

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PROCESSAMENTO DE PIRAÍBA (*Brachyplatystoma  
filamentosum*): DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA, DEFUMAÇÃO  
E SECAGEM**

**CARMELITA DE FÁTIMA AMARAL RIBEIRO**

CAMPINAS  
AGOSTO DE 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PROCESSAMENTO DE PIRAÍBA (*Brachyplatystoma  
Filamentosum*): DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA, DEFUMAÇÃO  
E SECAGEM**

Tese de doutorado submetida à banca  
examinadora para obtenção do título de doutor  
em Engenharia Agrícola, na área de  
concentração em Tecnologia Pós-colheita.

**CARMELITA DE FÁTIMA AMARAL RIBEIRO**

**Orientador: Prof. Dr. Kil Jin Park**

**Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Miriam Dupas Hubinger**

CAMPINAS  
AGOSTO DE 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

R354p      Ribeiro, Carmelita de Fátima Amaral  
              Processamento de Piraíba (*Brachyplatystoma*  
              *Filamentosum*): desidratação osmótica, defumação e  
              secagem / Carmelita de Fátima Amaral Ribeiro. --  
              Campinas, SP: [s.n.], 2009.

              Orientadores: Kil Jin Park, Miriam Dupas Hubinger.  
              Tese de Doutorado - Universidade Estadual de  
              Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

              1. Peixe defumação. 2. Peixe tropical. 3.  
              Pimelodidae. 4. Peixe de água doce. 5. Alimentos -  
              Avaliação sensorial. I. Park, Kil Jin. II. Hubinger,  
              Miriam Dupas. III. Universidade Estadual de Campinas.  
              Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Título em Inglês: Processing of Piraíba (*Brachyplatystoma Filamentosum*):  
                          osmotic dehydration, smoking and drying

Palavras-chave em Inglês: Smoked fish, Tropical fish, Pimelodidae,  
  Freshwater fishes, Taste testing of food

Área de concentração: Tecnologia Pós-Colheita

Titulação: Doutorado em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Patrícia Moreira Azoubel, Elisabete Maria Macedo

  Viegas, Graziela Colato Antonio, João Domingos Biagi

Data da defesa: 21/08/2009

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da Tese de Doutorado defendida por Carmelita de Fátima Amaral Ribeiro, aprovada pela Comissão Julgadora em 21 de agosto de 2009, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



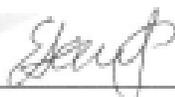
---

Prof. Dr. Kil Jin Park – Presidente e Orientador  
Feagri/Unicamp



---

Dr. Patricia Moreira Azoubel – Membro Titular  
Embrapa/CPATSA



---

Prof. Dr. Elisabete Maria Macedo Viegas – Membro Titular  
FZEA/USP



---

Dr. Graziela Colato Antonio – Membro Titular  
Feagri/Unicamp



---

Prof. Dr. João Domingos Biagi  
Feagri/Unicamp

## **DEDICO**

*Aos meus pais com muito amor e carinho, João Leônidas César Ribeiro (in memorian) e Maria de Nazaré Amaral Ribeiro como homenagem por todos os anos de dedicação, apoio, amor, honestidade e por toda coragem e garra que me foi repassa.*

*A minha querida tia Tereza com muito carinho.*

*Ao meu orientador Kil Jin Park pela orientação, amizade e confiança.*

*Aos meus familiares Graça, Natalina e Emerson pelo carinho e grande apoio. Em especial a minha irmã Suezilde Ribeiro, pela dedicação, apoio e grande incentivo na realização desse sonho.*

*Ao meu noivo Raykleison Moraes pelo amor, amizade, dedicação e por estar sempre presente nos momentos difíceis do doutorado.*

*Ao meu amigo André Cutrim Carvalho pelo carinho e apoio durante o doutorado. Ao meu eterno amigo Yvson Costa e Silva que foi um grande mestre da Engenharia Agrícola no país, minha grande inspiração no doutorado.*

## **AGRADECIMENTOS**

*A Deus e a Nossa Senhora da Conceição pela vida, fé e por mais esta graça alcançada.*

*Ao CNPQ pelo suporte financeiro que foi de fundamental importância na realização do doutorado.*

*A Faculdade de Engenharia Agrícola pela grande oportunidade de mostrar meu trabalho e pelo aprendizado.*

*Ao professor Dr. Kil Jin Park pela orientação, confiança, amizade, correções e indispensáveis contribuições a este trabalho.*

*A minha co-orientadora Miriam Dupas Hubinger pela co-orientação, incentivo e amizade.*

*Ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Confederação Nacional das Indústrias (CNI), Banco da Amazônia, Federações de Indústrias da região Norte e Grupo Bemol pelo grande incentivo e valorização ao trabalho de tese com o 1º lugar (categoria econômico-tecnológica) do Prêmio Professor Samuel Benchimol (2008). Meu desejo é que outras edições do prêmio sejam lançadas como incentivo a pesquisas em prol do desenvolvimento sustentável da Amazônia.*

*Ao professor Dr. Luiz Antonio Viotto da Faculdade de Engenharia de Alimentos pelo incentivo, amizade e contribuição com o Laboratório de medidas Físicas para realização dos primeiros experimentos.*

*Aos professores Drs. Armando Kazuo, Daniella Moura, Graziela Colato Antonio, João Biagi, Marlene Queiroz, Marcos David, Benedito C. Benedetti, Zigomar Menezes e Inácio M. Dal Fabbro da FEAGRI e Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elisabete M. M. Viegas (USP), Dr<sup>ª</sup> Patrícia Azoubel (Embrapa – Petrolina), Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Márcia Simões da UNIOESTE pelo apoio e confiança.*

*A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Oriana Trindade Almeida (IPAM / UFPA) pelo incentivo a pesquisa.*

*A aluna de PIBIC Erika Justo Marques e Michele (orientada do prof. Marcos David) pela amizade e colaboração nos experimentos.*

*Aos especialistas em inovações tecnológicas Guilherme e Antunes (FEEC), Dioniso Sampaio (UFPA-Bragança), SEBRAE-PA UN: BRAGANÇA (PA), Diego (Biologia-Unicamp), Professores da E. A. F. C-Castanhal, Pesquisadores da UFPA e UEPA que de alguma forma contribuíram com informações para sucesso do trabalho.*

*Aos professores da Universidade Federal Rural da Amazônia, Dr. Alfredo Kingo O. Homma, Dr. Paulo Roberto, Dr. Ítalo, Dr. Edir, Dr. Antônio C. de Santana e Dr. Eurico por incentivar seus alunos para a pós-graduação. Em especial agradeço ao Prof. Dr. Manuel M. Tourinho (na época Reitor) pelo grande incentivo e apoio aos ex-alunos na realização do mestrado. Ao amigo, Eng. Agrônomo Afonso, pela sua amizade e grande apoio nesse grande passo da minha vida profissional.*

*Aos professores da Universidade Federal de Campina Grande, Dr. Francisco de Assis C. Almeida e Josivanda P. G. de Gouveia.*

*A BKG Adicon/ICL Brasil LTda. de São Bernado do Campo (SP) pela doação do extrato de fumaça líquida de excelente qualidade para o desenvolvimento da pesquisa.*

*Ao meu noivo Raykleison Moraes que enfrentou a ladeira da Feagri, diversas vezes, para me acompanhar nos experimentos.*

*Agradeço a equipe de coordenação da pós-graduação (Ana Paula, Marta, Sidney, Suzi, Célia e Alexandre) e também a equipe da coordenação de graduação da FEAGRI.*

*A todos os meus amigos da Unicamp, em especial: Camilla, Rosa, Adélia, Conan, Daniel Gaiiski, Bebel, Ianglio, Rafael, Ana, Karla, Élson, Kelly, Michelle, Adriana, Márcia Atarassi,*

*Adriana, Nahum, Vânia, Vanessa, Juliana Sarubbi, Rivia, Stella, Adriana, Mara, Rosália, Vanessinha, Rony, Milla e Franciana.*

*Aos amigos que mesmo longe me apoiaram nesta caminhada, em especial: Vanessa Lanhellas, George Tavares, Daniel, Marcelo Pastana Ribeiro, Joana Cristina, Carol, Cléa, Silvia, Ivan, Wladimir Miranda, Raulan, Leo, Socorro, Íris Lettiere, Bruna, Joselio, Tonta Castro, Max, Engel, Vilma Lima, Clecinho, Adriano, Aline Freitas, Jack, Iracema, Paulo Ricardo, Paulo Roberto, Paulo Acará, Ellen, Nazaré Andrade, Mauro, Nazareno, Gracy e Kelly, Girlene, Wilma Ferreira, Gilvanete, Robson, Elsinho, Roberta, Diniz, Flavia e D. Regina.*

*Aos meus familiares Klicia, Luiza, Emerson e Duda, Mayke e Patrícia, Adriana, Fátima, Cris, Elaine e Felipe, Andréa, Nanda, Marquinho e Beli, Alex e Van, Paula e João, Tiago, Socorro, Nilma e Nilda, Patrícia, Meu irmão Ivan e Cleide, e a todos os meus tios e tias.*

*A comunidade paraense em Campinas: Aleixo e Vivi, Gisele, Aline, Montanha, Aldecir, Klivia, Castro, Diego, Diego-DIDI, Marquinho, Fernando Rigamonte, Rafael, Simony, Marcel.*

*Aos colegas André (informática), José Alencar, Terezinha, Laura e a todos da manutenção da FEAGRI e FEA pela colaboração.*

*Meus sinceros agradecimentos a Joyce e Ana da FEA e ao Setembrino da FEM pela colaboração.*

*Aos colegas de trabalho no Laboratório e incentivadores da pesquisa: Camilla Bucci (FEA) Rosa Helena, Rafael Augusto, Rosália e Chico da FEAGRI. Agradeço pelo ensinamento, treinamento e pela contribuição nos experimentos. São profissionais qualificados, que amam o que fazem, e sempre estão presentes (até nos momentos de dificuldade) e não devem ser esquecidos.*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xv
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	xviii
<b>RESUMO</b> .....	xx
<b>ABSTRACT</b> .....	xxii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. Justificativa .....	2
1.2. Objetivos .....	3
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. Piraíba .....	4
2.2. Composição do pescado .....	5
2.3. Salga .....	7
2.3.1. Efeito da salga na solubilidade das proteínas .....	9
2.4. Osmose .....	10
2.5. Desidratação osmótica .....	11
2.5.1. Solução osmótica .....	14
2.5.2. Concentração molar .....	14
2.6. Defumação .....	15
2.6.1. Defumação líquida .....	16
2.7. Secagem de produtos agrícolas .....	18
2.7.1. Modelagem matemática .....	20
2.8. Atividade de água .....	24
2.9. Microbiologia do pescado .....	25
2.10. Microscopia Eletrônica de Varredura .....	26
2.11. Avaliação sensorial de peixe .....	27
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
3.1. MATERIAL .....	28
3.1.1. Matéria-prima .....	28
3.1.2. Análise morfométrica .....	28

3.2. MÉTODOS .....	29
3.2.1. Preparação das amostras .....	30
3.2.2. Desidratação osmótica .....	31
3.2.2.1. Planejamento experimental para desidratação osmótica .....	31
3.2.2.1.1. Primeiro tratamento.....	31
3.2.2.1.2. Segundo tratamento .....	33
3.2.2.2. Preparo da solução osmótica .....	34
3.2.2.3. Aparato experimental .....	34
3.2.2.4. Procedimentos para desidratação osmótica .....	35
3.2.3. Defumação líquida e secagem .....	37
3.2.3.1. Planejamento experimental para defumação líquida.....	37
3.2.3.2. Preparo da solução de aroma de fumaça .....	38
3.2.3.3. Aparato experimental de secagem .....	39
3.2.3.4. Procedimentos para defumação líquida e secagem .....	40
3.2.3.5. Modelagem matemática da cinética de secagem .....	41
3.2.3.5.1. Modelo teórico .....	41
3.2.3.5.2. Modelos empíricos (modificados).....	42
3.3. Análise estatística dos dados experimentais .....	44
3.4. Análise físico-química .....	44
3.5. Análise microbiológica .....	46
3.6. Análise da microestrutura.....	46
3.7. Análise sensorial (aplicação) .....	46
3.7.1. Preparo das amostras defumadas.....	46
3.7.2. Preparo do kibe .....	47
3.7.3. Teste sensorial .....	47
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>48</b>
4.1. Caracterização física da matéria-prima.....	48
4.2. Caracterização físico-química da matéria prima e produto final .....	52
4.3. Análise microbiológica da matéria-prima e piraíba defumada .....	54
4.4. Desidratação osmótica .....	55
4.4.1. Primeiro tratamento .....	55

4.4.1.1. Perda de Peso .....	57
4.4.1.2 Perda de água .....	60
4.4.1.3. Ganho de sal .....	63
4.4.2. Segundo tratamento .....	68
4.4.2.1. Perda de Peso .....	69
4.4.2.2. Perda de água .....	73
4.4.2.3 Ganho de sal .....	77
4.5. Secagem .....	82
4.5.1. Cinética de secagem do peixe <i>in natura</i> .....	83
4.5.1.1. Difusividade efetiva.....	84
4.5.1.2. Modelagem matemática .....	86
4.5.2. Secagem de piraíba defumada .....	89
4.5.2.1. Cinética de secagem convectiva .....	89
4.5.2.2. Difusividade Efetiva .....	94
4.5.3. Microscopia.....	111
4.5.4. Avaliação sensorial .....	114
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>118</b>
<b>6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>119</b>
<b>7. APENDICE.....</b>	<b>140</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Piraíba ( <i>Brachyplatystoma filamentosum</i> ).....	5
Figura 2.2 - Principais fluxos que ocorrem durante o processo de desidratação osmótica.	11
Figura 3.1- Diagrama de fluxo da elaboração dos produtos de piraíba pré-tratados por desidratação osmótica, defumação líquida e secagem.....	30
Figura 3.2 - Equipamento de desidratação osmótica.....	34
Figura 3.3- Etapas do processo de desidratação osmótica.....	35
Figura 3.4 - Secador convectivo da Faculdade de Engenharia Agrícola.....	40
Figura 3.5 - Etapas da defumação líquida e secagem de piraíba.....	41
Figura 4.1- Relação entre o peso total e o peso do filé de piraíba.....	49
Figura 4.2- Relação do peso do filé e o comprimento total de piraíba.....	50
Figura 4.3- Relação do peso total e os resíduos de piraíba.....	51
Figura 4.4- Efeitos estimados sobre a resposta de perda de peso da desidratação osmótica de piraíba. ....	59
Figura 4.5 - Efeitos estimados sobre a resposta de perda de água na desidratação osmótica de piraíba.....	62
Figura 4.6 - Efeitos estimados sobre a resposta de ganho de sal da desidratação osmótica de piraíba. ....	65
Figura 4.7 - Superfícies de resposta e contorno para o ganho de sal no primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba: (a) $t=300\text{min}$ , (b) $\text{NaCl}=0,2\text{mol/L}$ , (c) $T=30^{\circ}\text{C}$ .....	66
Figura 4.8 - Efeitos estimados sobre a resposta de perda de peso da desidratação osmótica de piraíba.....	70
Figura 4.9 - Superfícies de resposta e contorno para a perda de peso no segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba: (a) $t=120\text{min}$ , (b) $\text{NaCl}=0,8\text{mol/L}$ , (c) $T=40^{\circ}\text{C}$ .....	72
Figura 4.10- Efeitos estimados sobre a resposta de perda de água da desidratação osmótica de piraíba.....	74
Figura 4.11 – Superfícies de resposta e contorno para a perda de água no segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba: (a) $t = 120\text{min}$ , (b) $\text{NaCl} = 0,8\text{mol/L}$ ,	

(c) T = 40°C.....	76
Figura 4.12. Efeitos estimados sobre a resposta de ganho de sal da desidratação osmótica de piraíba.....	79
Figura 4.13 - Superfícies de resposta e contorno para o ganho de sal no segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba: (a) t=120min, (b) NaCl=0,8mol/L, (c) T=40°C.....	80
Figura 4.14 - Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem de piraíba.....	83
Figura 4.15 - Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade da piraíba.....	84
Figura 4.16 - Curvas experimentais de secagem e curvas preditas pelo modelo de Fick para piraíba.....	85
Figura 4.17- Ajuste dos modelos para a secagem de piraíba: (a) Midilli et al. (b) Page.....	87
Figura 4.18. Ajuste dos modelos para a secagem de piraíba: (c) Wang e Singh e (d) Henderson e Pabis.....	88
Figura 4.19 - Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem de piraíba defumada: (a) ensaios 1, 2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3, 4 e 10 (Ponto central).....	89
Figura 4.20 - Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem de piraíba defumada: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).....	90
Figura 4.21 - Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade para a piraíba defumada de acordo com os ensaios do planejamento experimental: (a) ensaios 1,2 e 9 (PC = ponto central); (b) ensaios 3,4 e 10 (PC= Ponto central).....	90
Figura 4.22 - Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade para a piraíba defumada de acordo com os ensaios do planejamento experimental: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).....	91
Figura 4.23 - Efeito estimado sobre a resposta da difusividade efetiva na secagem de piraíba defumada.....	95
Figura 4.24 - Superfícies de resposta e curvas de contorno dos parâmetros na secagem de piraíba defumada.....	96

Figura 4.25 - Modelo difusional de Fick para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (a) ensaios 1, 2 e 9 (ponto central); (b) ensaios 3,4 e 10 (Ponto central).....	98
Figura 4.26 - Modelo difusional de Fick para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (c) ensaios 5,6 e 11 (PC = ponto central); (d) ensaios 7,8 e 12 (PC= Ponto central).....	99
Figura 4.27 - Modelo de Midilli et al. para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (a) ensaios 1, 2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3, 4 e 10 (Ponto central).....	102
Figura 4.28 - Modelo de Midilli et al. para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).....	103
Figura 4.29 - Modelo de Page para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (a) ensaios 1,2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3,4 e 10 (Ponto central).....	105
Figura 4.30 - Modelo de Page para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).....	106
Figura 4.31 - Modelo de Wang e Singh para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (a) ensaios 1, 2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3, 4 e 10 (Ponto central).....	107
Figura 4.32 - Modelo de Wang e Singh para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).....	108
Figura 4.33 - Modelo de Henderson e Pabis para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (a) ensaios 1, 2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3, 4 e 10 (Ponto central).....	109
Figura 4.34 - Modelo de Henderson e Pabis para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central). ....	110
Figura 4.35 - Microscopia Eletrônica de Varredura da piraíba <i>in natura</i> .....	112

Figura 4.36 - Microscopia Eletrônica de Varredura de piraíba no primeiro tratamento de desidratação osmótica.....	113
Figura 4.37- Microscopia Eletrônica de Varredura de piraíba no segundo tratamento de desidratação osmótica.....	113
Figura 4.38 - Microscopia Eletrônica de Varredura da piraíba seca defumada.....	114
Figura 4.39 - Histograma de frequência dos valores atribuídos as amostras de kibe de peixe seco defumado e amostra padrão: (a) aroma, (b) sabor, (c) teor de sal, (d) textura, (e) impressão global.....	116
Apêndices .....	140

