) e (0,00 a 10,54%), respectivamente, no pão de queijo provocou um aumento na saturação ( $C^*$ ) e uma diminuição no ângulo de tonalidade ( $h$ ) da crosta, comparados aos pães de queijo sem estes ingredientes, ou seja, os produtos apresentaram-se mais saturados e com uma tonalidade vermelho-amarela.

Sensorialmente, os pães de queijo com os diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo estudados, não apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) para os atributos: aparência geral, aroma, textura e sabor, sendo possível a utilização de ambas matérias-primas na confecção deste produto.

Os pães de queijo elaborados com diferentes teores de polvilho azedo, isolado protéico de soja e povidexrose e adicionados de fécula de mandioca pré-gelatinizada apresentaram menor dureza da crosta comparados aos pães de queijo sem a adição da fécula de mandioca pré-gelatinizada, evidenciando que a eliminação do processo de escaldamento melhora a maciez dos pães de queijo.

Os pães de queijo elaborados com 100% de polvilho azedo, baixos teores de povidexrose (1,03%) e teores médios de isolado protéico de soja (5,50%) apresentaram maior coeficiente de expansão comparado ao produto formulado sem os ingredientes funcionais.

A incorporação de isolado protéico de soja (5,50%) e povidexrose (1,03 e 6,04%) nas duas formulações de pão de queijo (FSE e FCE) não provocaram alterações na preferência sensorial por parte dos consumidores, sendo viável a sua produção e apresentando ótima aceitação.

***APÊNDICE***

---



## **APÊNDICE 1**

---

***Ficha sensorial para escolha da formulação de pão de queijo com diferentes teores de fécula de mandioca e polvilho azedo.***



Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Departamento de Tecnologia de Alimentos  
Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos

Idade: \_\_\_\_\_

## FICHA SENSORIAL DE AVALIAÇÃO DE PÃO DE QUEIJO

AMOSTRA: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra codificada de pão de queijo de 23 g. Por favor, avalie os seguintes atributos, e utilizando a escala abaixo indique o quanto você gostou ou desgostou do produto.

- 7 gostei muito
- 6 gostei moderadamente
- 5 gostei pouco
- 4 nem gostei / nem desgostei
- 3 desgostei pouco
- 2 desgostei moderadamente
- 1 desgostei muito

APARÊNCIA GERAL

Comentários

---

---

AROMA

Comentários

---

---

TEXTURA

Comentários

---

---

SABOR

Comentários

---

---

Muito Obrigado!



## **APÊNDICE 2**

---

***Ficha sensorial para escolha da formulação de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose com e sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.***



Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Departamento de Tecnologia de Alimentos  
Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos

Idade: \_\_\_\_\_

## FICHA SENSORIAL DE AVALIAÇÃO DE PÃO DE QUEIJO

AMOSTRA: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra codificada de pão de queijo com isolado protéico de soja e povidexrose de 23 g. Por favor, avalie os seguintes atributos, e utilizando a escala abaixo indique o quanto você gostou ou desgostou do produto.

- 7 gostei muito
- 6 gostei moderadamente
- 5 gostei pouco
- 4 nem gostei / nem desgostei
- 3 desgostei pouco
- 2 desgostei moderadamente
- 1 desgostei muito

APARÊNCIA GERAL

Comentários

---

---

AROMA

Comentários

---

---

TEXTURA

Comentários

---

---

SABOR

Comentários

---

---

Muito Obrigado!



### **APÊNDICE 3**

---

***Coeficientes de regressão, erros padrão, valores de t, p e análises de variância para a cor para pães de queijo com diferentes teores de polvilho azedo, isolado protéico de soja e polidextrose***