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Definição dos níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental do primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba.....	32
Tabela 3.2 - Planejamento experimental completo $2^3$ com pontos centrais e axiais realizados para avaliar o primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba....	32
Tabela 3.3 - Definição dos níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental do segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba.....	33
Tabela 3.4 - Planejamento fatorial $2^3$ com pontos centrais realizados para avaliar o segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba.....	33
Tabela 3.5 - Definição dos níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental da defumação líquida e secagem de piraíba.....	38
Tabela 3.6 - Planejamento fatorial $2^3$ com pontos centrais realizados para avaliar a defumação líquida e secagem de piraíba.....	38
Tabela 3.7- Informação nutricional do Smokez 1517.....	39
Tabela 4.1- Valores médios, desvio padrão e valores percentuais de rendimento da piraíba.....	48
Tabela 4.2 - Composição centesimal da piraíba seca ( <i>in natura</i> ), desidratada osmoticamente e seca defumada.....	52
Tabela 4.3 - Análise microbiológica da matéria-prima (filés) e produtos secos defumados.....	54
Tabela 4.4 - Valores experimentais das variáveis dependentes (respostas) para o primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba.....	56
Tabela 4.5 - Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para perda de peso utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.....	58
Tabela 4.6 - Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para perda de peso no primeiro tratamento desidratação osmótica de piraíba.....	59
Tabela 4.7- Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para perda de água utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual. ....	61

Tabela 4.8 – Resultado da (ANOVA) para perda de água no primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba.....	62
Tabela 4.9- Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para o parâmetro ganho de sal utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.....	64
Tabela 4.10 – Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para ganho de sal no primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba.....	65
Tabela 4.11 - Valores experimentais das variáveis dependentes (respostas) para o segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba.....	68
Tabela 4.12 - Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para o parâmetro perda de peso utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.....	70
Tabela 4.13 – Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica de piraíba no segundo tratamento.....	71
Tabela 4.14 - Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para o parâmetro perda de água utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.....	74
Tabela 4.15 – Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica de piraíba no segundo tratamento.....	75
Tabela 4.16 - Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para o parâmetro ganho de sal utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.....	78
Tabela 4.17 – Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para ganho de sal na desidratação osmótica de piraíba no segundo tratamento.....	79
Tabela 4.18 – Umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) para as temperaturas de 40, 50 e 60°C em base seca.....	83
Tabela 4.19 – Valor da difusividade efetiva, desvio relativo médio (P) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), obtidos na secagem de piraíba.....	85
Tabela 4.20 – Coeficiente de determinação, desvio relativo médio, constantes de secagem e coeficientes dos modelos determinados com o método não-linear de regressão na secagem de piraíba.....	86

Tabela 4.21- Valores da difusividade efetiva, coeficientes de determinação e desvio relativo médio, obtidos na secagem de piraíba defumada.....	94
Tabela 4.22 - Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para difusividade efetiva da secagem de piraíba defumada.....	96
Tabela 4.23 - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvio relativo médio determinado através do método não-linear de regressão de secagem de piraíba defumada para as temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	100
Tabela 4.24 - Valores das constantes de secagem e coeficientes dos modelos determinados com o método não-linear da regressão na secagem de piraíba defumada para as temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	101
Tabela 4.25 - Análise de variância para cada atributo sensorial avaliado.....	115
Tabela 4.26 - Comparação entre as médias dos atributos para as amostras padrão (A0) e seca defumada ( $A_1$ e $A_2$ ).....	116

## LISTA DE SÍMBOLOS

$X_t$	Umidade média no tempo	(kg.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> s)
$X_e$	Umidade de equilíbrio	(kg.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> s)
$X_0$	Umidade inicial da amostra	(kg.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> s)
$D_{ef}$	Difusividade efetiva	(m <sup>2</sup> /s <sup>-1</sup> )
$t$	Tempo de processo	(min)
$L$	Dimensão característica	(m)
$T$	Temperatura	°C
$Y$	Razão de umidade do produto	(kg H <sub>2</sub> O/kg ms)
$K, K_1, K_2, K_3$	Constantes do modelo (Fick, Midilli et al., Page e Henderson e Pabis	-
$a_1, b_1$ e $n_1$	Parâmetro do modelo de Midilli et al.	-
$n_2$	Parâmetro do modelo de Page	-
$a_2$ e $b_2$	Parâmetro do modelo de Wang e Singh	-
$a_3$	Parâmetro do modelo de Henderson e Pabis	-
$C$	Concentração molar	(mol/L)
$M$	Molaridade	(mol/L)
$\eta$	Número de mol de moléculas do soluto	-
$V$	Volume da solução osmótica	(L)
$PP$	Perda de peso	(%)
$PA$	Perda de água	(%)
$G_{sal}$	Ganho de sal	(%)
$M_t$	Massa da amostra no tempo	(g)
$MA_o$	Massa inicial da amostra	(g)
$U_o$	Teor de umidade da amostra inicial	(%)
$U_t$	Teor de umidade da amostra no tempo	(%)
$Sal_o$	Conteúdo inicial de cloreto de sódio na amostra	(g)
$Sal_t$	Conteúdo de cloreto de sódio na amostra no tempo	(g)
$t$	Tempo de imersão	(s)
$P$	Desvio relativo médio	(%)

$V_P$	Valores preditos pelo modelo	-
$V_0$	Valores observados experimentalmente	-
$N$	Número de pontos experimentais	-
$F$	Distribuição F	-
$R^2$	Coeficiente de determinação	-
$GL$	Grau de liberdade	-
$MQ$	Média quadrática	-
$SQ$	Soma quadrática	-
$RSM$	Metodologia de superfície de resposta	-
Letras Gregas		
$\varphi$	Função resposta do planejamento experimental	-
$\beta$	Coeficiente do modelo estatístico	-

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos de dois tratamentos de desidratação osmótica usando concentrações molares de NaCl e os processos de defumação líquida e posterior secagem da piraíba. O processo de desidratação osmótica foi estudado para verificar a influência dos fatores temperatura, concentração molar de NaCl e tempo de processo, nas respostas, perda de peso, perda de água e ganho de sal. No primeiro tratamento, foi utilizado um planejamento fatorial completo de  $2^3$  totalizando 17 ensaios, tendo como variáveis independentes a temperatura (22-38°C), concentração molar (0,03-0,37 mol/L) e tempo de processo (199-401 min). No segundo tratamento foi utilizado um planejamento fatorial de  $2^3$  totalizando 11 ensaios, tendo como variáveis independentes a temperatura (35-45°C), concentração molar (0,7-0,9 mol/L) e tempo de processo (90-150 min). Com relação aos tratamentos aplicados na desidratação osmótica, a temperatura e concentração molar, foram os fatores que apresentaram maior influência sobre as respostas de perda de água e ganho de sal. O processo de defumação líquida foi estudado através de um planejamento fatorial de  $2^3$  com quatro repetições no ponto central. As variáveis avaliadas foram temperatura de secagem (40-60°C), concentração da solução de aroma de fumaça (20-30% p/p) e tempo de imersão (20-30s), tendo como resposta a difusividade efetiva. A secagem foi realizada em secador convectivo onde foi mantida uma única velocidade do ar (1,08m/s). O ajuste dos dados experimentais obtidos na secagem de piraíba (in natura e defumada) foi realizado utilizando-se o modelo teórico de Fick e os modelos empíricos de Midilli et al., Page, Wang e Singh e Henderson e Pabis, para geometria cúbica. Os valores da difusividade efetiva variaram de  $2,39 \times 10^{-10}$  a  $8,54 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. Os modelos de Midilli et al. e Page apresentaram melhor ajuste em relação aos outros modelos. A avaliação do produto final e matéria prima foi realizada através de análises de atividade de água, umidade, cinzas, proteínas, lipídios, pH e cloretos. Foram encontrados baixos valores de umidade, pH e atividade de água nas amostras obtidas no segundo tratamento de desidratação osmótica. As amostras defumadas apresentaram teor de cinzas e cloretos elevados, além de baixos teores de lipídios. A matéria prima e o produto final defumado foram analisados microbiologicamente de acordo com a legislação vigente, estando em conformidade com os parâmetros exigidos. Foi realizada análise sensorial de aceitação de kibe de peixe defumado, a qual não houve diferença significativa, a  $p \leq 0,05$ , entre

as amostras defumadas e a amostra padrão com relação aos atributos aroma, sabor, teor de sal, textura e impressão global.

Palavras-chave: peixe defumado, peixe tropical, Pimelodidae, peixe de água doce, alimentos - avaliação sensorial.

## ABSTRACT

The objective of this research work was to study the effects of two osmotic dehydration treatments employing molar concentrations of NaCl as well as liquid smoking followed by piraíba samples drying. Osmotic drying process was studied to take into account factors as temperature, NaCl concentration and processing time on weight loss, water loss and salt gain. For the first treatment it was adopted a Complete Factorial of  $2^3$  Model totalizing 17 trials, selecting temperature (22-38°C), molar concentration (0,03-0,37 mol/L) and processing time (199-401 min) as independent variables. In the second case a Complete Factorial of  $2^3$  Model totalizing 11 trials was also adopted holding the temperature (35-45°C), molar concentration (0,7-0,9 mol/L) and processing time (90-150 min) as independent variables. Temperature and molar concentration were noted to be the factors which most affect water loss and salt gain. liquid smoking process was studied by means of Factorial Model of  $2^3$  with four replications at the central point. Variables under consideration included drying temperature (40-60°C), smoke flavor concentration (20-30% p/p) and immersion time (20-30s), yielding effective diffusivity values as answer. Drying process was carried in a convective dryer keeping a constant air speed (1,08m/s). Experimental piraíba natural and smoked drying date were adjusted by means of the Fick theoretical model as well as by means of the Midilli et al., Page, Wang and Singh e Henderson and Pabis empiric models for the cubic geometry. Effective diffusivity values varied from  $2,39 \times 10^{-10}$  to  $8,54 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. Midilli et al. and Page Models presented the best adjustment as compared with other models. Final product evaluation as well as of raw material were carried by means of, water activity, humidity, ashes, lipids, proteins, pH and chlorides. Low pH and humidity values were found in the samples submitted to the second treatment of osmotic dehydration. Smoked samples presented high ash and chloride content and low lipid content. Raw material and final smoked product were submitted to microbiological analysis according to the legal code and found to agree with required parameters. The sensorial analysis indicated no significant difference at the level of  $p \leq 0,05$  smoked fish *kibe* between smoked samples and regular samples in respect to the attributes of flavor, taste, texture and general impressions.

Key words: smoked fish, tropical fish, Pimelodidae, freshwater fishes, taste testing of food.

## 1. INTRODUÇÃO

A região Amazônica possui cerca de 40 espécies de peixes sendo exploradas e comercializadas diariamente nos principais mercados e feiras. A pesca na região é basicamente artesanal, direcionada a um número diminuto de espécies, causando uma sobreexploração em determinados estoques pesqueiros (COSTA, 2006). Outras espécies subexploradas têm sido estudadas com possibilidades de novos mercados.

A piraíba ou filhote é uma espécie de peixe de couro muito encontrado na região amazônica. A espécie é comercializada na forma de filés em feiras livres e supermercados da região, sendo muito procurada pelo consumidor principalmente pelo agradável sabor e elevado rendimento em carne.

Na indústria de alimentos, o fenômeno de transferência de massa sólido-líquido está presente em várias operações unitárias e processos de transformação, como na secagem, na extração sólido-líquido, na desidratação osmótica de vegetais e carnes e na salga de carnes e queijos, entre outros (HOFMEISTER et al. 2005).

Segundo Teixeira et al. (2007), o cloreto de sódio é responsável pela troca de água das células com o meio que as circunda, por intermédio de fenômenos de osmose, ajudando-as a absorver nutrientes e a eliminar resíduos. Produtos obtidos do processamento em salmouras como o bacalhau, por exemplo, baseia-se no mesmo princípio.

A osmose consiste no movimento da água entre meios com concentrações diferentes de solutos separados por uma membrana semipermeável. Neste sentido, a desidratação osmótica é utilizada para retirada parcial de água em alimentos usando soluções concentradas sendo considerada como um tratamento preliminar a outras técnicas de desidratação visando melhorar a qualidade do produto final. No entanto, tem-se observado que elevadas concentrações de sais e açúcares no preparo das soluções osmóticas tem influenciado no incremento dessas substâncias no produto final.

A defumação de pescado foi considerada um método de conservação de alimentos, por inibir o crescimento microbiano e retardar a oxidação de gorduras presentes no pescado (GAVA, 1988). O processo de defumação líquida é um dos mais rápidos métodos de defumação sendo um processo de imersão do pescado em soluções de extratos líquidos de fumaça. Segundo Lopes (2007), a solução de aroma de fumaça natural foi desenvolvida em

laboratório devido ao fato de terem sido detectados compostos cancerígenos na fumaça proveniente da combustão da lignina em temperatura superior a 250°C.

O Estado do Pará é considerado um dos maiores fornecedores de peixe de água doce do país e, portanto tem uma grande preocupação por parte de órgãos governamentais de vigilância sanitária quanto à qualidade microbiológica da matéria prima. As análises microbiológicas avaliam as condições higiênico-sanitárias do pescado capturado. Porém, poucas empresas paraenses dispõem de instrumentos e procedimentos próprios, ou mesmo contratam serviços, para a avaliação rotineira da presença destes possíveis contaminantes.

No processo de secagem de alimentos, o calor é fornecido a um determinado produto que perde umidade até níveis adequados de conservação. Na obtenção de pescado seco, normalmente a secagem é a operação que segue a salga, obtendo-se o pescado seco e salgado.

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

A indústria pesqueira na região amazônica tem buscado diversificar a produção para elevar o comércio de peixes menos tradicionais no mercado nacional. Porém ainda tem feito muito pouco para aproveitar de forma mais racional os peixes capturados. Espécie de peixes considerada de baixo valor comercial constitui-se uma alternativa promissora na elaboração de subprodutos de elevado valor nutritivo e com maior valor agregado.

Em células animais, apesar de a célula possuir uma membrana plasmática dita "imperfeita", em termos de semipermeabilidade (devido ao fato de nela passar não somente água como também outras substâncias como íons de sódio e potássio), é possível, perfeitamente, ocorrência de osmose. Entretanto, determinadas concentrações de água (meio hipotônico) podem resultar em ruptura da célula. Ao contrário, no momento em que há uma grande saída de água (meio hipertônico), a célula se enrugam. Estes efeitos são comumente encontrados em trabalhos de desidratação osmótica de produtos cárneos em que a solução osmótica é considerada hipotônica ou hipertônica em relação ao material biológico.

O peixe defumado é considerado como um delicado item alimentar, que deve ser consumido em ocasiões especiais, ou apresentado como alternativa alimentar em nossa dieta, mesmo sendo um produto caro. Isto mostra que além de se preservar o peixe, este processo de defumação faz com que o peixe ganhe um valor agregado, tornando-o nobre.

A defumação líquida é uma técnica que pode ser aplicada em tempos reduzidos (segundos), além de baixos riscos de impacto ambiental, ao contrário da defumação tradicional, que necessita de horas de processo e utiliza a queima da madeira, aumentando o perigo de explosão, além do descarte de cinzas e resíduos no meio ambiente. Outro benefício do processo, quando comparado ao método tradicional, é que os produtos gerados não são considerados prejudiciais a saúde com a eliminação dos resíduos cancerígenos, visto que o alcatrão, resina e o 3,4-benzo(a)pireno são eliminados nas soluções de aroma de fumaças por envelhecimento e filtragem.

## 1.2. OBJETIVOS

O objetivo do trabalho foi estudar os efeitos de dois tratamentos de desidratação osmótica usando concentrações molares de NaCl e os processos de defumação líquida e posterior secagem da piraíba.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar os tratamentos de desidratação osmótica utilizando concentrações molares de NaCl, determinando as melhores condições de perda de peso, perda de água e ganho de sal através da Metodologia de Superfície de Resposta;
- Verificar o efeito das condições no processo de defumação e secagem da piraíba (concentração e tempo de imersão em solução de aroma de fumaça e tempo de secagem);
- Estudar e modelar a cinética de secagem convectiva da piraíba *in natura* e defumada;
- Avaliar a influência dos tratamentos de desidratação osmótica e defumação líquida sobre aspectos relacionados à qualidade nutricional;
- Avaliar os produtos secos defumados através de análise sensorial.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Piraíba

Um dos aspectos mais marcantes da bacia amazônica é a elevada riqueza da ictiofauna, que inclui cerca de 3 mil espécies de variados tamanhos, hábitos, formas e cores. Quanto ao tamanho, há desde espécies nanicas, como as piabas (a maioria pertencente à família *Characidae*), até os gigantes, como o pirarucu e a piraíba ou filhote (SANTOS e JEGU, 2004).

Segundo Santos e Santos (2005) a maioria dos peixes *siluriformes*, bagre ou peixe-liso é formado por espécies que empreendem migrações longas, através do canal principal do sistema Solimões-Amazonas. Os principais representantes desse grupo são o surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*), caparari (*P. tigrinum*), dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), piramutaba (*B. vaillantii*) e piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum*).

A piraíba conhecida também como filhote, bagre-branco ou piratinga é o bagre amazônico que atinge maior tamanho, alcançando em torno de 2,5 m e 150 kg. O peixe pertencente à família *Pimelodidae* (ordem *Siluriforme*) apresenta coloração uniforme, sendo cinza no dorso e claro no ventre; barbilhões roliços e estreitos; nadadeiras, adiposa e anal, com base aproximadamente de mesmo tamanho (Figura 2.1). Geralmente o nome filhote é aplicado a exemplares de menor porte, até 1,5 m de comprimento padrão e 50 kg, e piraíba, a exemplares maiores, entretanto há evidências de que esses nomes referem-se a duas espécies distintas (SANTOS et al. 2006). Ocorre em quase toda a bacia amazônica e a captura é realizada normalmente no canal ou em áreas de cachoeiras, com uso de redes de emalhe, espinhéis e linhada.

Segundo Santos e Jegu (2004), além da ausência de escama, suas principais características são: ampla abertura das brânquias (que se estende além da base das nadadeiras peitorais) e a presença de três pares de barbilhões tácteis, sendo um par na maxila superior e dois na mandíbula.

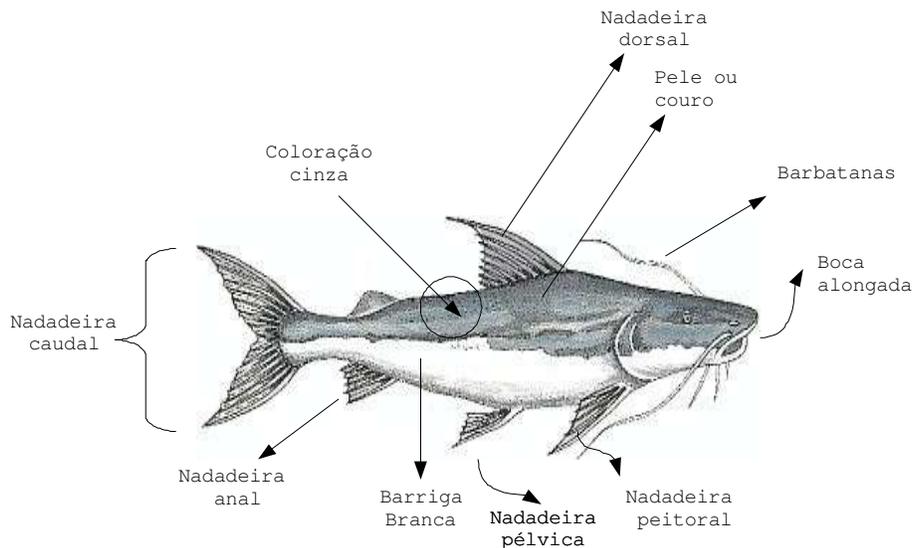


Figura 2.1- Piraiá (*Brachyplatystoma filamentosum*).

## 2.2. Composição do pescado

Muitos estudos já realizados comprovaram que uma dieta baseada em carne “branca”, sobre tudo a de peixes, traz grandes benefícios à saúde, sendo a presença de ácidos graxos poliinsaturados, como ácidos das famílias ômega 3 e ômega 6, um dos fatores responsáveis por estes benefícios à saúde humana. Os ácidos das famílias ômega 3 e ômega 6 são considerados essenciais pela sua grande importância para o perfeito funcionamento do organismo humano e por ser necessário obtê-los da dieta. Os ácidos linoléico e alfa-linolênico estão presentes tanto em espécies vegetais como animais empregados na alimentação humana (SILVEIRA et al. 2008).

A composição química dos peixes varia também de espécie para espécie. Segundo Gurgel e Freitas citado por Ribeiro (2005) os fatores responsáveis por esta variação estão relacionados ao tamanho, a alimentação, a estação do ano e ao local de captura. Além disso, em um mesmo exemplar, a composição depende da parte do corpo analisada.

Conhecer a composição química dos peixes é importante para definição da tecnologia que deve ser empregada, para dietas alimentares e cálculos de rendimentos, dentre outros aspectos. Carneiro (1999) caracterizou diversos peixes frescos, marinhos e de água doce e

destaca que o principal componente químico dos peixes é a água, que chegou a atingir em torno de 65 a 84%. Os outros componentes corresponderam de 15 a 24% de proteína, 0,1 a 22% de lipídios e 0,8 a 2% de minerais para diversas espécies de peixes.

Segundo Geromel e Foster (1982) a carne de peixe se destaca por apresentar proteínas de qualidade superior quando comparado a de outros animais. Esta relação acontece devido à carne de peixe apresentar menor teor de tecido conectivo (constituído de proteínas de baixa qualidade) em sua constituição. Em geral, esta carne apresenta em torno de 3% de tecido conectivo, com exceção dos peixes cartilagosos que podem apresentar até 10% de colágeno.

Lima Verde Filho et al. (1999) trabalharam com piraíba e realizaram análise de umidade em estufa, a 110°C, por um período mínimo de 24 horas antes e após os processos de fritura e cocção. Observaram teores de umidade de 75% para o peixe cru e 61% para o peixe frito/cozido, e comprovaram que, apesar da alta temperatura dos processos de fritura ou cocção (120 a 150°C), a perda de água foi relativamente pequena para este pescado.

Brushi (2001) estudou a composição centesimal dos filés das espécies de peixe mais comercializadas na região de Itajaí. Os teores de umidade variaram de 70,0% a 80,0%, sendo o menor valor referente ao atum bonito listrado e o maior à pescada fogueete, respectivamente. Os teores de umidade determinados para as outras espécies foram superiores a 72%.

Siskos et al. (2005) trabalharam com filés de trutas produzidas em cativeiros e observaram que houve variação na composição em torno de 68,5-69,8% de umidade, proteína de 22,4-24,2% e lipídios 5,5-7,8%. O autor cita que a composição química dos peixes pode variar de acordo com a dieta fornecida aos peixes criados em cativeiros. Já Ozogul et al. (2005) caracterizaram a enguia e encontraram cerca de, 20,86% de gordura, 60,12% de umidade, 17,5% de proteína e 1,05% de cinzas.

Yanar et al. (2006) encontraram teores de umidade em tilapia, em torno de 76,87%; e lipídios 2,64%, proteína 18,23% e cinzas 1,09%. Aubourg et al. (2005) encontraram também valores elevados de umidade para o salmão, em torno de 68 a 72%, e baixos teores de lipídios, em torno de 4 a 6%.

Brushi (2001) cita que na composição de peixes, os lipídeos são responsáveis pelas maiores diferenças observadas variando entre diferentes espécies, podendo também possuir grandes variações em uma mesma espécie, durante diferentes fases do ano. Segundo Geromel e Foster (1982), uma das características nos peixes gordurosos se deve a grande variação no

teor de água com a época do ano, isto é, conforme aumenta o teor de gordura na carne do pescado, diminui o teor de água na mesma proporção e vice-versa.

Diversos peixes são conhecidos pelo seu potencial em gorduras. A sardinha, por exemplo, sempre foi conhecida como um peixe gordo. De acordo com a caracterização química realizada por García-Arias et al. (2003) a sardinha apresenta teor médio de gordura de 15,44%, teor de umidade de 60,68% e proteína 20,07%.

Silveira et al. (2008) realizaram investigação de teor de ômega 3 e ômega 6 em pescado paraense, entre eles mapará, sarda, bacú-pedra. Os resultados mostraram que pescado da região amazônica apresenta boa quantidade de ácidos graxos da família ômega 3 e ômega 6 pelo fato de apresentarem um bom grau de lipídios extraídos dos mesmos. O peixe Sarda (*Scomber scombrus*), possui maior quantidade de ácidos graxos da família ômega 3, conforme os resultados da análise cromatográfica e melhor índice da relação ômega 3/ômega 6, de aproximadamente 1:1.

Silva et al. (2008) elaboraram e caracterizaram o fiambre de peixe a partir da gurijuba, pescado da região amazônica. Os resultados mostraram que o fiambre de peixe apresentou umidade: 63,87%, proteínas: 15,18%, cinzas: 2,73%, lipídeos: 16,3%, carboidratos: 1,92% e valor calórico: 215,1 Kcal.

### **2.3. Salga**

A extensão da vida-de-prateleira, associada a salga ou à dessecação de alimentos perecíveis, resultou no desenvolvimento de vários produtos cárneos em diversas partes do mundo (RIBEIRO, 2005). Porém, é importante destacar que os alimentos salgados podem ser mantidos à temperatura ambiente como, o charque, bacalhau, sardinhas e outros alimentos.

Ferreira et al. (2002) indicam 30% de sal para o peso do pescado, para a salga seca de pescado em geral. Kontominas e Goulas (2005) estudaram o efeito da salga sobre a manutenção da qualidade do pescado da espécie *Scomber japonicus*. O pescado foi imerso em salmoura a 120 g/L de NaCl a 8°C em 2 h, numa proporção de 1:1. Os resultados mostraram que a salga garantiu efeito preservativo. Entretanto melhores resultados foram encontrados quando o pescado foi processado pela combinação de salga e defumação. No entanto os

valores de TBA (ácido tiobarbitúrico) foram elevados no período de 30 dias de armazenamento para pescado salgado e defumados.

Segundo Lopes (2007) a salga ou salmoura é aplicada para conservação de peixes (bacalhau, anchovas), carnes (pertences para feijoada) ou vegetais (chucrute). Porém, apesar da eficiente preservação dos produtos sob o ponto de vista microbiológico, a salga não evita a degradação química. Com o passar do tempo podem ocorrer reações de oxidação das gorduras, com conseqüente sabor de ranço.

O cloreto de sódio é extensamente usado como aditivo no processamento de pescado, e não apenas para conferir um gosto salgado, mas também por proteger a carne da ação microbiológica através do controle da atividade de água da carne (OOIZUMI et al. 2003). De acordo com Guerreiro (2006) o açúcar também é tradicionalmente usado nos produtos cárneos. O açúcar serve para abrandar o sabor do sal e dos polifosfatos. Entretanto, apesar dos baixos teores usados em geral, o açúcar reduz também o teor de água livre e inibe o crescimento de microrganismos.

O frescor também influencia na velocidade de penetração do sal. Barat et al. (2006) estudaram a influência da salga e secagem no frescor de bacalhau levando em consideração o fenômeno de transferência de massa. O processo de salga durou de 4 a 16 dias. Inicialmente o peixe foi submetido à salmoura saturada (recipiente plástico sem drenagem) por um período de 5 dias e em seguida a salga seca (em pilha com camadas alternadas de sal) durante os dias restantes. Após o processo de salga o bacalhau foi seco em secador industrial em temperaturas de 20, 22, 24 e 26° C e tempos de 24, 48, 72, 96 horas, respectivamente.

Molina-Filho et al. (2006) estudaram a influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (NaCl) nas isotermas de sorção da carne de tambaqui desidratada osmoticamente nas temperaturas de 5, 17 e 29°C e concentrações da solução osmótica de 10 e 30% de NaCl, pelo método gravimétrico. Os autores concluíram que o teor de umidade de equilíbrio foi influenciado pela temperatura e concentração da solução osmótica. Para uma dada atividade de água, ocorre um aumento na umidade de equilíbrio quando há uma diminuição na temperatura ou um aumento na concentração de NaCl. O calor de sorção é inversamente proporcional a umidade, ou seja, quanto maior o conteúdo de umidade menor será o valor do calor de sorção.

Aiura et al. (2008) estudaram a conservação de filés de tilápia-do-nilo em salga seca e salga úmida. Os processos foram acompanhados por 156 horas na salga úmida e por 96 horas na salga seca, e os filés salgados foram estocados, respectivamente, por 60 e 45 dias à temperatura ambiente. Os teores máximos de cloreto nos filés (14%) foram atingidos com 72 horas na salga úmida e com 36 horas na salga seca. Os filés de tilápia salgados em salmoura mantiveram as características próprias do produto por um período de 45 dias, e os submetidos à salga seca apresentaram baixo teor de umidade (6%) e alta concentração de extrato etéreo (4,6%).

Segundo Siqueira (2001), o *rigor mortis* é caracterizado pela combinação da miosina livre com actina, formando o complexo actomisina que confere ao músculo enrijecimento e maior acidez com pH em torno de 6,5. Os limites máximos de pH da carne de pescado devem estar entre 6,5 a 6,8 nas regiões internas e externas da carne, respectivamente, sendo que a elevação do pH no músculo pode estar ligada a autólise e posterior contaminação bacteriana.

Ribeiro (2005) avaliando amostras de mapará desidratado em solução de NaCl e sacarose encontrou umidade e atividade de água menor nos tratamentos com solução de NaCl do que as amostras sem pré-tratamento e desidratadas com solução ternária. Segundo a autora este resultado já era esperado, devido ao alto poder osmótico do NaCl que promove a diminuição atividade de água. Em contrapartida, estas amostras apresentaram maior oxidação em relação às amostras desidratadas com solução ternária. Este fato pode estar relacionado com a atividade pró-oxidante do NaCl, já que a quantidade do mesmo foi bem maior nas amostras desidratadas.

Das e Das (2002), analisaram as características de sorção de umidade, da proteína da miosina de peixes. A miosina foi isolada através de soluções concentradas de sal e a sorção de umidade foi determinada nas temperaturas de 10, 27 e 45°C.

### **2.3.1. Efeito da salga na solubilidade das proteínas**

Uma das funções do NaCl em produtos de carne é extrair proteínas miofibrilares. Segundo Graiver et al. (2006), o cloreto de sódio age como o preservativo e modifica a capacidade da água prender as proteínas.

O efeito do pH na capacidade de retenção de água é denominado de efeito de carga neutra. A capacidade de retenção de água é menor em pH 5,2 a 5,3, ou seja, no ponto isoelétrico (pI) da maior parte das proteínas musculares. Se o pH fica acima do pI, desaparecem as cargas positivas, ficando um excesso de cargas negativas que determinam a repulsão dos filamentos, deixando mais espaço para as moléculas de água.

Para valores de pH abaixo do ponto isoelétrico, a adição de NaCl (2%) provoca a diminuição de retenção de água na carne. Isto se deve à neutralização das cargas positivas das proteínas pelos íons  $\text{Cl}^-$ , diminuindo, desta forma, a repulsão entre as cadeias protéicas e como conseqüência ocorrerá um encolhimento da matriz. Para valores de pH acima do ponto isoelétrico, os íons  $\text{Na}^+$  não interagem com as cargas negativas das proteínas com a mesma extensão, e desta forma as cadeias sofrem repulsão, produzindo um “inchaço” da matriz, com conseqüente aumento da capacidade de retenção de água da carne. Por outro lado, altas concentrações de sal provocam a desidratação na carne devido a desnaturação das proteínas (MOTARJEMI, 1988; SABADINI, 2001).

Uma importante função do sal na indústria de produtos cárneos é a extração das proteínas miofibrilares. A extração e a solubilização dessas proteínas musculares contribuem para a emulsificação das gorduras e para aumentar sua capacidade de retenção de água, reduzindo as perdas de peso ao cozimento, contribuindo para melhorar a qualidade e a textura do produto (SOBRINHO et al. 2004).

Duarte et al. (1998), estudaram o efeito da adição de NaCl sobre algumas propriedades funcionais da caseína e de seus hidrolisados tripticos para dois valores de pH (4,0 e 5,0). Para tal, foi adicionado um teor de 0,02M do sal às soluções-tampão empregadas no preparo das amostras, o que corresponde a uma concentração final de sal em torno de 0,44M (NaCl e tampão). Observa-se, portanto, que apesar desse valor situar-se abaixo da faixa de 0,5 a 1M, ocorreu o efeito de "salting in" para a caseína, uma vez que a sua solubilidade aumentou em ambos os valores de pH estudados.

#### **2.4. Osmose**

Osmose é um equilíbrio termodinâmico onde as moléculas de um solvente passam através de uma membrana semipermeável. Segundo Santin (2001), a osmose é um fenômeno

natural que ocorre quando duas soluções de concentrações diferentes são separadas por uma membrana semipermeável, isto é, uma membrana que dá passagem a um certo tipo de moléculas e não a outras. Haverá uma movimentação líquida, através da membrana, no sentido da solução mais diluída para a mais concentrada, com uma tendência de uniformização das concentrações.

## 2.5. Desidratação osmótica

A desidratação osmótica consiste na imersão do alimento, inteiro ou em pedaços, em soluções aquosas (por exemplo: sais, açúcar, sorbitol, glicerol...) de alta pressão osmótica (RAOULT-WACK et al. 1994, TORREGGIANI, 1993). Durante o processo ocorre a migração de solutos da solução osmótica para o sólido resultando em saída de água e algumas substâncias naturais do sólido (açúcares e minerais), porém em pequena quantidade. A Figura 2.2 ilustra o mecanismo descrito.

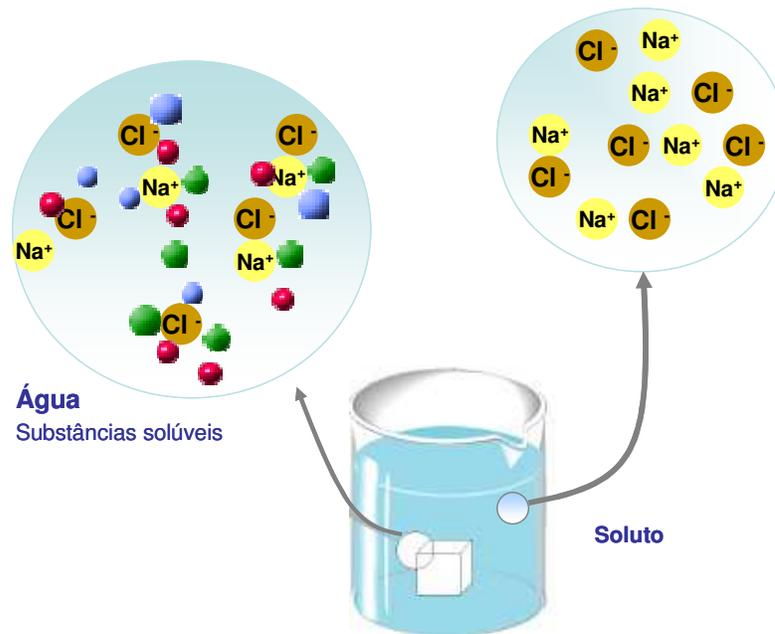


Figura 2.2 – Principais fluxos que ocorrem durante o processo de desidratação osmótica.

Segundo Reyes et al. (2005), a desidratação osmótica é mais utilizada como pré-tratamento antes da secagem e refrigeração de alimentos, como um meio de reduzir a umidade

do produto. Para o caso do pescado, a imersão em salmouras concentradas é uma técnica amplamente usada. Gomes et al. (2007) citam que a desidratação osmótica origina produtos com boas condições de armazenamento, qualidade semelhante à matéria-prima e muitas vezes melhor em cor, sabor e aroma que produtos de tecnologias mais caras e sofisticadas.

O interesse no pré-tratamento utilizando desidratação osmótica em relação aos processos convencionais de desidratação se justifica pelas vantagens que são apresentadas pelos produtos finais, como retenção da cor natural sem adição de sulfitos, alta retenção de componentes voláteis durante a etapa de secagem, redução do fenômeno do encolhimento (ARAUJO, 2005).

Os alimentos, em sua grande maioria, são porosos. A porosidade e as características do espaço poroso, como a forma predominante dos poros e a conectividade interporos são importantes nos fenômenos de transferência de calor e de massa nesses alimentos durante o processamento. Na indústria de alimentos, o fenômeno de transferência de massa sólido-líquido está presente em várias operações unitárias e processos de transformação, como na secagem, extração sólido-líquido, desidratação osmótica de vegetais e carnes e na salga de carnes e queijos, entre outros (HOFMEISTER et al. 2005).

Na maioria dos estudos, o processo de desidratação osmótica permite retirar em torno de 40 % de água do material, sendo utilizado, portanto, como tratamento preliminar a processos como: secagem, congelamento e liofilização de alimentos, visando melhorar as suas qualidades (LENART, 1996).

Simões (2007) estudou a influência de dois tratamentos de desidratação osmótica, utilizando solução binária (água + NaCl) e ternária (água + NaCl + sacarose). Foram verificadas as influências dos fatores: temperatura, concentração e tempo de imersão nas respostas de ganho de sólidos (GS), perda de água (PA), relação GS/PA e atividade de água, através da Metodologia de Superfície de Resposta. As condições escolhidas foram: temperatura de 34°C, concentração de NaCl de 24,6% p/p e tempo de imersão de 230 min para a desidratação osmótica com solução de NaCl. Para a desidratação osmótica com solução de NaCl + sacarose, as condições escolhidas foram: temperatura de 34°C, concentração de NaCl de 13% p/p, tempo de 185 min e concentração de sacarose de 37% p/p.

A técnica de desidratação osmótica por pulso de vácuo consiste na imersão de alimento em soluções hipertônicas e aplicar pressão sub-atmosférica durante um certo período de

tempo, seguido de um período de desidratação osmótica a pressão atmosférica. Durante o processo, a solução osmótica é introduzida nos poros do alimento por mecanismos hidrodinâmicos que beneficia a transferência de massa devido ao incremento da superfície de contato ao eliminar o ar ocluído dentro do tecido (RAMALLO et al. 2007).

Schmidt et al. (2008) estudaram a influência da aplicação de vácuo no processo de salga de cortes de peito de frango. Observaram que a impregnação a vácuo aumentou significativamente o ganho de água pelas amostras imersas em solução com 5 e 10% de NaCl. Para o processo de salga a pressão atmosférica com concentrações de 20% de NaCl, observou-se perda de massa pelas amostras. Isso foi resultado da perda de água através do mecanismo osmótico e da solubilização de proteínas miofibrilares, que prevaleceram em relação aos ganhos de sal por difusão e de solução salina (água e sal) por capilaridade. No entanto, ao final do processo de impregnação a vácuo com concentração de 20% (NaCl), foi observado um ganho de massa pelas amostras. Neste caso, os poros da carne (espaços intercelulares) são preenchidos pela salmoura devido à ação do mecanismo hidrodinâmico, superando as perdas de água (desidratação osmótica) e de proteínas solúveis.