**Tabela A.1 Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a luminosidade (L\*) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

|                    | <b>Coeficientes<br/>Regressão</b> | <b>Erro<br/>puro</b> | <b>t(3)</b> | <b>p - valor</b> |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------|------------------|
| Média*             | 76,14740                          | 0,95167              | 80,01414    | 0,00000          |
| P_AZEDO (L)        | -0,29316                          | 0,51580              | -0,56835    | 0,60955          |
| P_AZEDO (Q)        | -0,32988                          | 0,53595              | -0,61549    | 0,58177          |
| ISOLADO (L)        | -0,26380                          | 0,51580              | -0,51145    | 0,64430          |
| ISOLADO (Q)        | -0,72586                          | 0,53595              | -1,35433    | 0,26861          |
| POLIDEXT(L)        | 0,56445                           | 0,51580              | 1,09432     | 0,35381          |
| POLIDEXT(Q)        | -0,38114                          | 0,53595              | -0,71115    | 0,52830          |
| P_AZEDO x ISOLADO  | -0,92000                          | 0,67393              | -1,36514    | 0,26557          |
| P_AZEDO x POLIDEXT | 0,72000                           | 0,67393              | 1,06837     | 0,36369          |
| ISOLADO x POLIDEXT | -0,83500                          | 0,67393              | -1,23901    | 0,30344          |

**Tabela A.2 Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a luminosidade (L\*) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

|                    | <b>Coeficientes<br/>Regressão</b> | <b>Erro<br/>puro</b> | <b>t(3)</b> | <b>p</b> |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------|----------|
| Média*             | 74,40172                          | 1,70922              | 43,52951    | 0,00003  |
| P_AZEDO (L)        | -0,37617                          | 0,92639              | -0,40606    | 0,71193  |
| P_AZEDO (Q)        | 0,29424                           | 0,96258              | 0,30568     | 0,77983  |
| ISOLADO (L)        | -0,40885                          | 0,92639              | -0,44134    | 0,68884  |
| ISOLADO (Q)        | -0,79471                          | 0,96258              | -0,82560    | 0,46956  |
| POLIDEXT(L)        | 0,20968                           | 0,92639              | 0,22635     | 0,83548  |
| POLIDEXT(Q)        | 0,13867                           | 0,96258              | 0,14406     | 0,89458  |
| P_AZEDO x ISOLADO  | -2,10625                          | 1,21038              | -1,74015    | 0,18021  |
| P_AZEDO x POLIDEXT | 0,04125                           | 1,21038              | 0,03408     | 0,97495  |
| ISOLADO x POLIDEXT | 0,85625                           | 1,21038              | 0,70742     | 0,53031  |

**Tabela A.3 Análise de variância para a luminosidade (L\*) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| <b>Fontes de<br/>variação</b> | <b>SQ</b> | <b>GL</b> | <b>MQ</b> | <b>Fcal</b> | <b>p</b> |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|----------|
| <b>Regressão</b>              | 30,59079  | 9         | 3,3990    | 0,754993    | 0,65956  |
| <b>Residuo</b>                | 36,01597  | 8         | 4,5020    |             |          |
| <b>Total</b>                  | 66,60676  | 17        |           |             |          |

**Tabela A.4 Análise de variância para a luminosidade (L\*) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| Fontes de variação | SQ        | GL | MQ     | Fcal     | p        |
|--------------------|-----------|----|--------|----------|----------|
| Regressão          | 57,67376  | 9  | 6,4082 | 0,926093 | 0,548645 |
| Resíduo            | 55,35680  | 8  | 6,9196 |          |          |
| Total              | 113,03056 | 17 |        |          |          |

**Tabela A.5 Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a saturação (C\*) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

|                    | Coeficiente Regressão | Erro puro | t(3)     | p - valor |
|--------------------|-----------------------|-----------|----------|-----------|
| Média*             | 31,39009              | 0,32259   | 97,30540 | 0,00000   |
| P_AZEDO (L)*       | -0,55000              | 0,17484   | -3,14569 | 0,05144   |
| P_AZEDO (Q)        | 0,24419               | 0,18167   | 1,34413  | 0,27151   |
| ISOLADO (L)*       | 0,65092               | 0,17484   | 3,72289  | 0,03374   |
| ISOLADO (Q)*       | 0,55532               | 0,18167   | 3,05668  | 0,05514   |
| POLIDEXT(L)        | -0,14468              | 0,17484   | -0,82748 | 0,46864   |
| POLIDEXT(Q)*       | 0,87352               | 0,18167   | 4,80816  | 0,01713   |
| P_AZEDO x ISOLADO  | -0,26875              | 0,22844   | -1,17644 | 0,32427   |
| P_AZEDO x POLIDEXT | -0,60125              | 0,22844   | -2,63194 | 0,07819   |
| ISOLADO x POLIDEXT | -0,37875              | 0,22844   | -1,65796 | 0,19591   |