Corzo e Bracho (2008) aplicaram o modelo de distribuição de frequência de Weibull, investigando a umidade, quantidade de sal em sardinhas durante o pulso de vácuo na desidratação osmótica, usando uma salmoura em diferentes concentrações e temperaturas. Os resultados indicaram que o modelo de Weibull apresenta boa aceitação em relação à umidade e à quantidade de sal, convalidando o modelo proposto.

Tsironi et al. (2009), apresentaram um estudo e avaliaram o efeito do pré-tratamento osmótico sobre as características da qualidade da dourada e investigaram o potencial de utilização da desidratação osmótica como tratamento para prolongar a vida útil do pescado. Segundo os autores, a concentração osmótica teve um efeito significativo e o modelo proposto descreveu com sucesso a transferência de massa durante o processo.

Pezantes (2006) estudou a desidratação osmótica por pulso de vácuo de bonito (*Sarda sarda*) determinando-se as condições ótimas de processamento, as quais foram: tempo de pulso de 10 minutos, vazão de recirculação da salmoura de 2,5 m<sup>3</sup>/h, altura da solução osmótica sobre as bandejas de 4 cm, temperatura da solução osmótica de 5°C, pressão de vácuo no sistema de 150 mbar e tempo de processo de 60 minutos.

### **2.5.1. Solução osmótica**

A solução osmótica deve ter uma baixa atividade de água, e, além disso, o soluto deve apresentar um sabor agradável e não ser tóxico. Segundo Lenart (1996), os açúcares formam um grupo que se enquadra nesses requisitos e dentre eles a melhor substância é a sacarose, principalmente se após a osmose, o produto for seco.

Segundo Ditchfield (2000) as soluções de sacarose também possuem diferentes atividades de água e podem ser utilizadas. Entretanto, para se obterem ambientes com diferentes umidades relativas, são necessárias quantidades muito maiores de sacarose para obter-se o mesmo efeito na diminuição da atividade de água que o cloreto de sódio.

### **2.5.2. Concentração molar**

De acordo com Himmelblau e Riggs (2006), a definição mais precisa para mol foi a estabelecida pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas de 1969, que aprovou o mol (símbolo mol no SI) como sendo “a quantidade de uma substância que contém tantas entidades elementares ( $6,022 \times 10^{23}$ ) quanto os átomos que existem em 0,012Kg de carbono 12. As entidades elementares podem ser átomos, moléculas, íons ou outras partículas.

Quando se dispõe de um reagente no estado puro, prepara-se uma solução com molaridade definida pela pesagem de uma fração definida do mol, dissolvendo-se a massa pesada num solvente apropriado (normalmente água) e completando-se a solução até um volume conhecido (RAMOS e MENDES, 2004).

Segundo Ramalho (2006) para se produzir um peixe salgado de boa qualidade, é necessário que seja utilizado também um sal de boa qualidade na salga do produto. Segundo o Instituto Nacional do Sal, um sal de boa qualidade é aquele que contém 98% de cloreto de sódio. Com relação ainda à qualidade do sal, alguns autores recomendam que o mesmo tenha 99% de cloreto de sódio e impurezas devido aos sais de cálcio e magnésio, nunca superiores a 0,4 e 0,05%, respectivamente.

## 2.6. Defumação

O pescado é defumado com o objetivo de apresentar um sabor e aroma mais agradável e mais atraente ao consumidor, porém o pescado defumado é conservado devido aos efeitos combinados da secagem e dos princípios ativos das substâncias químicas bactericidas presentes no fumo da madeira em combustão. De acordo com Brasil (2006), entende-se por "pescado defumado" o produto obtido pela defumação do pescado íntegro, submetido, previamente à cura pelo sal (cloreto de sódio).

Segundo Lopes (2007), a defumação dos alimentos é realizada pela impregnação de essências aromáticas que se desprendem da combustão lenta da madeira, que deve ser criteriosamente escolhida. Entre as recomendadas estão eucalipto, ipê, pau-ferro, jabuticabeira, goiabeira, jacarandá, aroeira e paraju. Podem ser defumados queijos, peixes, carnes, aves, com intenção de lhes conferir sabor e contribuir para o aumento do prazo de validade. O processo valoriza cortes nobres, como lombo de suíno, que pode ser transformado em lombo canadense, lombo com especiarias, etc. Também agrega valor a produtos como toucinho, costela, lingüiça, salame e outros.

Segundo Souza et al. (2004), os métodos ou tipos de defumação variam de acordo com os produtos desejados, tipos de defumadores, madeiras utilizadas, entre outros. No entanto, para a operação de defumação de pescado, existem três fases distintas e imprescindíveis à boa qualidade do produto: a salmouragem, secagem e defumação propriamente dita.

Segundo Santos et al. (2008), a apresentação do pescado de forma mais elaborada, como no caso dos defumados, associada ao uso de antioxidantes naturais, como algumas especiarias, além de aumentar a vida útil desse produto o torna mais apreciado pelos consumidores, estimulando seu consumo.

Mendes et al. (2002), estudaram os aspectos microbiológicos e a vida de prateleira de camarões defumados. Os autores observaram que, após o processo de defumação, os camarões marinhos não apresentaram coliformes totais, presentes inicialmente na matéria-prima. A vida de prateleira do camarão foi maximizada quando o produto foi defumado e quando estocado sob refrigeração por validade de 12 dias.

O sucesso na preparação de defumados depende da aplicação da fumaça e da combinação de fatores físicos e químicos, sendo necessário um controle rigoroso de cada uma

das etapas da defumação. Segundo Ribeiro (2005), o conhecimento da composição da fumaça é um pré-requisito para o estudo do desenvolvimento do sabor e cor, assim como para o entendimento das propriedades bacteriostáticas e antioxidantes dos alimentos defumados.

Souza et al. (2004), estudaram a defumação da tilápia do Nilo inteira eviscerada e filé, quanto aos aspectos referentes às características sensoriais, composição centesimal e perdas ocorridas no processamento. Os resultados apresentaram acréscimos nos teores de lipídios observados nos defumados (filé e inteiro eviscerado), decorrentes da desidratação ocorrida em função do processamento de defumação. Os autores citam que o teor de gordura é muito importante para o processo de defumação e que os peixes considerados gordos (acima de 10% de lipídios) são os mais indicados, principalmente devido ao fato de que esse teor de gordura da musculatura interfere no aroma e sabor do defumado. Geromel e Forster (1982) citam que a gordura do pescado atua como absorvedor das substâncias aromáticas presentes na fumaça.

### **2.6.1. Defumação líquida**

A defumação líquida é um dos mais rápidos métodos de defumação sendo um processo de imersão dos alimentos em soluções de aroma de fumaça natural. De acordo com Schindler (1997), os benefícios da solução de aroma de fumaça natural são:

- Minimização da poluição do ar (como medida primária) e minimização da carga de serragem lançada no esgoto;
- Eliminação dos riscos de fogo e /ou explosão;
- Controle uniforme da cor e sabor do defumado;
- Simplificação da limpeza e manutenção das condições de defumação;
- Eliminação da necessidade da coleta de alcatrão, cinza e outros resíduos;
- Eliminação da presença de elementos carcinogênicos nos produtos defumados;
- Aumento da produtividade com redução dos custos do processo;
- Possui propriedades antioxidantes e bacteriostáticas.

O processo de atomização, imersão e o chuveiro são as formas mais utilizadas na aplicação da fumaça líquida na superfície do alimento. Para alguns produtos a aplicação

interna é preferida. Com aplicação interna, a fumaça líquida é bombeada junto com a salmoura que contém nitrito para manter o pH acima de 4. Pode-se também adicionar diretamente na emulsão de carne (RODRIGUES, 1996; PEZANTES, 2006).

Segundo Vallejo (2006), o processo de fabricação das soluções de aroma de fumaça natural se inicia com a secagem e queima da serragem em fornos com controle da tensão de oxigênio, temperatura e tempo. A fumaça resultante desta combustão é então capturada em torres de condensação utilizando fluxo de água em contra-corrente. Posteriormente, a fumaça líquida condensada é bombeada através de um tanque de decantação e filtros de vários estágios a fim de se obter um produto extremamente seguro e isento de compostos prejudiciais à saúde humana, como o alcatrão e o benzopireno. Subseqüentemente, o produto obtido é processado por mistura, tamponamento ou concentração para formular os diferentes tipos de fumaça que serão destinados a propósitos específicos de aplicação de acordo com o seu perfil bioquímico.

Segundo Gonçalves e Prentice-Hernandez (1998), as soluções de aroma de fumaça natural eliminaram muito dos problemas associados com o método tradicional de defumação de pescado, além de proporcionar uma uniformidade de sabor e cor, sem o inconveniente uso de serragem e limpeza dos fumeiros. Os problemas de poluição utilizando fumaça de lenha também se eliminaram, visto que o alcatrão, resina e o 3,4-benzo(a) pireno foram eliminados nas soluções de aroma de fumaça por envelhecimento e filtragem.

Emerenciano et al. (2008), avaliaram duas técnicas de defumação, a tradicional a quente e a que utiliza aroma natural de fumaça ou “fumaça líquida”, tendo como testemunha o cozimento a vapor de mexilhão. Foram avaliadas as características sensoriais (aparência, cor, aroma, textura, sabor e teor de sal) e o rendimento do processamento. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa independente da técnica de defumação aplicada. Contudo, a técnica de defumação utilizando solução de aroma natural de fumaça se mostrou mais atrativa, apresentando melhores resultados quanto às características sensoriais e do produto final embalado para comercialização.

## **2.7. Secagem de produtos agrícolas**

Segundo Ribeiro (2005), a combinação da salga seca e secagem solar no Brasil é a mais antiga e uma das mais importantes técnicas de conservação de pescado da região Norte e Nordeste, principalmente pelos baixos custos com o processo. Entretanto, a falta de controle de processo pode gerar produtos sem qualidade microbiológica e/ou nutricional.

Segundo Ferreira et al. (2002), um produto efetivamente seco é aquele que o conteúdo de umidade residual é inferior a 25%, entretanto um produto parcialmente desidratado é o que tem a sua umidade residual em torno de 50% e um produto ótimo é aquele com umidade na faixa compreendida entre 35 e 40%.

De acordo com Keey (1972), a secagem é um método utilizado para remoção de uma substância volátil (como água e outras substâncias) de um produto sólido. Segundo Barbanti et al. (1994), trata-se de um processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase.

A secagem é uma operação unitária de retirada de água de um produto por evaporação ou sublimação, mediante aplicação de calor sob condições controladas. A secagem tem como finalidade conservar alimentos através da diminuição da atividade de água do mesmo. Nos últimos 50 anos, tanto a ciência quanto a tecnologia empenharam-se no sentido de aprimorar novos sistemas na área de preservação de alimentos, e esses esforços tornaram viável a desidratação de enorme variedade de produtos para fins comerciais (KAJIYAMA e PARK 2008).

O principal objetivo da secagem é a remoção de água do produto até um determinado teor, na qual a deterioração microbiológica seja minimizada. A ampla variedade de alimentos desidratados presentes atualmente no mercado e o interesse em reunir especificações de qualidade e redução de gastos com energia, confirmam a necessidade de um completo conhecimento da operação de secagem (KROKIDA et al. 2003).

Ruttanapornvareesakul et al. (2005), citam que a secagem é um método extensamente usado para processar e preservar pescado. Reduz a atividade de água e inibe a atividade microbiológica, reduzindo seu índice de umidade. Entretanto, alguns tipos de deterioração ocorrem durante o processo de secagem, tendo por resultado a redução de água e a solubilidade de proteína que passa a ser reduzida.

Segundo Dionello et al. (2009), o conhecimento do efeito do pré-tratamento osmótico sobre a taxa de secagem por convecção pode auxiliar no estabelecimento das melhores condições operacionais deste sistema combinado de preservação de alimentos. Ademais, as características de secagem de qualquer produto, incluindo a avaliação dos modelos matemáticos que melhor descrevem o processo, são importantes na seleção e desenvolvimento de equipamentos e no cálculo dos custos operacionais.

Kilic (2009) estudou as características de secagem e seus efeitos na qualidade de trutas arco-íris salgada. A secagem foi realizada em um secador do tipo ciclone sob as condições experimentais: temperatura de secagem (4, 10, 15 e 20°C), umidade relativa (40 a 50%) e velocidade de ar da secagem mantida constante em 7 m/s devido às baixas temperaturas utilizadas. As amostras salgadas e secas na temperatura de secagem de 4°C foram as que apresentaram melhor qualidade, com pouca decomposição microbiológica e bioquímica.

Chavan et al. (2008), investigaram um sistema híbrido para secagem de peixe utilizando energia solar e biomassa, onde a fonte de energia utilizada foi o eucalipto para a secagem noturna. Os resultados indicaram boa concordância e pode ser usados para melhorar a qualidade do pescado seco.

Reza et al. (2009), aperfeiçoaram o processo de secagem utilizando um túnel de vento com aquecimento em energia solar para a produção em alta qualidade de produtos secos a um baixo custo. Segundo os autores, o valor de mercado sofreu alterações e as perdas pós-colheita através da deterioração, infestação por insetos e de contaminação foram reduzidas. Outro aspecto que foi observado é que a qualidade nas diferentes fases de triagem e de preservação foi reduzida, uma vez que grandes quantidades de matéria prima podem ser manipuladas para a secagem e não houve necessidade de um tempo de espera muito longo durante o período de processamento.

Segundo Oliveira (2005), as características específicas de cada produto, associadas a propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto, é fenômeno comum a qualquer condição de secagem. O processo de secagem, baseado na transferência de calor e de massa pode ser dividida em três períodos. O primeiro período representa o início da secagem, o segundo caracteriza-se pela taxa constante de secagem e no terceiro período a taxa de secagem é decrescente.

### 2.7.1. Modelagem matemática

Nas últimas três décadas consolidaram-se a teoria e a prática de identificação de sistemas. No início, os modelos matemáticos usados para representar os sistemas eram lineares e considerados suficientes apesar de não conseguirem reproduzir o comportamento dinâmico não-linear dos sistemas sob investigação. A maior parte da teoria e dos procedimentos adotados para projetar controladores para tais sistemas eram baseados nestes modelos lineares. Com o avanço tecnológico e industrial, o interesse pela modelagem não-linear e o desenvolvimento de ferramentas matemáticas para entender melhor o comportamento dos fenômenos não-lineares cresceram significativamente, uma vez que as técnicas existentes para modelos lineares não conseguem reproduzir toda a gama de comportamentos dinâmicos dos sistemas reais (COELHO et al. 2002).

Segundo Çengel (2009), a lei de Fick de difusão proposta em 1855 é a relação linear entre a taxa de difusão e gradiente de concentração, isto é, a taxa de difusão de massa de uma espécie química em um meio estacionário em uma determinada direção é proporcional ao gradiente de concentração local nessa direção.

Crank (1975) apresentou uma solução analítica para a Lei de Fick, considerando a distribuição de umidade inicial uniforme e ausência de qualquer resistência térmica, para uma placa plana infinita (Equação 2.1):

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left[-(2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right] \quad (2.1)$$

$X_t$  = umidade média no tempo (t) (kg.kg<sup>-1</sup>. m<sup>-1</sup>s);

$X_e$  = umidade de equilíbrio (kg.kg<sup>-1</sup>. m<sup>-1</sup>s);

$X_0$  = umidade inicial (kg.kg<sup>-1</sup>. m<sup>-1</sup>s);

$D_{ef}$  = difusividade efetiva (m<sup>2</sup>/s<sup>-1</sup>);

$t$  = tempo (s);

$L$  = dimensão característica (meia espessura da placa) (m).

O coeficiente de difusão ( $D_{ef}$ ) é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração da água, e seu valor é sempre obtido pelo ajuste de valores experimentais. A solução da equação de difusão utilizada é uma das mais simples e parece ser a principal razão de seu emprego. Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. Como a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), ela não é intrínseca ao material. Assim, convencionou-se chamá-la de difusividade efetiva (OLIVEIRA et al. 2006).

Para as condições em que o tempo de secagem é longo e o adimensional de umidade é inferior a 0,6, os termos da Equação 2.2 correspondentes a  $i > 1$  são desprezíveis (Uddin et al. 1990; Azoubel 2002), então a equação (1) passa a ser:

$$\ln\left(\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}\right) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2} \quad (2.2)$$

Park (1987) relata que para o período de taxa constante, as considerações termodinâmicas de evaporação da água na linha de saturação de bulbo úmido são suficientes para prever a taxa, uma vez que se trata da evaporação de água livre.

Segundo Perry (1984), o período de taxa decrescente tem início quando termina o período de taxa constante, na umidade crítica. Se a umidade inicial for abaixo da umidade crítica, todo o processo de secagem ocorre no período de taxa decrescente.

Uma importante correlação na secagem de alimentos é a lei exponencial, a qual estabelece que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre. A equação 2.3 descreve esta lei, onde o fator de proporcionalidade  $K$  é denominado de constante de secagem.

$$\frac{dX}{dT} = -K(X - X_e) \quad (2.3)$$

A equação (lei exponencial) conhecida como Modelo de Page, freqüentemente é utilizada no estudo de secagem de produtos agrícolas, por apresentar melhor ajustes experimentais:

$$\left[ \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} \right] = \exp(-K t^n) \quad (2.4)$$

em que:

$b$  = parâmetro do modelo

$K$  = constante do modelo

$t$  = tempo

Heinrich et al. (2002), apresentaram um modelo para ser empregado no processo de secagem em leito fluidizado onde as bases de observação eram os perfis de temperatura do material e o balanço de energéticos. A modelagem diferencia três intervalos: fase de condensação, 1º e 2º período de secagem. Os resultados foram comentados e o modelo teórico proposto foi descrito como suficiente para representar os dados de secagem.

Oliveira et al. (2006), determinaram a difusividade efetiva de raiz de chicória para cada uma das combinações das variáveis independentes (temperatura e velocidade do ar), sendo as curvas desses resultados ajustadas pela solução da Segunda Lei de Fick e pelo modelo de Page. A difusividade efetiva variou de  $3,51 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  até  $10,36 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e a melhor condição de secagem obtida foi a que utilizou a maior temperatura de ar de secagem.

Gurjão (2006) estudou a secagem de polpa de tamarindo na produção do extrato em pó e os modelos de Page, Henderson e Pabis, Midilli e Kucuk foram ajustados por regressão não lineares. Os resultados mostraram que a equação de Midilli e Kucuk foi a que melhor representou os dados de secagem da polpa.

Silva et al. (2008), estudaram a secagem das folhas e haste de coentro em diferentes temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C) com velocidade constante do ar ( $1,5 \text{ m/s}^{-1}$ ). Foram utilizados três modelos matemáticos: Pabis e Henderson, Midilli et al. e logarítmico, para ajuste dos dados experimentais. Os resultados comprovaram que o aumento da temperatura do ar de secagem contribui na velocidade de secagem de coentro e que o modelo matemático de Midilli et al. apresentou melhor ajuste dos dados experimentais.

Dionello et al., (2009) estudaram a cinética e avaliaram nove modelos na secagem de fatias de abacaxi *in natura* e pré-desidratadas por imersão-impregnação. O modelo de Wang e Singh foi o único, entre os nove modelos avaliados, que permitiu explicar, com o grau de acurácia desejável, a variação da razão de umidade em função do tempo.

Doymaz (2008) realizou a secagem de fatias de alho nas temperaturas de 60-80°C e velocidade do ar de 2,5m/s e modelagem matemática pelos modelos de Henderson e Pabis, Logaritmico, Page e Midilli et al. Os valores da difusividade efetiva variaram entre 2,48 a  $5,55 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$  para as amostras de alho sem casca e 1,90 a  $4,14 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$  para amostra com casca em relação as temperaturas estudadas. Entre os modelos estudados o de Midilli et al, foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais na secagem de alho.

Vega-Gálvez et al. (2008), estudaram modelos matemáticos na transferência de massa durante a secagem convectiva de algas. Os modelos utilizados foram Fick, Newton, Henderson-Pabis, Page, Page modificado, modelo logaritmo e os modelos de Midilli-Kukuc. Os modelos de Midilli-Kukuc e modelos logarítmicos obtiveram melhores ajustes as curvas de secagem de algas baseadas nos testes estatísticos. Como esperado os valores de difusividade efetiva aumentaram (5,56, 7,25, 9,38 e  $10,22 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ ) extremamente com o aumento da temperatura de secagem (50, 60, 70 e 80°C), respectivamente.

Doymaz (2007) estudou a influência de uma solução ácida como pré-tratamento na secagem da cereja. As temperaturas de secagem foram de 55 e 65°C e velocidade do ar de 1m/s. O adimensional de umidade encontrados na secagem foram ajustados por modelos semi-teóricos e empíricos (Lewis, Henderson e Pabis, Page, Logaritmo, exponencial, Wang e Singh e Midilli et al.). De acordo com os resultados, o modelo de Midilli et al. e os modelos logarítmicos mostraram um ajuste melhor aos dados experimentais da cereja em comparação aos outros modelos avaliados.

Meisami-asl et al. (2009), realizaram modelagem matemática para os dados experimentais na secagem convectiva de fatias de maçã. As temperaturas de secagem utilizadas foram 40 e 80°C e velocidade do ar de 0,5m/s. Entre os doze modelos avaliados o de Midilli et al. foi o que melhor descreveu as curvas de secagem de maçã. Os efeitos da temperatura, constante de secagem e o coeficiente de determinação confirmaram que o modelo atendia melhor que os outros.

Akpinar e Bicer (2008) realizaram modelagem matemática dos dados de secagem solar de pimenta longa. Entre os treze modelos estudados, o modelo logarítmico e o modelo de Midilli e Kucuk foram os que explicaram melhor o comportamento da secagem (camada fina) de pimenta longa.

Segundo Corrêa et al. (2007) estudaram a secagem de feijão e concluíram que os modelos de Midilli, Page, Henderson e Pabis com dois termos foram os melhores para representar o fenômeno de secagem para o feijão.

Silva et al. (2008) desidrataram polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma (*foam-mat*). Para a representação dos dados experimentais da secagem, três modelos matemáticos (Page, Midilli et al, Henderson e Pabis) foram aplicados adotando-se como critérios de seleção o coeficiente de determinação e o desvio quadrático médio (DQM). De acordo com os resultados obtidos, a temperatura foi o fator determinante no processo de desidratação e o modelo de Midilli foi o que melhor representou o comportamento das curvas.

## **2.8. Atividade de água**

A água nos peixes, assim como em outros alimentos se encontra sobre duas formas: livre e combinada. Segundo Ditchfield (2000), a água livre pode ser removida no processo de secagem, na solidificação por congelamento ou até ficar indisponível pela adição de eletrólitos como o sal ou não eletrólitos como a sacarose.

Segundo Ribeiro e Seravalli (2004), muitos alimentos com o mesmo teor de água diferem significativamente em perecibilidade. Isto é atribuído ao fato da água estar presente no alimento, porém, sem estar disponível para o crescimento de microrganismos e reações, já que está ligada aos constituintes sólidos do alimento e/ou apresentando mobilidade reduzida e não se comportando como água pura.

O processo de deterioração de peixes se inicia logo após a sua captura. Isto acontece devido a fatores físico-químicos, enzimáticos e microbiológicos. Segundo Granada et al. (2003), o desenvolvimento de microrganismos nos alimentos é condicionado por diversos fatores extrínsecos, como temperatura e umidade relativa, e por fatores intrínsecos, a atividade de água, o pH, o potencial redox e a composição do alimento, além da condição física e sanitária.

A atividade de água é uma função termodinâmica que é definida pela razão entre a fugacidade da água na mistura e a fugacidade da água pura no estado padrão, ambas à mesma temperatura. A fugacidade está relacionada com uma “pressão corrigida” e pode ser interpretada como a tendência da água líquida em escapar para o estado gasoso (GAL, 1972).

Segundo Oliveira et al. (2005), todo microrganismo é caracterizado por um valor mínimo de atividade de água de 0,60 a 0,70 e máximo, de 0,90 a 0,99. Cada microrganismo possui um limite mínimo de atividade de água para realizar suas atividades metabólicas; portanto, a atividade de água ótima para fungos fica em torno de 0,7; para leveduras 0,8 e para bactérias 0,9.

Antonio et al. (2006), estudaram a desidratação osmótica de batata doce utilizando a metodologia de superfície de resposta. Os resultados mostraram que a concentração de sal foi o fator que mais influenciou a diminuição da atividade de água, devido o NaCl ser uma substância eletrolítica que se dissocia em íons e interage com as moléculas de água do produto e, conseqüentemente, reduzindo a atividade de água do mesmo. Também, devido ao baixo peso molecular do NaCl, sua taxa de penetração no material é mais elevada. No entanto, o uso de NaCl foi limitado (5% p/p) em função da alta incorporação no alimento, o que gerou um sabor salgado muito acentuado.

Arason (2003) realizou a secagem de bacalhau e observou que para uma boa conservação do pescado, o produto final deve ter aproximadamente 15% de umidade e atividade de água baixa, inferior a 0,6. Segundo Teixeira Neto (2001), a redução da atividade de água para níveis inferiores a 0,6 desacelera a maioria das reações deteriorantes, com exceção das reações de oxidação de lipídios.

O estudo da atividade de água pode ser feito através de isotermas de sorção que descreve a relação entre a atividade de água e umidade de equilíbrio do alimento em uma temperatura específica (OLIVEIRA et al. 2005).

## **2.9. Microbiologia do pescado**

De acordo com o relatório do Ministério da Agricultura (2001), as condições microbiológicas de produtos pesqueiros dependem de vários fatores como a natureza do produto, os processos de tratamento a que foram submetidos, as condições sanitárias do

ambiente e de processamento pelas indústrias, o tipo de temperatura a que foram armazenados, tempo de estocagem, tipos e estágios de crescimento de microorganismos presentes e processos de descongelamento.

Liuson (2003) pesquisou a presença de coliformes totais, fecais e *Salmonella* em tilápias em pesqueiros da região metropolitana de São Paulo. Os resultados revelaram que 70% dos pesqueiros estudados apresentaram *coliformes fecais* ou *Salmonella* em desacordo com a legislação, sendo que 63,3% dos pesqueiros apresentaram coliformes fecais, em níveis acima do permitido pela legislação e 20% dos pesqueiros apresentaram *Salmonella*, independentemente do período do ano estudado.

Marengoni et al. (2009), avaliaram as características microbiológicas de quatro tipos de *fishburgers* elaborados com base na carne de tilápia mecanicamente separada. Os resultados das análises microbiológicas mostraram que tanto a matéria-prima quanto os produtos atenderam aos padrões microbiológicos para derivados de pescado, constatando-se que a utilização de subprodutos (carne mecanicamente separada) gerados no processamento da tilápia pode ser utilizada para agregar valor a um produto final.

Santos et al. (2008), realizaram inspeção visual e avaliações bacteriológicas de 20 amostras de piramutaba congelada, eviscerada e sem cabeça obtidas em três empresas de pescado na cidade de Belo Horizonte, MG. Os resultados mostraram que apenas uma empresa de pescado apresentou amostras com *Salmonella* e *Staphylococcus aureus* sendo que 10% dessas amostras estavam impróprias para o consumo humano.

## **2.10. Microscopia Eletrônica de Varredura**

No estudo dos materiais três tipos de microscopia são utilizados em grande extensão: microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia eletrônica de transmissão (MET).

Segundo Mannheimer (2002) a microscopia eletrônica de varredura tem como principais atributos:

- obtenção de imagens de superfície polidas ou rugosas, com grande profundidade de campo e alta resolução;
- fácil interpretação das imagens, com aparência tridimensional;

- aquisição de sinal digital, possibilitando processamento dos sinais, e manipulação e processamento de imagens;
- com auxílio de acessórios, possibilidade de microanálise de elementos.

### **2.11. Avaliação sensorial de peixe**

Os métodos sensoriais são baseados nas respostas aos estímulos, que produzem sensações cujas dimensões são: intensidade, extensão, duração, qualidade e prazer ou desprazer. Enquanto os estímulos podem ser medidos por métodos físicos e químicos, as sensações são medidas por processos psicológicos. A análise sensorial vem sendo aplicada no desenvolvimento e melhoramento de produtos, controle de qualidade, estudos sobre armazenamento e desenvolvimento de processos (LANZILLOTTI e LANZILLOTTI, 1999).

A análise sensorial destaca-se na avaliação da qualidade e estabilidade de diversos produtos porque nenhum teste instrumental ou químico pode substituir os receptores sensoriais. Os métodos objetivos medem algum fator indicativo da oxidação, como produtos de decomposição, mas apenas a avaliação sensorial quantifica a percepção total de intensidade de sabor ou de qualidade.

No processo de transformação do músculo em carne, o desenvolvimento do *rigor mortis* é acompanhado pela degradação do adenosina-trifosfato (ATP) e produção de ácido láctico durante a glicólise anaeróbica, com concomitante queda do pH. Essa degradação facilita a invasão e o desenvolvimento bacteriano, promovendo o amolecimento da carne, produzindo mudanças indesejáveis de textura (SANTOS, 2006).

Segundo Silva e Silva (2004), os atributos como textura ou consistência da carne, odor/aroma e coloração que, de maneira geral são utilizados pelos compradores para avaliar a qualidade do pescado, são observados proporcionalmente de maneira quase igualitária pelos consumidores. A avaliação das guelras é adotada pela grande maioria, pois cerca de 65% dos provedores de pescado na pesquisa afirmaram que o estado desta estrutura pode demonstrar o frescor do peixe.

Borges et al. (2007), avaliaram a qualidade da corvina eviscerada em diferentes períodos de estocagem a 0°C. Os atributos aroma característico de peixe marinho, lembrando algas marinhas, e aroma de maresia apresentaram relação inversamente proporcional, ou seja,

na corvina recém-capturada (dia 0), o aroma característico era evidente, diminuindo conforme aumentou o tempo de estocagem; o contrário ocorreu com o aroma de maresia. O mesmo ocorreu com os atributos gosto amargo e gosto doce: na corvina recém-capturada, o gosto amargo não era percebido, enquanto o gosto doce era bem evidente.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. MATERIAL**

##### **3.1.1. Matéria-prima**

O peixe utilizado no experimento foi a piraíba da espécie *Brachyplatystoma filamentosum*, adquirida na feira do Ver-o-peso, Belém, Pará. Os peixes foram pesados, eviscerados, previamente lavados com água clorada a 5 ppm, sendo eliminadas todas as sujidades oriundas das embarcações, depois foram embalados em sacos plásticos e congelados a -18°C, colocados dentro de caixa térmica, e cobertos com gelo picado. A caixa foi lacrada com filme plástico, e transportada (transporte aéreo) até o Laboratório de Medidas Físicas da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas.

No laboratório, os exemplares de peixes foram descongelados e avaliados quanto ao rendimento e as seguintes partes componentes do corpo foram pesadas: cabeça, seccionada do corpo na altura da junção com a coluna vertebral; nadadeiras, sendo a nadadeira caudal seccionada à altura do perímetro peduncular; ossos intramusculares; filé; barbatanas e resíduo da filetagem. Cada filé foi pesado e identificado da mesma maneira logo após a filetagem.

##### **3.1.2. Análise morfométrica**

A tomada de comprimento, largura e altura dos exemplares, bem como o comprimento do filé, foram realizadas com o auxílio de uma régua milimetrada, e a largura e a espessura dos filés com um paquímetro. A filetagem foi conduzida por uma única pessoa para evitar o efeito do filetador nos cálculos de rendimento. Os dados de rendimento obtidos foram analisados estatisticamente, determinando as equações de regressão entre as características analisadas

(peso total/peso do filé, peso do filé/comprimento total e peso total/resíduo). Os resíduos foram definidos como a somatória da cabeça, nadadeiras, barbatanas, ossos intramusculares e outros restos de aparas gerados no processamento da piraíba.

Segundo Santos et al. (2006), os dados referentes ao rendimento identificam a quantidade de parte comestível e de nutrientes que compõe o filé de peixe. Com base nos resultados pode-se ter uma orientação da possível utilização desta espécie na exploração comercial.

### 3.2. MÉTODOS

Para a elaboração dos produtos, foram utilizados dois tratamentos de desidratação osmótica e tratamento de defumação líquida seguido de secagem. Os tratamentos foram realizados mediante planejamento experimental para avaliar a influência dos fatores temperatura, concentração molar e tempo de imersão no processo de desidratação osmótica e temperatura de secagem, concentração da solução de fumaça, tempo de imersão no processo de defumação líquida. O diagrama de fluxo da obtenção dos produtos de piraíba está apresentado na Figura 3.1.

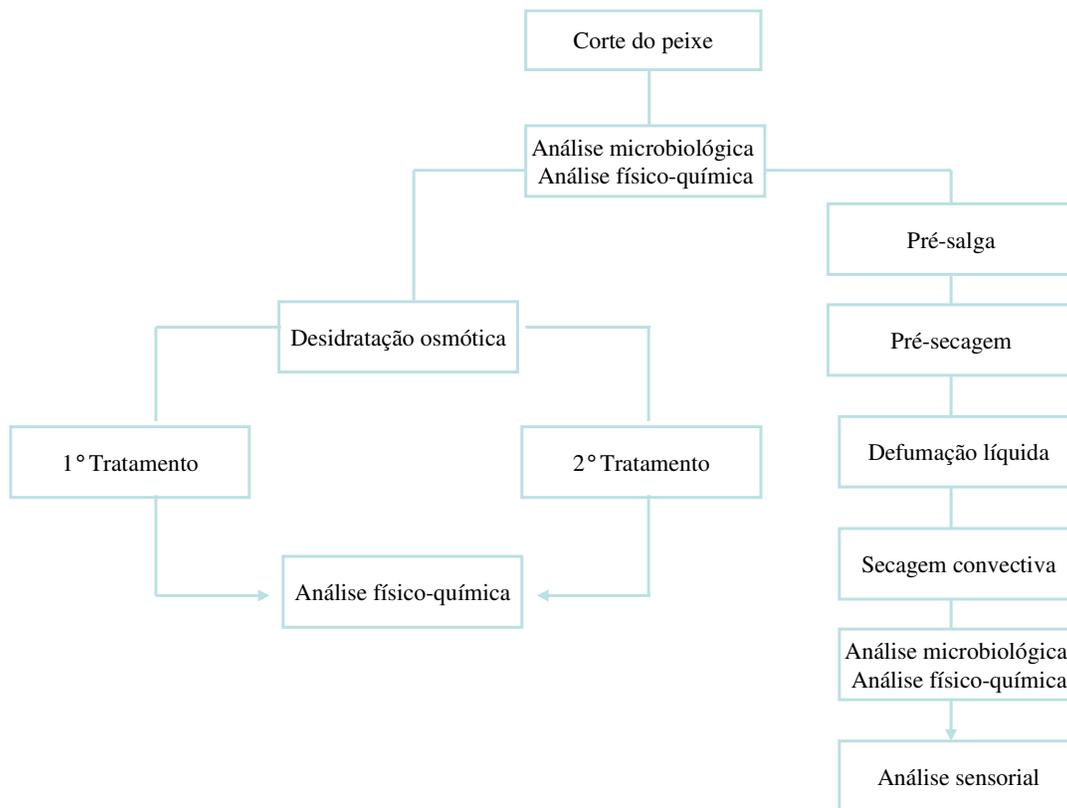


Figura 3.1 – Diagrama de fluxo da elaboração dos produtos de piraíba pré-tratados por desidratação osmótica, defumação líquida e secagem.

### 3.2.1. Preparação das amostras

Para avaliar a melhor geometria das amostras para o processo de desidratação osmótica foram submetidas a ensaios, as amostras esféricas, cúbicas, cilíndricas e em placa plana. As amostras na forma de cilindro não apresentaram fissuras durante o corte, porém, após o processo de desidratação osmótica utilizando concentrações elevadas, as amostras cilíndricas não apresentaram uniformidade.

As amostras cortadas em esfera e placa plana não apresentaram qualidade (quebra das amostras). Optou-se por utilizar a geometria cúbica, com aresta de aproximadamente 1,4 cm, com o intuito de minimizar fissuras nas amostras durante o processo de desidratação osmótica.

O corte dos cubos foi realizado com auxílio de uma faca profissional de aço inoxidável e, para dar a forma, foi usado formas plásticas adquiridas no mercado local.

### **3.2.2. Desidratação osmótica**

#### **3.2.2.1. Planejamento experimental para desidratação osmótica**

Ensaio preliminares de desidratação osmótica foram realizados com o objetivo de verificar a influência da concentração molar, temperatura, e do tempo de processo, sobre a perda de água (Equação 3.3) e ganho de sal (método de Mohr). Com base nos ensaios preliminares foram utilizados dois delineamentos experimentais na desidratação osmótica de piraíba usando diferentes faixas de temperaturas (T), concentrações (C) e tempo de processo (t). A metodologia de superfície de resposta (RSM) foi utilizada para calcular os efeitos das variáveis independentes (T, C e t) sobre as variáveis dependentes (respostas) de perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sal (Gsal). Os dados obtidos foram ajustados ao modelo codificado:

$$\varphi = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 C + \beta_3 t + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} C^2 + \beta_{33} t^2 + \beta_{12} TC + \beta_{13} Tt + \beta_{23} Ct \quad (3.1)$$

Onde:  $\varphi$  = função resposta; T, C e t = Valores das variáveis independentes;  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes lineares estimados pelo método dos quadrados mínimos;  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$  e  $\beta_{33}$  = coeficientes das variáveis quadráticas;  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$  e  $\beta_{23}$  = coeficientes de interação entre as variáveis independentes.

##### **3.2.2.1.1. Primeiro tratamento**

Para o primeiro tratamento de desidratação osmótica, o modelo linear mostrou-se insatisfatório e foi necessário ampliar a faixa de temperatura, concentração da solução e tempo de processo para o emprego de um modelo quadrático. Foi utilizado um planejamento fatorial completo de  $2^3$  com 8 pontos fatoriais, 3 repetições no ponto central e 6 pontos axiais, totalizando 17 ensaios. A Tabela 3.1 apresenta os níveis inferiores (-1,68/-1) e superiores

(+1,68/+1) e o ponto central (0) das variáveis estudadas: temperatura, concentração de NaCl e tempo de processo.