**Tabela A.6 Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a saturação (C\*) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

|                    | Coeficiente Regressão | Erro puro | t(3)     | p - valor |
|--------------------|-----------------------|-----------|----------|-----------|
| Média*             | 32,41338              | 0,81950   | 39,55265 | 0,00004   |
| P_AZEDO (L)        | -0,04397              | 0,44416   | -0,09899 | 0,92739   |
| P_AZEDO (Q)        | -0,54599              | 0,46152   | -1,18303 | 0,32201   |
| ISOLADO (L)*       | 1,87158               | 0,44416   | 4,21373  | 0,02442   |
| ISOLADO (Q)        | -0,05278              | 0,46152   | -0,11436 | 0,91618   |
| POLIDEXT(L)        | 0,59541               | 0,44416   | 1,34052  | 0,27255   |
| POLIDEXT(Q)        | -0,75812              | 0,46152   | -1,64267 | 0,19899   |
| P_AZEDO x ISOLADO  | 0,43500               | 0,58033   | 0,74958  | 0,50793   |
| P_AZEDO x POLIDEXT | 1,10250               | 0,58033   | 1,89979  | 0,15366   |
| ISOLADO x POLIDEXT | -1,07250              | 0,58033   | -1,84810 | 0,16173   |

**Tabela A.7** Análise de variância para a saturação (C\*) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

| Fontes de variação | SQ       | GL | MQ     | Fcal     | p        |
|--------------------|----------|----|--------|----------|----------|
| Regressão          | 26,30732 | 9  | 2,9230 | 1,105746 | 0,448995 |
| Residuo            | 21,14798 | 8  | 2,6435 |          |          |
| Total              | 47,45529 | 17 |        |          |          |

**Tabela A.8** Análise de variância para a saturação (C\*) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

| Fontes de variação | SQ        | GL | MQ     | Fcal    | p        |
|--------------------|-----------|----|--------|---------|----------|
| Regressão          | 82,80713  | 9  | 9,2008 | 1,65699 | 0,244179 |
| Residuo            | 44,42170  | 8  | 5,5527 |         |          |
| Total              | 127,22883 | 17 |        |         |          |

**Tabela A.9** Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para o ângulo de tonalidade (h) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

|                    | Coeficientes<br>Regressão | Erro<br>puro | t(3)      | p - valor |
|--------------------|---------------------------|--------------|-----------|-----------|
| Média*             | 78,65103                  | 0,57534      | 136,70376 | 0,00000   |
| P_AZEDO (L)        | -0,42096                  | 0,31183      | -1,34998  | 0,26985   |
| P_AZEDO (Q)        | -0,04643                  | 0,32401      | -0,14328  | 0,89515   |
| ISOLADO (L)        | 0,16598                   | 0,31183      | 0,53227   | 0,63144   |
| ISOLADO (Q)        | -0,71287                  | 0,32401      | -2,20015  | 0,11516   |
| POLIDEXT(L)        | 0,86496                   | 0,31183      | 2,77383   | 0,06935   |
| POLIDEXT(Q)        | -0,65454                  | 0,32401      | -2,02010  | 0,13664   |
| P_AZEDO x ISOLADO  | -0,33375                  | 0,40742      | -0,81917  | 0,47271   |
| P_AZEDO x POLIDEXT | 0,64625                   | 0,40742      | 1,58618   | 0,21089   |
| ISOLADO x POLIDEXT | -1,11875                  | 0,40742      | -2,74591  | 0,07099   |