Tabela 3.1 - Definição dos níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental do primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba.

Variáveis independentes	Nível				
	-1,68	-1	0	+1	+1,68
Temperatura (°C)	22	25	30	35	38
Concentração de NaCl (mol/L)	0,03	0,1	0,2	0,3	0,37
Tempo (min)	199	240	300	360	401

A Tabela 3.2 mostra a planilha de planejamento utilizada no primeiro tratamento. Cada fator foi estudado em 5 níveis diferentes e para cada ensaio foram obtidas as respostas de interesse: perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sal (Gsal).

Tabela 3.2 – Planejamento experimental completo  $2^3$  com pontos centrais e axiais realizados para avaliar o primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba.

Ensaio	Variável codificada			Variável real		
	T (°C)	C (mol/l)	t (min)	T (°C)	C (mol/l)	t (min)
1	-1	-1	-1	25	0,1	240
2	+1	-1	-1	35	0,1	240
3	-1	+1	-1	25	0,3	240
4	+1	+1	-1	35	0,3	240
5	-1	-1	+1	25	0,1	360
6	+1	-1	+1	35	0,1	360
7	-1	+1	+1	25	0,3	360
8	+1	+1	+1	35	0,3	360
9	0	0	0	30	0,2	300
10	0	0	0	30	0,2	300
11	0	0	0	30	0,2	300
12	-1,68	0	0	22	0,2	300
13	+1,68	0	0	38	0,2	300
14	0	-1,68	0	30	0,03	300
15	0	+1,68	0	30	0,37	300
16	0	0	-1,68	30	0,2	199
17	0	0	+1,68	30	0,2	401

### 3.2.2.1.2. Segundo tratamento

Para o segundo tratamento de desidratação osmótica, o modelo linear mostrou-se satisfatório e foi realizado de acordo com um planejamento fatorial de  $2^3$ , com 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios, realizados em triplicata. A Tabela 3.3 apresenta os níveis inferiores (-1) e superiores (+1) e o ponto central (0) das variáveis estudadas: temperatura, concentração de NaCl e tempo de processo. A Tabela 3.4 mostra a planilha de planejamento utilizada no segundo tratamento.

Tabela 3.3 - Definição dos níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental do segundo tratamento de desidratação osmótica de pirafiba.

Variáveis independentes	Nível		
	-1	0	+1
Temperatura (°C)	35	40	45
Concentração de NaCl (mol/L)	0,7	0,8	0,9
Tempo (min)	90	120	150

Tabela 3.4 - Planejamento fatorial  $2^3$  com pontos centrais realizados para avaliar o segundo tratamento de desidratação osmótica de pirafiba.

Ensaio	Variável codificada			Variável real		
	T (°C)	C (mol/l)	t (min)	T (°C)	C (mol/l)	t (min)
1	-1	-1	-1	35	0,7	90
2	+1	-1	-1	45	0,7	90
3	-1	+1	-1	35	0,9	90
4	+1	+1	-1	45	0,9	90
5	-1	-1	+1	35	0,7	150
6	+1	-1	+1	45	0,7	150
7	-1	+1	+1	35	0,9	150
8	+1	+1	+1	45	0,9	150
9	0	0	0	30	0,8	120
10	0	0	0	30	0,8	120
11	0	0	0	30	0,8	120

### 3.2.2.2. Preparo da solução osmótica

O preparo da solução osmótica foi realizado usando-se como agente desidratante água destilada e cloreto de sódio (NaCl) da Marca Nuclear (qualidade P.A). Optou-se por usar NaCl P.A por apresentar substâncias puras ( $\text{Na}^+$ ;  $\text{Cl}^-$ ), descartando-se o uso do sal de cozinha que contém 16% de sódio, 26% de iodo e 1 g de impurezas.

Empregou-se a molaridade para preparo da solução osmótica, que é a razão estabelecida entre o número de mol de moléculas do soluto e o volume da solução em litros conforme a Equação 3.2. As soluções foram agitadas em agitador magnético (marca Zurich modelo 8045) até sua estabilização (solução límpida, sem partículas suspensas). Para o preparo foram utilizadas substâncias puras e a massa molar usada nos cálculos foram 58,5 g/mol de cloreto de sódio.

$$M (\text{mol} / L) = \frac{\eta}{V} \quad (3.2)$$

### 3.2.2.3. Aparato experimental

O processo de desidratação osmótica foi realizado no Laboratório de Pós- Colheita em um banho-maria metabólico da marca Dubnoff Digital (Figura 3.2). O aparelho é composto de plataforma de movimento, bandeja de carga com capacidade opcional de frascos, controlador eletrônico de velocidade, termostato eletrônico com indicação digital de temperatura e "set-point".



Figura 3.2 - Equipamento de desidratação osmótica.

### 3.2.2.4. Procedimentos para desidratação osmótica

As amostras (cubos de  $\pm 1,4$  cm de aresta) foram pesadas, identificadas e colocadas em recipientes de vidro de 250 mL contendo a solução osmótica na proporção de 1:20 (amostra:solução) nas concentrações, temperaturas e tempo estabelecidos pelo planejamento experimental. Os recipientes foram colocados no banho-maria, com agitação constante. Após serem retiradas do banho-maria, as amostras foram lavadas com água destilada (20 mL) para remover o excesso de solução desidratante, drenadas, secas e pesadas. Em cada ensaio, as determinações foram realizadas em triplicata. (Figura 3.3). Os produtos desidratados obtidos foram submetidos a determinações de umidade e cloretos para uso nos cálculos de perda de água e ganho de sal (Equação 3.4 e 3.5), respectivamente, e atividade de água e pH para avaliar a influência de cada tratamento sobre a qualidade do produto final.

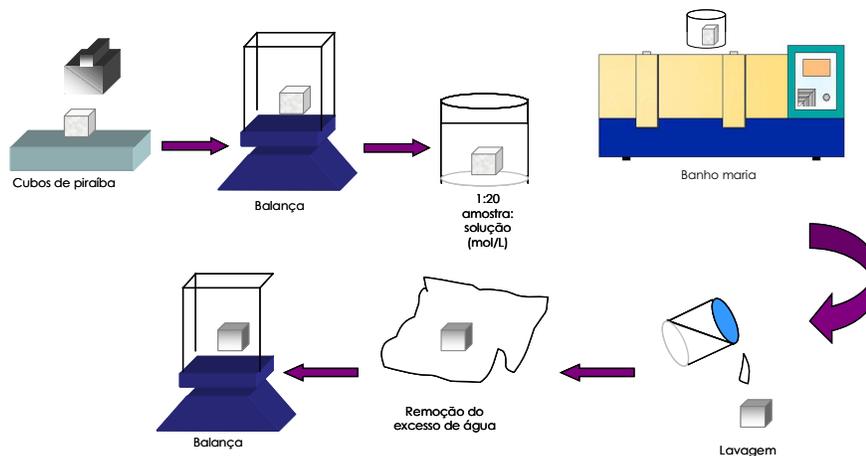


Figura 3.3- Etapas do processo de desidratação osmótica.

Após o processo de desidratação osmótica determinou-se o conteúdo de umidade, pH, conteúdo de cloretos e atividade de água do produto desidratado através de métodos analíticos. Para avaliar a influência dos tratamentos de desidratação osmótica de piraiíba foram determinados os valores de perda de peso, perda de água e ganho de sal. Os parâmetros foram calculados de acordo com as seguintes equações:

Perda de peso (PP):

$$PP(\%) = \frac{(MA_0 - M_t)}{MA_0} \times 100 \quad (3.3)$$

Perda de água (PA):

$$PA(\%) = \frac{MA_0 \cdot U_0 - M_t \cdot U_t}{MA_0} \times 100 \quad (3.4)$$

Ganho de sal (Gsal):

$$Gsal(\%) = \frac{(Sal_t \cdot M_t) - (Sal_0 \cdot MA_0)}{MA_0} \times 100 \quad (3.5)$$

Onde:

$MA_0$  = massa inicial da amostra (g);

$M_t$  = massa da amostra no tempo t (g);

$U_0$  = teor de umidade da amostra inicial, em base úmida (%);

$U_t$  = teor de umidade da amostra no tempo t, em base úmida (%);

$Sal_0$  = conteúdo inicial de cloreto de sódio na amostra (g);

$Sal_t$  = conteúdo de cloreto de sódio na amostra no tempo t (g).

A análise estatística foi realizada através do erro puro e do SS residual para verificar o efeito estimado, erro e grau de significância estatística (p).

O efeito estimado indica o quanto cada fator influi nas respostas estudadas. Segundo Ribeiro et al. (2008), quanto maior é o seu valor, maior é a sua influência, e um efeito positivo indica que ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, a resposta aumenta. Já um efeito negativo indica o contrário, ou seja, ao passar de um valor mínimo para o valor máximo, a resposta diminui.

Não foi possível encontrar na literatura trabalhos relacionados ao uso de concentração molar na elaboração de solução osmótica para desidratação de alimentos. Desta forma, o gráfico de Vilfredo Pareto surgiu exatamente como ferramenta essencial na identificação dos parâmetros de maior influência sobre as respostas no processo de desidratação usando concentrações molares, contribuindo com informações na aplicação dessas soluções em trabalhos futuros. Procurou-se visualizar nos gráficos a frequência dos efeitos estimados (maior e menor efeitos sobre as respostas) calculados pelo erro puro e SS residual.

Para a análise de variância (ANOVA), significância da regressão e falta de ajuste, os efeitos não significativos foram eliminados. Os modelos foram avaliados levando em consideração os valores de F e coeficiente de determinação. Segundo Box e Wetz (1973), para uma regressão ser significativa não apenas estatisticamente, mas também ser útil para fins preditivos, o valor de F calculado para a regressão deve ser no mínimo de quatro a cinco vezes maior que o valor de F tabelado, e o F da falta de ajuste em relação ao erro puro, pelo contrário, deve apresentar o menor valor possível, pois um alto F indica que há uma grande falta de ajuste dos dados ao modelo obtido.

Para análise da atividade de água e o pH foram realizados ensaios preliminares, mediante planejamento experimental dos tratamentos porém os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) não foram bons (inferiores a 0,5) indicando que não seria adequado estabelecer um modelo para a respostas de atividade de água e pH. Portanto, optou-se avaliar correlacionado com os resultados desses parâmetros com obtido para as amostras *in natura* visto que são parâmetros importantes na conservação de alimentos.

### **3.2.3. Defumação líquida e secagem**

#### **3.2.3.1. Planejamento experimental para defumação líquida**

As faixas estudadas neste trabalho para temperatura de secagem, concentração da solução e tempo de imersão foram baseadas na literatura sobre defumação líquida e secagem de peixe. Observou-se uma correlação linear dos dados obtidos através do planejamento fatorial de  $2^3$ , com quatro repetições no ponto central. A Tabela 3.5 apresenta os níveis inferiores (-1) e superiores (+1) e o ponto central (0) dos fatores estudados: temperatura de secagem, concentração da solução de fumaça e tempo de imersão. Foi avaliada a significância dos fatores tendo como resposta a difusividade efetiva. A Tabela 3.6 mostra a planilha de planejamento utilizada na defumação líquida e secagem de piraiíba.

Tabela 3.5 - Definição dos níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental da defumação líquida e secagem de piraíba.

Variáveis independentes	Nível		
	-1	0	+1
Temperatura de secagem (°C)	40	50	60
Concentração da solução % (p/p)	20	25	30
Tempo de imersão (s)	20	25	30

Tabela 3.6 - Planejamento fatorial 2<sup>3</sup> com pontos centrais realizados para avaliar a defumação líquida e secagem de piraíba.

Ensaio	Variável codificada			Variável real		
	T(°C)	C (%)	t (s)	T(°C)	C (%)	t (s)
1	-1	-1	-1	40	20	20
2	+1	-1	-1	60	20	20
3	-1	+1	-1	40	30	20
4	+1	+1	-1	60	30	20
5	-1	-1	+1	40	20	30
6	+1	-1	+1	60	20	30
7	-1	+1	+1	40	30	30
8	+1	+1	+1	60	30	30
9	0	0	0	50	25	25
10	0	0	0	50	25	25
11	0	0	0	50	25	25
12	0	0	0	50	25	25

### 3.2.3.2. Preparo da solução de aroma de fumaça

A solução de aroma de fumaça ou Smokeez® 1517 IC usada no processo de defumação líquida foi doada pela empresa BKG Adicon/ICL Brasil Ltda., de São Bernado do Campo, SP. Segundo Gouveia (2008), a especificação técnica do produto apresenta as seguintes

propriedades físico-químicas: pH (sol. 1%) 2,6 - 3,3; densidade 1,058 - 1,158 g/cm<sup>3</sup> e acidez 14,0-16,0% . As informações nutricionais do Smokez 1517 estão apresentadas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7- Informação nutricional do Smokez 1517.

<b>Caracterização</b>	<b>Valores</b>
Valor energético (kcal)	217,44
Carboidratos (g)	2,00
Proteínas (g)	0,00
Gordura total (g)	3,00
Gordura saturada (g)	1,00
Gordura Trans (g)	0,00
Fibra Alimentar (g)	0,00
Sódio (mg)	4,00

O aroma natural de fumaça é obtido através da pirólise controlada da madeira e tem na sua composição aroma natural, água, polisorbato 80 e corante natural.

### **3.2.3.3. Aparato experimental de secagem**

Para o processo de secagem convectiva, foi utilizado um secador para operar em fluxo paralelo ou perpendicular com bandejas, pertencente ao Laboratório de Secagem de Produtos Agrícolas da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

O equipamento é composto por uma cabine de aço inoxidável, com uma porta independente, onde foram colocadas as bandejas feitas de tela de aço inoxidável (Figura 3.4). A pesagem das amostras foi realizada em uma balança semi-analítica.

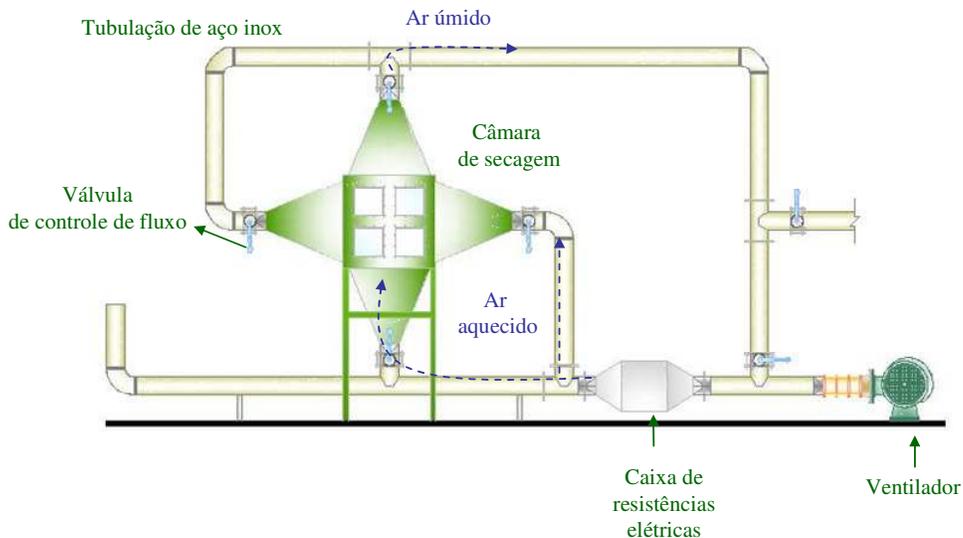


Figura 3.4 - Secador convectivo da Faculdade de Engenharia Agrícola.

#### 3.2.3.4. Procedimentos para defumação líquida e secagem

Os cubos de peixe foram imersos em solução de NaCl (sal de cozinha da marca Cisne) na concentração de 21% por 2 min. Em seguida foram pré-secas durante 30 min na temperatura de 40°C. As etapas de pré-salga e pré-secagem são necessárias para que as amostras apresentem uma superfície brilhante, redução da umidade superficial e maior uniformidade da coloração nas amostras após serem imersas no aroma natural de fumaça.

O processo de defumação foi realizado por imersão das amostras em solução de aroma de fumaça, variando a concentração da solução, tempo de imersão e temperatura de secagem, de acordo com o planejamento fatorial apresentado na Tabela 3.6.

As amostras sem tratamento e defumadas, nas condições selecionadas foram secas em secador de fluxo perpendicular e paralelo para verificar a influência da temperatura de secagem (40, 50 e 60°C) e velocidade do ar de 1,08 m/s. Para atingir a velocidade do ar desejada, a metade e a lateral da câmara de secagem foram vedadas para que o fluxo de ar fosse fornecido apenas sobre as bandejas contendo as amostras. A pesagem das amostras foi realizada através de uma balança semi-analítica (marca Scienteth SA 210) em intervalos de

tempo pré- determinados (15, 30 e 60 minutos) até que o equilíbrio dinâmico entre a amostra e o ar de secagem fosse alcançado. A temperatura e umidade relativa ambiente foram medidas com auxílio de um termo-higrômetro digital.

As etapas do processo de defumação líquida e secagem de piraíba estão apresentadas na Figura 3.5.

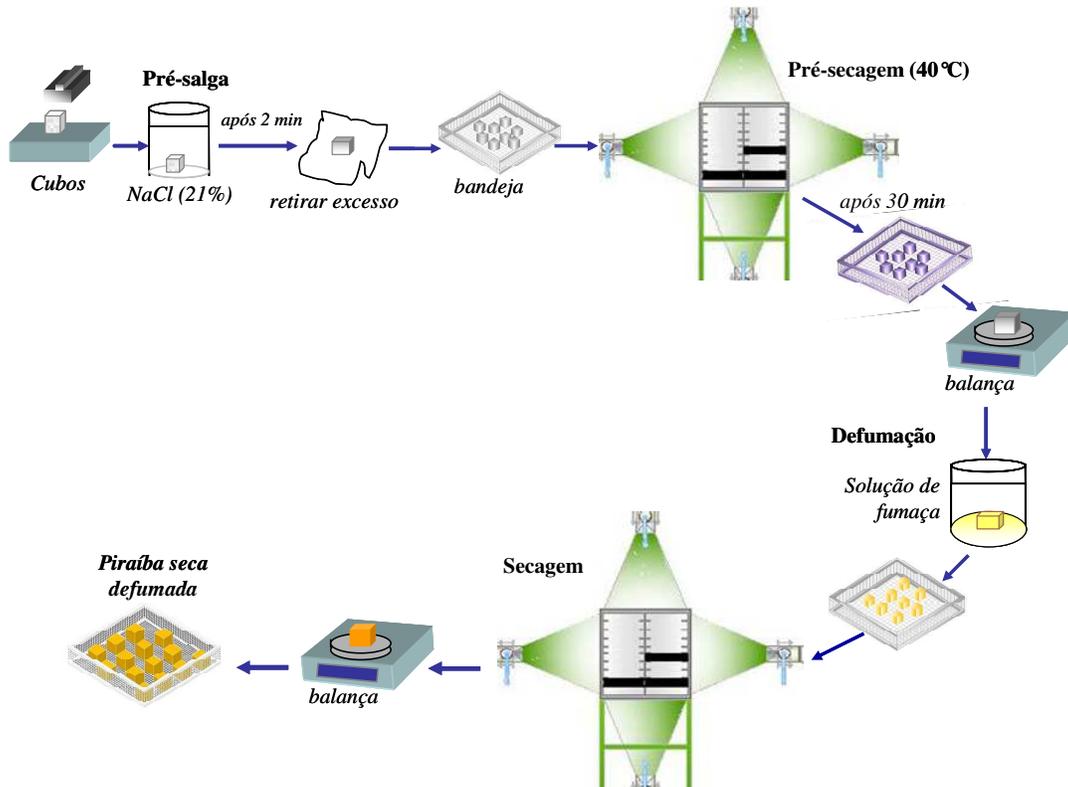


Figura 3.5 - Etapas da defumação líquida e secagem de piraíba.

### 3.2.3.5. Modelagem matemática da cinética de secagem

#### 3.2.3.5.1. Modelo teórico

Para o ajuste dos dados experimentais de secagem de piraíba tratada por defumação em aroma de fumaça, foram utilizados modelos matemáticos capazes de descrever satisfatoriamente a cinética de secagem para as amostras. Tendo em vista da adoção da geometria cúbica para as amostras de piraíba, todos os termos da equação utilizada na

modelagem dos dados de secagem para amostra em formato de placa plana, foram elevados ao cubo.

Para estudar a cinética de secagem e encontrar a difusividade efetiva, fez-se uso da Teoria Difusional, a qual se baseia na equação da difusão líquida mais conhecida como modelo de Fick, onde o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração dentro do sólido (Equação 3.6):

$$Y = \left\{ \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[ - (2i+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{ef} \cdot \frac{t}{4 L^2} \right] \right\}^3 \quad (3.6)$$

Onde:

$Y$  = Razão de umidade do produto;

$D_{ef}$  = difusividade efetiva (m<sup>2</sup>/s);

$L$  = Dimensão característica (meia espessura) (m);

$t$  = tempo (s).

O ajuste dos dados experimentais foi realizado através do modelo (Equação 3.6) para geometria cúbica sem considerar encolhimento durante o processo.

### 3.2.3.5.2. Modelos empíricos (modificados)

Os modelos empíricos de Midilli et al., Page, Wang e Singh e Henderson e Pabis foram modificados para modelagem dos dados experimentais de cubo de piraíba seca defumada. Os resultados foram comparados e avaliados quanto aos valores de desvio relativo médio e coeficiente de determinação. Os modelos empíricos modificados estão descritos a seguir:

Modelo de Midilli et al.:

$$Y = [a_1 \cdot \exp(-K_1 \cdot t^{n_1}) + b_1 \cdot t]^3 \quad (3.7)$$

Modelo de Page:

$$Y = \left[ \exp(-K_2 \cdot t^{n_2}) \right]^3 \quad (3.8)$$

Modelo de Wang e Singh:

$$Y = \left[ 1 + a_2 t + b_2 t^2 \right]^3 \quad (3.9)$$

Modelo de Henderson e Pabis:

$$Y = \left[ a_3 \cdot \exp(-K_3 \cdot t) \right]^3 \quad (3.10)$$

Onde:

$Y$  = Razão de umidade do produto (kg H<sub>2</sub>O/kg ms);

$K_1, K_2, K_3$  = constante do modelo (Midilli et al., Page e Henderson e Pabis);

$a_1, b_1$  e  $n_1$  - Parâmetro do modelo de Midilli et al.;

$n_2$  - Parâmetro do modelo de Page;

$a_2$  e  $b_2$  - Parâmetro do modelo de Wang e Singh;

$a_3$  - Parâmetro do modelo de Henderson e Pabis;

$t$  = tempo (min).

A Equação (3.11) foi utilizada para encontrar a razão de umidade ( $Y$ ), durante a secagem.

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3.11)$$

Onde:

$Y$  = Razão de umidade do produto;

$X_t$  = umidade média no tempo  $t$  (kg.kg<sup>-1</sup> . m<sup>-1</sup>s);

$X_e$  = umidade de equilíbrio (kg.kg<sup>-1</sup> . m<sup>-1</sup>s);

$X_0$  = umidade inicial da amostra (kg.kg<sup>-1</sup> . m<sup>-1</sup>s);

Para ajuste aos modelos matemáticos dos dados experimentais de secagem de piraíba, realizou-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton.

### 3.3. Análise estatística dos dados experimentais

Os ajustes dos modelos aos dados experimentais da desidratação osmótica, defumação líquida e secagem foram realizados através de regressão linear e não linear do programa STATISTICA, versão 6.0, através da análise de variância (ANOVA) e teste de Fischer (F). Para a escolha dos melhores ajustes foram utilizados como critérios o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (BARROS NETO et al. 1995). Segundo Lomauro et al. (1985) um modelo é considerado preditivo para valores de  $P < 10\%$ . O módulo do desvio relativo médio (P) é definido:

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_p - V_o|}{V_p} \quad (3.12)$$

Onde:

P = desvio relativo médio (%);

$V_p$  = valores preditos pelo modelo;

$V_o$  = valores observados experimentalmente;

N = número de pontos experimentais.

### 3.4. Análise físico-química

Foi realizada a caracterização físico-química da matéria-prima e das amostras desidratadas obtidas mediante ensaios no ponto central para cada tratamento de desidratação osmótica. Foram realizadas as seguintes análises:

#### *Atividade de água*

A determinação da atividade de água foi realizada após a desidratação osmótica por medida direta através do instrumento Aqualab Pawkit (Decagon Devices Pullman) modelo WA 99163.

### *Umidade*

O conteúdo de umidade foi determinado pesando-se 1g da amostra em cadinho de alumínio, previamente tarado. O conjunto de cadinho e amostra foi colocado em estufa a vácuo (marca Napco modelo 5851) a 70°C, até massa constante, de acordo com a metodologia da AOAC (1995).

### *Cinzas*

O teor de cinzas foi determinado por incineração da matéria orgânica, em mufla a 550°C, até massa constante, de acordo com a AOAC (1995).

### *Proteínas*

A análise de proteínas foi determinada mediante a determinação do nitrogênio total, pelo método Kjeldahl. Neste método, determina-se o conteúdo de nitrogênio na matéria orgânica, incluindo o nitrogênio protéico propriamente dito e outros compostos nitrogenados não protéicos, tais como aminas, aminoácidos, entre outros. Neste caso, o resultado é expresso em proteína bruta ou total, utilizando para o cálculo o fator 6,25 (AOAC, 1995).

### *Lipídios*

O teor de lipídios foi determinado pelo método de Bligh e Dyer (1959), utilizando uma mistura de clorofórmio e metanol como solvente e água. A amostra é triturada juntamente com metanol e clorofórmio deixando formar apenas uma fase. Depois, mais clorofórmio é adicionado, juntamente com a água estabelecendo-se assim duas fases. Os lipídeos ficam na fase do clorofórmio, que pode ser removido por evaporação em estufa com circulação forçada a 100°C, até massa constante conforme metodologia da AOAC (1995).

### *Cloreto de Sódio*

O conteúdo de cloretos foi determinado de acordo com o Método de Mohr, baseado na titulação com nitrato de prata, utilizando-se cromato de potássio como indicador. (RANGANNA, 1977).

### *pH (potencial hidrogeniônico)*

A determinação do pH foi mensurado com auxílio de medidor de pH digital, marca Analion, calibrado para a faixa de 4,0 a 7,0.

### **3.5. Análise microbiológica**

A avaliação da qualidade microbiológica foi realizada na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, adotando-se o procedimento de Vanderzant e Splittoesser (1992).

Foram realizadas as análises microbiológicas para o peixe com e sem tratamento de defumação líquida de acordo com a Resolução – RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, de acordo com a metodologia do FDA. As amostras foram avaliadas quanto à contagem de *staphylococcus aureus* e detecção de *salmonella*.

### **3.6. Análise da microestrutura**

As imagens da estrutura celular da piraíba seca (*in natura*), desidratadas osmoticamente (ensaios no ponto central de cada planejamento experimental) e secas defumadas (condição escolhida para análise sensorial ou concentração de 20%, tempo de imersão 28s e temperatura de 60°C) foram obtidas no Laboratório de Microscopia do Instituto de Biologia (Unicamp) utilizando-se Microscópio Eletrônico de Varredura. As amostras foram cobertas com ouro (*stubs*) e fixadas em suportes metálicos (*Sputter Coater*).

### **3.7. Análise sensorial (aplicação)**

#### **3.7.1. Preparo das amostras defumadas**

Os produtos de piraíba seca defumada para a análise sensorial foram preparados utilizando os mesmos procedimentos de defumação e secagem citados anteriormente. Com base nos resultados de difusividade efetiva (Figura 4.24) foram escolhidas duas condições de processo para serem aplicadas através de um produto na análise sensorial: A<sub>1</sub> = concentração

(20%), tempo de imersão (28s); A<sub>2</sub> =concentração (20%), tempo de imersão (30s). A amostra padrão (A<sub>0</sub>) foi elaborada através da secagem dos cubos de peixe *in natura*. Os ensaios de secagem na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,08m/s foram realizados logo após a defumação e até massa constante.

### **3.7.2. Preparo do kibe**

Cada amostra de kibe ( A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>) foi elaborada utilizando os seguintes ingredientes: farinha de kibe (300g), ovo (1 unidade), salsa desidratada (20g) e piraíba seca (90g). Para o preparo do kibe, a farinha (após 24hs de imersão em água) foi prensada para retirada do excesso de água e o peixe seco homogeneizado com auxílio de um multiprocessador de alimentos da marca Walitta. Posteriormente a farinha de kibe, a salsa, ovo e o peixe seco triturado foram misturados. O kibe foi colocado em formas de alumínio (identificadas) e levados para estufa de circulação de ar mantida a uma temperatura de 125°C por aproximadamente 30 min. O fluxograma da elaboração do kibe encontra-se no Apêndice A1. A farinha de kibe (marca Yoki) e salsa desidratada (marca Kodalar) utilizadas nos testes foram adquiridas no mercado local.

### **3.7.3. Teste sensorial**

A análise sensorial foi realizada no Laboratório de tecnologia pós-colheita cujas instalações incluem cabinas individuais e controle de iluminação e temperatura ambiente. A análise foi realizada por 30 provadores não treinados, de ambos os sexo, que utilizaram uma escala hedônica estruturada de 1 a 9 pontos que, para os atributos aroma, sabor, teor de sal, textura e impressão global, o valor 1 se referia a condição “Desgostei muitíssimo” e o valor 9 “Gostei muitíssimo”. A ficha de avaliação das amostras encontra-se no Apêndice A2.

As amostras de kibe foram preparadas (uma única vez) no dia do teste e servidas (temperatura ambiente) em pequenos pratos descartáveis, identificadas por um número com três dígitos e dispostas aleatoriamente. Foram servidos biscoitos (água e sal) e água mineral para os provadores entre uma análise e outra, no sentido de minimizar os efeitos do sabor residual deixado na boca, pela prova anterior.

Os resultados dos testes foram avaliados através da Análise de Variância (ANOVA) e testes de médias (Tukey 5%), utilizando o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 beta.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização física da matéria-prima

O conhecimento da proporção da matéria-prima que será transformada em produtos finais para comercialização, bem como da quantidade que fará parte do resíduo do processamento permite o planejamento logístico da produção e os cálculos necessários para a avaliação da eficiência produtiva da empresa processadora de pescado (CARNEIRO et al. 2004).

Para avaliar o rendimento de filé e resíduos gerados no processamento de piraíba, foram adquiridos sete exemplares de médio porte na Feira do Ver-o-Peso, Estado do Pará. Os resultados da caracterização física e valores percentuais em relação aos valores médios de rendimento estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Valores médios, desvio padrão e valores percentuais de rendimento da piraíba.

<b>Características</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Peso total (g)	2207	4156	2986	737,61	-
Peso do filé s/pele (g)	1207	2591	1707	483,19	57,17
Peso da cabeça (g)	658,65	1002	785,29	138,97	26,29
Peso das nadadeiras + barbatanas (g)	81,90	174,49	112,30	33,64	3,76
Peso da carcaça (g)	211,00	507,34	381,27	118,64	12,76
Comprimento (cm)	70	84	74	5,53	-
Largura (cm)	10	20	14	3,09	-
Espessura (cm)	14	38	26	9,58	-

Os valores médios de peso total (peixe inteiro) e peso do filé de piraíba foram de  $2986 \pm 737,61\text{g}$  e  $1707 \pm 483,19\text{g}$ , respectivamente. O valor médio do rendimento de filé (sem pele) para a piraíba foi de 57% sobre o peso total, estando dentro da faixa citada por Contreras-Guzmán (2002) que encontrou rendimentos de filés de 32,8% para peixes marinhos e 59,8% para peixes de água doce.

Santos et al. (2006) estudaram o rendimento de filé de peixe de couro, cujo o nome vulgar é palometa (*Serrasalmus spilopleura*). A média do peso do rendimento de filé de palometa foi de 32% do peso total do peixe. O rendimento de filé variou de 31,2% para os peixes menores (de 6,4 a 39g), 32,1% (40 a 89g) para os peixes médios e 36,3% (90 a 135,8g) para os peixes maiores.

Viegas et al. (2002), avaliaram o efeito do peso da truta arco-íris, (*Oncorhynchus mykiss*) sobre o rendimento dos filés. Três classes de peso de abate para a truta foram avaliadas no trabalho (CP1= 300 a 345g, CP2= 350 a 395g e CP3= 400 a 445g). Os resultados comprovaram que a faixa de peso de abate de 350 g a 395 g (CP2) seria mais vantajosa economicamente por proporcionar maior rendimento de filé.

Foi obtida uma regressão linear significativa ( $p < 0,01$ ) entre o peso total e o peso do filé com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,98, representada na Figura 4.1. Observa-se que este pescado tem um elevado rendimento em filé, podendo servir para atender as demandas por filé de peixe em indústrias brasileiras.

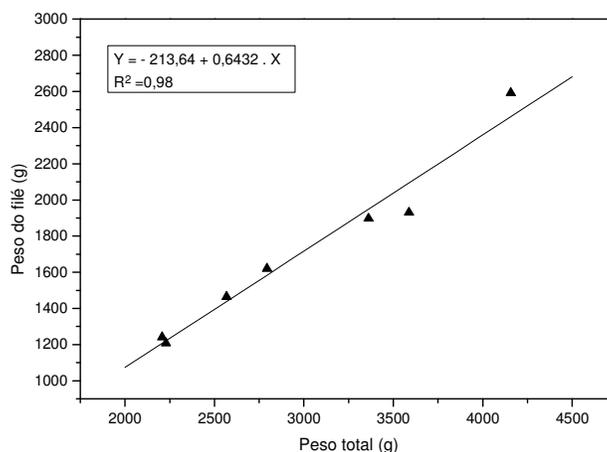


Figura 4.1- Relação entre o peso total e o peso do filé de piraíba.

Ribeiro (2005) encontrou um bom aproveitamento de filé para o peixe de couro mapará, com rendimento médio em peso de 52,67% do peso total dos exemplares analisados, após a etapa de beneficiamento. Se fosse levada em consideração toda a parte comestível (filé + aparas) este valor alcançaria 63,82% do peso total.

Carneiro et al. (2004), avaliaram o rendimento do jundiá (*Rhamdia quelen*) como matéria-prima para o processamento mínimo em diferentes classes de pesos (200-300 g, 301-400 g, 401-500 g, 501-600 g, 601-700 g e 701-800 g). Devido ao crescimento mais acelerado das fêmeas, apenas indivíduos do sexo feminino foram encontrados nas classes de peso acima de 500 g. O maior rendimento de filé foi de 34% do peso total encontrado para exemplares com maior peso (728g).

O comprimento variou desde 70 até 84 cm com uma média de  $74 \pm 5,53$  cm. Foi obtida uma regressão linear significativa ( $p < 0,01$ ) entre comprimento total e peso do filé, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,95. A relação entre o peso do filé e comprimento total da piraíba está representada na Figura 4.2.

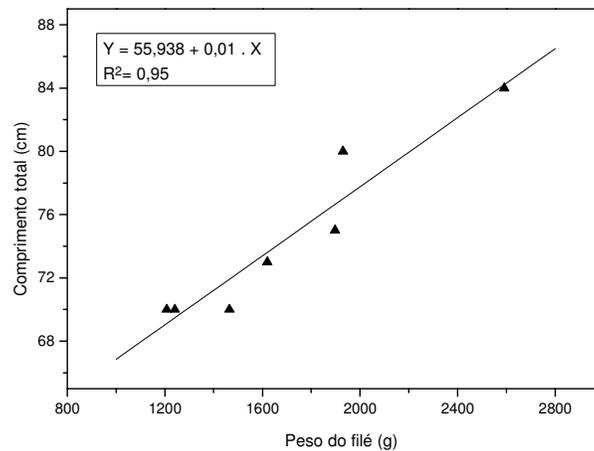


Figura 4.2- Relação do peso do filé e o comprimento total de piraíba.

Gomiero et al. (2003) estudaram o rendimento de carcaça de peixe matrinhã nos diferentes cortes de cabeça. Com relação ao comprimento do filé e comprimento padrão do

matrinchã, o corte oblíquo da cabeça mostrou resultados superiores quando comparado ao corte reto da cabeça.

Santos et al. (2001), encontraram rendimento médio de filé para traíra de  $44,33\% \pm 9,51$  sobre o peso total, sendo que os machos apresentaram rendimento de filé superior ( $48,63\%$ ) que as fêmeas ( $46,12\%$ ). O maior rendimento do filé nos machos, possivelmente ocorreu devido às fêmeas estarem em desenvolvimento gonadal em estágio evoluído, coincidindo o período de coleta com a época de reprodução.

Os resíduos foram definidos como a somatória da cabeça, nadadeiras, carcaça e outros restos de aparas gerados no processamento da piraíba, e sua relação com o peso total está apresentada na Figura 4.3. O valor médio dos resíduos variou de 966 a 1.657 g, com média de 1.278 g. Foi obtida uma regressão linear significativa ( $p < 0,01$ ) entre o peso total e os resíduos estudados, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,94.

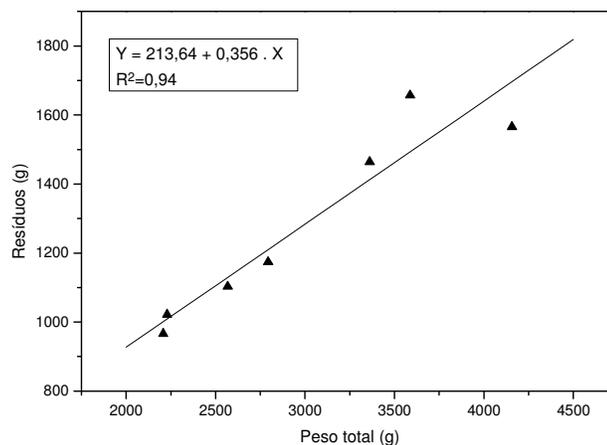


Figura 4.3- Relação do peso total e os resíduos de piraíba.

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) obtidos foram considerados altos, o que indica um alto grau de ajuste das equações de regressão.

De acordo com o relatório do Ministério da Agricultura (2001), os resíduos gerados pelo processo de beneficiamento de pescado apresentam grande potencial para a uma recuperação de materiais e energia dentro da cadeia produtiva da pesca. No entanto, devido a atual forma como estão sendo dispostos e armazenados nas empresas de beneficiamento, estes

resíduos acabam sendo rapidamente degradados pela ação bacteriana, afetando sensivelmente a qualidade deste material e limitando uma variedade de possibilidades para elaboração de subprodutos.