**Tabela A.10 Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para o ângulo de tonalidade (h) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

|                           | <b>Coeficientes<br/>Regressão</b> | <b>Erro<br/>puro</b> | <b>t(3)</b> | <b>p - valor</b> |
|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------|------------------|
| <b>Média*</b>             | 77,19191                          | 1,76793              | 43,66234    | 0,00003          |
| <b>P_AZEDO (L)</b>        | -0,20549                          | 0,95820              | -0,21445    | 0,84394          |
| <b>P_AZEDO (Q)</b>        | 0,00548                           | 0,99564              | 0,00550     | 0,99595          |
| <b>ISOLADO (L)</b>        | -0,61338                          | 0,95820              | -0,64013    | 0,56762          |
| <b>ISOLADO (Q)</b>        | -0,90138                          | 0,99564              | -0,90533    | 0,43203          |
| <b>POLIDEXT(L)</b>        | -0,14155                          | 0,95820              | -0,14773    | 0,89193          |
| <b>POLIDEXT(Q)</b>        | 0,47747                           | 0,99564              | 0,47956     | 0,66433          |
| <b>P_AZEDO x ISOLADO</b>  | -2,10375                          | 1,25195              | -1,68037    | 0,19148          |
| <b>P_AZEDO x POLIDEXT</b> | -0,06625                          | 1,25195              | -0,05292    | 0,96112          |
| <b>ISOLADO x POLIDEXT</b> | 0,02625                           | 1,25195              | 0,02097     | 0,98459          |

**Tabela A.11 Análise de variância para o ângulo de tonalidade (h) da crosta de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| <b>Fontes de<br/>variação</b> | <b>SQ</b> | <b>GL</b> | <b>MQ</b> | <b>Fcal</b> | <b>p</b> |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|----------|
| <b>Regressão</b>              | 37,55832  | 9         | 4,1731    | 0,874133    | 0,580801 |
| <b>Resíduo</b>                | 38,19233  | 8         | 4,7740    |             |          |
| <b>Total</b>                  | 75,75065  | 17        |           |             |          |

**Tabela A.12 Análise de variância para o ângulo de tonalidade (h) da crosta de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| <b>Fontes de<br/>variação</b> | <b>SQ</b> | <b>GL</b> | <b>MQ</b> | <b>Fcal</b> | <b>p</b> |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|----------|
| <b>Regressão</b>              | 57,66976  | 9         | 6,4078    | 0,920474    | 0,552053 |
| <b>Resíduo</b>                | 55,69088  | 8         | 6,9614    |             |          |
| <b>Total</b>                  | 113,36064 | 17        |           |             |          |

**Tabela A.13 Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a luminosidade (L\*) do miolo de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

|                     | Coeficientes<br>Regressão | Erro<br>puro | t(3)      | p - valor |
|---------------------|---------------------------|--------------|-----------|-----------|
| Média*              | 64,65131                  | 0,44135      | 146,48405 | 0,00000   |
| P_AZEDO (L)*        | -0,85903                  | 0,23921      | -3,59110  | 0,03699   |
| P_AZEDO (Q)         | -0,08484                  | 0,24856      | -0,34132  | 0,75537   |
| ISOLADO (L)*        | 0,93443                   | 0,23921      | 3,90630   | 0,02980   |
| ISOLADO (Q)         | -0,46844                  | 0,24856      | -1,88465  | 0,15598   |
| POLIDEXT(L)         | 0,30797                   | 0,23921      | 1,28745   | 0,28827   |
| POLIDEXT(Q)         | 0,25281                   | 0,24856      | 1,01710   | 0,38399   |
| P_AZEDO x ISOLADO*  | -1,68000                  | 0,31254      | -5,37525  | 0,01261   |
| P_AZEDO x POLIDEXT  | 0,02750                   | 0,31254      | 0,08799   | 0,93543   |
| ISOLADO x POLIDEXT* | -1,20000                  | 0,31254      | -3,83947  | 0,03116   |

**Tabela A.14 Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a luminosidade (L\*) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

|                    | Coeficientes<br>Regressão | Erro<br>puro | t(3)      | p - valor |
|--------------------|---------------------------|--------------|-----------|-----------|
| Média*             | 61,39807                  | 0,31923      | 192,33320 | 0,00000   |
| P_AZEDO (L)*       | -0,71919                  | 0,17302      | -4,15670  | 0,02532   |
| P_AZEDO (Q)        | 0,42574                   | 0,17978      | 2,36815   | 0,09867   |
| ISOLADO (L)*       | 1,24256                   | 0,17302      | 7,18163   | 0,00556   |
| ISOLADO (Q)        | -0,31495                  | 0,17978      | -1,75189  | 0,17809   |
| POLIDEXT(L)*       | 0,71023                   | 0,17302      | 4,10495   | 0,02617   |
| POLIDEXT(Q)*       | -1,37208                  | 0,17978      | -7,63204  | 0,00467   |
| P_AZEDO x ISOLADO  | 0,19125                   | 0,22606      | 0,84601   | 0,45969   |
| P_AZEDO x POLIDEXT | 0,20375                   | 0,22606      | 0,90131   | 0,43385   |
| ISOLADO x POLIDEXT | -0,60875                  | 0,22606      | -2,69287  | 0,07423   |

**Tabela A.15 Análise de variância para a luminosidade (L\*) do miolo de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| Fontes de<br>variação | SQ       | GL | MQ     | Fcal     | p        |
|-----------------------|----------|----|--------|----------|----------|
| Regressão             | 61,83837 | 9  | 6,8709 | 1,725994 | 0,226904 |
| Residuo               | 31,84683 | 8  | 3,9809 |          |          |
| Total                 | 93,68520 | 17 |        |          |          |

**Tabela A.16 Análise de variância para a luminosidade (L\*) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

| Fontes de variação | SQ        | GL | MQ     | Fcal     | p       |
|--------------------|-----------|----|--------|----------|---------|
| Regressão          | 69,47923  | 9  | 7,7199 | 1,593742 | 0,26135 |
| Resíduo            | 38,75114  | 8  | 4,8439 |          |         |
| Total              | 108,23038 | 17 |        |          |         |

**Tabela A.17 Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a saturação (C\*) do miolo de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

|                    | Coeficientes Regressão | Erro puro | t(3)     | p - valor |
|--------------------|------------------------|-----------|----------|-----------|
| Média*             | 28,34976               | 0,49581   | 57,17882 | 0,00001   |
| P_AZEDO (L)        | -0,69469               | 0,26872   | -2,58512 | 0,08142   |
| P_AZEDO (Q)        | 0,19309                | 0,27922   | 0,69151  | 0,53895   |
| ISOLADO (L)        | 0,68863                | 0,26872   | 2,56257  | 0,08303   |
| ISOLADO (Q)        | 0,05520                | 0,27922   | 0,19769  | 0,85592   |
| POLIDEXT(L)        | 0,16788                | 0,26872   | 0,62474  | 0,57643   |
| POLIDEXT(Q)        | -0,39735               | 0,27922   | -1,42305 | 0,24989   |
| P_AZEDO x ISOLADO  | -0,13750               | 0,35111   | -0,39162 | 0,72150   |
| P_AZEDO x POLIDEXT | -0,49000               | 0,35111   | -1,39559 | 0,25720   |
| ISOLADO x POLIDEXT | -0,82500               | 0,35111   | -2,34972 | 0,10033   |

**Tabela A.18 Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para a saturação (C\*) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.**

|                    | Coeficientes Regressão | Erro puro | t(3)     | p - valor |
|--------------------|------------------------|-----------|----------|-----------|
| Média*             | 26,10237               | 0,31246   | 83,53912 | 0,00000   |
| P_AZEDO (L)        | 0,05466                | 0,16935   | 0,32275  | 0,76807   |
| P_AZEDO (Q)*       | -1,14904               | 0,17597   | -6,52992 | 0,00730   |
| ISOLADO (L)*       | 1,38145                | 0,16935   | 8,15743  | 0,00385   |
| ISOLADO (Q)        | -0,17323               | 0,17597   | -0,98447 | 0,39748   |
| POLIDEXT(L)*       | -0,63155               | 0,16935   | -3,72928 | 0,03359   |
| POLIDEXT(Q)        | -0,08308               | 0,17597   | -0,47212 | 0,66906   |
| P_AZEDO x ISOLADO  | -0,43250               | 0,22127   | -1,95467 | 0,14561   |
| P_AZEDO x POLIDEXT | 0,11250                | 0,22127   | 0,50844  | 0,64618   |
| ISOLADO x POLIDEXT | -0,32750               | 0,22127   | -1,48012 | 0,23541   |

**Tabela A.19** Análise de variância para a saturação (C\*) do miolo de pães de queijo sem adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

| Fonte de variação | SQ       | GL | MQ     | Fcal     | p        |
|-------------------|----------|----|--------|----------|----------|
| Regressão         | 24,08774 | 9  | 2,6764 | 3,040578 | 0,066052 |
| Residuo           | 7,04186  | 8  | 0,8802 |          |          |
| Total             | 31,12960 | 17 |        |          |          |

**Tabela A.20** Análise de variância para a saturação (C\*) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

| Fonte de variação | SQ       | GL | MQ      | Fcal     | p        |
|-------------------|----------|----|---------|----------|----------|
| Regressão         | 48,15247 | 3  | 16,0508 | 10,14345 | 0,000824 |
| Residuo           | 22,15336 | 14 | 1,5824  |          |          |
| Total             | 70,30583 | 17 |         |          |          |

**Tabela A.21** Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valor de p para o ângulo de tonalidade (h) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

|                    | Coeficientes<br>Regressão | Erro<br>puro | t(3)      | p - valor |
|--------------------|---------------------------|--------------|-----------|-----------|
| Média*             | 85,18411                  | 0,42728      | 199,36333 | 0,00000   |
| P_AZEDO (L)        | -0,02976                  | 0,23158      | -0,12849  | 0,90589   |
| P_AZEDO (Q)*       | 0,85652                   | 0,24063      | 3,55946   | 0,03783   |
| ISOLADO (L)        | -0,45208                  | 0,23158      | -1,95215  | 0,14597   |
| ISOLADO (Q)        | -0,13520                  | 0,24063      | -0,56186  | 0,61345   |
| POLIDEXT(L)        | 0,23342                   | 0,23158      | 1,00792   | 0,38774   |
| POLIDEXT(Q)        | 0,10875                   | 0,24063      | 0,45194   | 0,68199   |
| P_AZEDO x ISOLADO  | -0,74500                  | 0,30258      | -2,46218  | 0,09069   |
| P_AZEDO x POLIDEXT | -0,08500                  | 0,30258      | -0,28092  | 0,79703   |
| ISOLADO x POLIDEXT | -0,41500                  | 0,30258      | -1,37155  | 0,26378   |

**Tabela A.22** Análise de variância para o ângulo de tonalidade (h) do miolo de pães de queijo com adição de fécula de mandioca pré-gelatinizada.

| Fontes de variação | SQ       | GL | MQ     | Fcal     | p        |
|--------------------|----------|----|--------|----------|----------|
| Regressão          | 20,01555 | 9  | 2,2240 | 2,457921 | 0,109907 |
| Residuo            | 7,23848  | 8  | 0,9048 |          |          |
| Total              | 27,25403 | 17 |        |          |          |



#### **APÊNDICE 4**

---

***Ficha sensorial de preferência para pães de queijo com  
isolado protéico de soja e polidextrose com e sem adição  
de fécula de mandioca pré-gelatinizada***



Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Departamento de Tecnologia de Alimentos  
Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos

Idade: \_\_\_\_\_

**FICHA SENSORIAL DE AVALIAÇÃO DE PÃO DE QUEIJO**

Você está recebendo duas amostras codificadas de pão de queijo com isolado protéico de soja e polidextrose de 23 g, por favor, avalie-as de esquerda para a direita e indique qual amostra você gostou mais.

**AMOSTRA P**

**AMOSTRA M**

**Comentários**

---

---

**Muito Obrigado !**