Freato et al. (2005), avaliaram o efeito do peso de abate sobre os rendimentos do processamento do peixe teleósteo piracanjuba (*Brycon orbignyanus*, Valenciennes, 1849) Segundo esses autores as piracanjubas abatidas em classes de peso mais elevadas proporcionam maior rendimento de filé sem pele. Portanto, os peixes destinados ao processo de filetagem devem ser abatidos, preferencialmente, com pesos mais elevados. Já os peixes cultivados com o intuito de serem comercializados na forma de carcaça ou inteiros eviscerados podem ser abatidos em pesos menores, pois a redução na porcentagem da cabeça não foi suficiente para aumentar o rendimento da carcaça, em razão, provavelmente, de um maior aumento da porcentagem de vísceras com o aumento do peso de abate.

#### 4.2. Caracterização físico-química da matéria prima e produto final

Os resultados da análise físico-química da piraíba seca (*in natura*), piraíba desidratada osmoticamente (primeiro e segundo tratamento) e piraíba seca defumada estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Composição centesimal da piraíba seca (*in natura*), desidratada osmoticamente e seca defumada.

<b>Análise</b>	<b><i>In natura</i></b>	<b>1° Tratamento</b>	<b>2° Tratamento</b>	<b>S. defumada</b>
Umidade (%)*	82,4 ± 0,80	84,45 ± 1,61	71,89 ± 4,9	81,23 ± 5,83
Cinzas (%)	1,01 ± 0,05	3,08 ± 0,99	5,55 ± 0,30	16,17 ± 0,72
Proteínas (%)	16,63 ± 0,80	-	-	-
Lipídios (%)	14,55 ± 0,30	11,51±1,24	9,78 ± 2,20	7,69 ± 0,10
pH	6,68 ± 0,04	6,60 ± 0,18	6,25±0,11	-
a <sub>w</sub>	0,987 ± 0,006	0,939±0,031	0,89 ± 0,01	-
Cloretos (g/100g)	0,44 ± 0,18	5,93 ± 2,50	19 ± 2,94	8,9 ± 3,0

\* base úmida

Devido à dificuldade de encontrar a composição físico-química da piraíba, os valores encontrados foram comparados com os valores de outros peixes de água doce.

Os resultados encontrados para a piraíba seca (*in natura*) foram concordantes aos encontrados por Simões (2007), que estudando a composição centesimal de tilápia do Nilo observou valores médios de cloretos de 0,44 g/100g, pH de 6,68, atividade de água de 0,983, cinzas de 1,09% e proteína de 19,36%.

Observa-se na Tabela 4.2, que as amostras desidratadas osmoticamente apresentaram teores de lipídios, pH e atividade de água menor que a piraíba seca sem tratamento. Ribeiro (2005) estudou a desidratação osmótica de mapará em solução de NaCl e encontrou elevados teores de cloretos 20,4, 24,23 e 30,84 g/100g e baixos valores de atividade de água (0,78, 0,76 e 0,75) nas amostras pré-tratadas por desidratação osmótica (numa faixa de concentração de 20 a 26%) e secas na temperatura de 40, 50 e 60°C, respectivamente. Esses resultados foram superiores aos encontrados para a piraíba desidratada, em ambos os tratamentos.

Os resultados da análise de umidade (base úmida), cinzas e lipídios de piraíba seca defumada foram discordantes aos encontrados por Gonçalves e Cezarini (2008) que realizaram a defumação de filés de jundiá em aroma de fumaça e encontram valores médios de umidade de 58,94%, cinzas de 3,58 % e lipídios de 2,73 %. O aumento dos teores médios de cinzas (16,17%) e cloretos (8,9 g/100g) nas amostras secas defumadas, provavelmente, ocorreu devido à presença de cloreto de sódio (sal de cozinha) e compostos da fumaça no músculo, durante o processo de pré-salga e defumação, sendo que o mesmo efeito (salga) foi observado por Souza (2004).

O pescado apresenta condições intrínsecas que propiciam a multiplicação microbiana, podendo reduzir a vida útil do produto, que passará a representar risco à saúde pública. A elevada atividade de água, a composição química, o teor de gorduras insaturadas facilmente oxidáveis e o pH próximo da neutralidade da carne de peixe são os fatores determinantes no crescimento microbiano (OLIVEIRA et al., 2008).

Segundo Stevanato et al. (2007), a oxidação lipídica é a deterioração oxidativa de ácidos graxos, que pode ser iniciada por via enzimática (ação da lipoxigenase) ou não enzimática, por fatores como calor, luz, oxigênio, traços de metais, etc.

### 4.3. Análise microbiológica da matéria-prima e piraíba defumada

Em função dos padrões microbiológicos exigidos pela Resolução – RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, e Portaria 451 de 19 de setembro de 1997, do Ministério da Saúde, foram realizadas análises microbiológicas específicas. Os resultados dessa análise para a matéria-prima e para produtos secos defumados estão apresentados na Tabela 4.3. Observa-se que a matéria-prima e produtos defumados de piraíba estavam dentro dos limites da Legislação Brasileira.

Tabela 4.3 - Análise microbiológica da matéria-prima (filés) e produtos secos defumados.

<i>Análises</i>	<i>Matéria-prima</i>	<i>Defumados</i>	<i>Legislação</i>
<i>Salmonella</i>	Ausência em 25 g	Ausência em 25 g	Ausência em 25 g
<i>S. aureus</i>	$<1 \times 10^2$ UFC/g**	$<1 \times 10^2$ UFC/g**	Max $10^3$ /UFCg

A ausência de *Staphylococcus aureus* e *Salmonella* nas amostras analisadas indica que os procedimentos sanitários e higiênicos foram corretamente seguidos desde a captura até a preparação dos produtos defumados. Se houvesse a confirmação da presença de tais bactérias, a matéria-prima deveria ser descartada para impedir qualquer tipo de contaminação e riscos à saúde humana. Pacheco et al. (2004) analisaram bactérias mesofílicas em pescado de água doce e comprovaram que 60% das amostras a *Salmonella* estava presente. Em relação à *Salmonella* sp o recomendado, por órgãos oficiais, é que a bactéria esteja ausente.

Segundo Germano e Germano (2003) os alimentos com elevado teor de umidade e com alta porcentagem de proteínas, tais como as carnes são frequentemente incriminadas em surtos de intoxicação *estafilocócica*. De modo geral, todos os alimentos que requerem considerável manipulação durante o seu preparo e cuja temperatura de conservação é inadequada são passíveis de causar intoxicação.

A salmonelose é considerada um dos mais importantes problemas de saúde pública em todos os países. O gênero *Salmonella* é um dos principais agentes envolvidos nos surtos de toxinfecções alimentares. Pombo et al. (2007) avaliaram a qualidade de peixes anchovadas comercializados no mercado interno. Os resultados mostraram que as amostras analisadas

encontraram-se dentro do padrão oficial, usando como referência a RDC n° 12, em relação à *Salmonella* e *coliformes termotolerantes*. Duas amostras apresentaram maiores valores de *Staphylococcus coagulase* positivo.

#### **4.4. Desidratação osmótica**

##### **4.4.1. Primeiro tratamento**

Os dados experimentais para a perda de peso (PP), perda de água (PA), Ganho de sal (Gsal), atividade de água (aw) e pH durante o processo de desidratação osmótica de cubos de piraíba, de acordo com o planejamento experimental proposto no primeiro tratamento, encontram-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Valores experimentais das variáveis dependentes (respostas) para o primeiro tratamento de desidratação osmótica de pirafba.

Ensaio	Variáveis Independentes			(Variáveis dependentes) Respostas				
	T (°C)	C (mol/L)	t (min)	PP (%)	PA (%)	Gsal (%)	aw	pH
1	25 (-1)	0,1(-1)	240(-1)	-11,673	-12,482	0,17	0,950	6,94
2	35 (+1)	0,1 (-1)	240 (-1)	-2,415	-1,454	0,16	0,950	6,88
3	25 (-1)	0,3 (+1)	240(-1)	-20,383	-19,801	0,46	0,960	6,78
4	35 (+1)	0,3 (+1)	240 (-1)	-17,893	-17,253	0,41	0,950	6,67
5	25 (-1)	0,1(-1)	360 (+1)	-9,654	-9,498	0,15	0,940	6,64
6	35 (+1)	0,1 (-1)	360 (+1)	-10,387	-10,217	0,17	0,915	6,66
7	25 (-1)	0,3 (+1)	360 (+1)	-12,166	-13,792	0,39	0,850	6,78
8	35 (+1)	0,3 (+1)	360 (+1)	-16,621	-15,203	0,48	0,950	6,63
9	30 (0)	0,2 (0)	300 (0)	-6,317	-6,892	0,26	0,970	6,47
10	30 (0)	0,2 (0)	300 (0)	-4,179	-5,795	0,22	0,960	6,51
11	30 (0)	0,2 (0)	300 (0)	-4,664	-5,358	0,24	0,950	6,35
12	22 (- $\alpha$ )	0,2 (0)	300 (0)	-24,167	-26,279	0,47	0,950	6,79
13	38 (+ $\alpha$ )	0,2 (0)	300 (0)	-2,636	-2,791	0,32	0,930	6,5
14	30 (0)	0,03(- $\alpha$ )	300 (0)	3,454	3,316	0,05	0,970	6,37
15	30 (0)	0,37(+ $\alpha$ )	300 (0)	-44,699	-44,373	0,62	0,900	6,34
16	30 (0)	0,2 (0)	199 (- $\alpha$ )	0,324	-1,262	0,18	0,963	6,44
17	30 (0)	0,2 (0)	401 (+ $\alpha$ )	-23,627	-23,105	0,42	0,960	6,57

T = temperatura (°C); C= concentração molar (mol/L); t=tempo (min).

Observa-se que a maioria dos ensaios de desidratação osmótica as respostas de PP e PA foram negativas. Os valores de atividade de água das amostras desidratadas foram menores quando comparado com os valores obtidos nas amostras sem tratamento (Tabela 4.2), destacando-se nos ensaios 6, 7, 13 e 15. Verifica-se que os resultados de pH, na maioria dos ensaios, estão dentro dos limites de pH para pescados. Segundo Siqueira (2001), os limites máximos de pH da carne de pescado devem estar entre 6,5 a 6,8 nas regiões internas e

externas da carne, respectivamente, sendo que em caso de elevação do pH no músculo pode estar ligado a autólise e posterior contaminação bacteriana.

Uma importante função do sal na indústria de produtos cárneos é a expansão das proteínas sarcoplasmáticas. A extração e a solubilização dessas proteínas musculares contribuem para a emulsificação das gorduras e para aumentar sua capacidade de retenção de água, reduzindo as perdas de peso ao cozimento, contribuindo para melhorar a qualidade e a textura do produto (SOBRINHO et al. 2004). Segundo Gravier et al. (2006), o cloreto de sódio age como preservativo e modifica a capacidade da água de prender as proteínas.

#### **4.4.1.1. Perda de Peso**

Os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais de perda de peso da piraíba estão apresentados na Tabela 4.5. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Para a resposta perda de peso da piraíba, todos os fatores foram significativos a 95% de confiança, com exceção para a interação temperatura x concentração de NaCl. No entanto, no cálculo dos efeitos correspondentes ao SS residual apenas a concentração de NaCl foi significativa, ou seja, o restante dos fatores não foram significativos.

O efeito estimado indica o quanto cada fator influi nas respostas estudadas (neste caso, a perda de peso). Observa-se que a temperatura (L) apresentou efeito positivo indicando que ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável estudada, a perda de peso aumenta. Por outro lado, todos os outros efeitos foram negativos, ou seja, menor resposta de perda de peso.

Tabela 4.5 - Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para perda de peso utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.

Variável	Erro puro			SS residual		
	Efeito Estimado	Erro	<i>p</i>	Efeito Estimado	Erro	<i>p</i>
<i>Média Global</i>	<b>-5,2677</b>	<b>0,6457</b>	<b>0,0146</b>	-5,2677	5,6570	0,3827
(1)Temperatura (L)	<b>6,2634</b>	<b>0,6068</b>	<b>0,0092</b>	6,2634	5,3162	0,2772
Temperatura (Q)	<b>-4,4803</b>	<b>0,6685</b>	<b>0,0215</b>	-4,4803	5,8568	0,4693
(2) NaCl (L)	<b>-16,6848</b>	<b>0,6068</b>	<b>0,0013</b>	<b>-16,6848</b>	<b>5,3162</b>	<b>0,0164</b>
NaCl (Q)	<b>-9,5974</b>	<b>0,6685</b>	<b>0,0048</b>	-9,5974	5,8568	0,1453
(3) tempo (L)	<b>-5,3796</b>	<b>0,6068</b>	<b>0,0124</b>	-5,3796	5,3162	0,3452
tempo (Q)	<b>-3,2405</b>	<b>0,6685</b>	<b>0,0400</b>	-3,2405	5,8568	0,5972
1L e 2L	-2,6223	0,7925	0,0804	-2,6223	6,9429	0,7168
1L e 3L	<b>-4,2340</b>	<b>0,7925</b>	<b>0,0332</b>	-4,2340	6,9429	0,5612
2L e 3L	<b>3,8604</b>	<b>0,7925</b>	<b>0,0396</b>	3,8604	6,9429	0,5955

OBS: Os valores em negrito apresentam-se significativos.

(L) = Efeito linear

(Q) = Efeito quadrático

O valor de *p* é o nível de significância da variável independente sobre a resposta em estudo. Normalmente é escolhido como intervalo de confiança o valor de 95%. Desta forma pode-se afirmar que, para os valores de  $p \leq 0,05$ , a variável é considerada estatisticamente significativa.

A Figura 4.4 mostra o gráfico de Pareto para a desidratação osmótica (primeiro tratamento). Pela análise de Pareto, é possível verificar que os efeitos lineares das variáveis sobre a resposta de perda de peso foram os mais significativos nas condições estudadas. Verifica-se que o maior efeito foi encontrado para a variável concentração molar de NaCl, sendo esta resposta também negativa, ou seja, nessas condições ocorreu o efeito inverso

(aumento de peso), o que pode estar relacionada as baixas concentrações molares de NaCl estudadas neste tratamento.

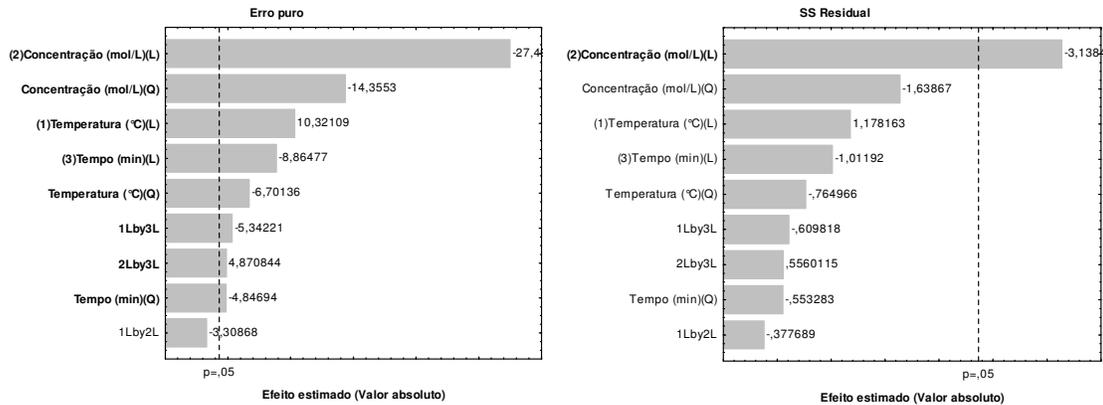


Figura 4.4. Efeitos estimados sobre a resposta de perda de peso da desidratação osmótica de piraíba.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se através da análise de variância (Tabela 4.6) a significância da regressão e falta de ajuste ao nível de 95% de confiança.

Tabela 4.6 – Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para perda de peso no primeiro tratamento desidratação osmótica de piraíba.

<i>Fonte de variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F calculado</i>	<i>F tabelado</i> <i>(p &lt; 0,05)</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<b>Regressão</b>	8	1515,135	189,392	2,20	3,44	0,69
<b>Resíduo</b>	8	688,621	86,077			
<b>Falta de ajuste</b>	6	686,108	114,351	91,03	19,33	
<b>Erro puro</b>	2	2,513	1,256			
<b>Total</b>	16	2203,756	-			

GL: grau de liberdade    SQ: soma quadrática    MQ: média quadrática

O modelo ajustado para a perda de peso não pode ser considerado preditivo (F calculado menor que o F tabelado). O F calculado da falta de ajuste foi muito elevado devido ao baixo valor apresentado na MQ do erro puro. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,69, ou seja, a porcentagem da variação explicada pelo modelo foi de apenas 69% da variação

dos dados experimentais. Este coeficiente muito baixo não permite que seja tirado o modelo estatístico e as suas superfícies.

Ribeiro (2005) estudou a desidratação osmótica de mapará e observou um aumento da perda de peso com a elevação da temperatura e do tempo de processo. A região escolhida de 21,5 a 25,5% de concentração de NaCl resultou em uma maior perda de peso. Observou também, que para valores de temperatura inferiores a 30°C, a perda de peso não ultrapassa 11%, independentemente dos valores de concentração e tempo.

#### **4.4.1.2. Perda de água**

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de perda de água na desidratação osmótica de piraíba estão apresentados na Tabela 4.7. Os efeitos considerados significativos, a  $p \leq 0,05$ , dos fatores lineares, quadráticos e da interação estão apresentados em negrito.

Observa-se que a maioria dos efeitos em relação à perda de água foi negativa. Isto indica que, ao passar de um valor mínimo para o valor máximo, a resposta diminui. Com exceção dos parâmetros, a temperatura (L), correspondeu com um efeito positivo, ou seja, com o aumento temperatura favorece a perda de água.

Tabela 4.7- Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para perda de água utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.

Variável	Erro puro			SS residual		
	Efeito Estimado	Erro	p	Efeito Estimado	Erro	p
<i>Média Global</i>	<b>-6,2753</b>	<b>0,4553</b>	<b>0,0052</b>	-6,2753	5,5619	0,2963
(1)Temperatura (L)	<b>7,4618</b>	<b>0,427888</b>	<b>0,0032</b>	7,4618	5,2269	0,1964
Temperatura (Q)	<b>-4,2969</b>	<b>0,471395</b>	<b>0,0118</b>	-4,2969	5,7584	0,4798
(2) NaCl (L)	<b>-16,4919</b>	<b>0,427888</b>	<b>0,0006</b>	<b>-16,4919</b>	<b>5,2269</b>	<b>0,0160</b>
NaCl (Q)	<b>-8,5445</b>	<b>0,471395</b>	<b>0,0030</b>	-8,5445	5,7584	0,1814
(3) tempo (L)	<b>-5,0446</b>	<b>0,427888</b>	<b>0,0071</b>	-5,0446	5,2269	0,3666
tempo (Q)	<b>-2,6312</b>	<b>0,471395</b>	<b>0,0306</b>	-2,6312	5,7584	0,6615
1L e 2L	-2,2929	0,5588	0,0545	-2,2929	6,8263	0,7467
1L e 3L	<b>-3,9263</b>	<b>0,5588</b>	<b>0,0196</b>	-3,9263	6,8263	0,5831
2L e 3L	<b>3,4591</b>	<b>0,5588</b>	<b>0,0251</b>	3,4591	6,8263	0,6279

OBS: Os valores em negrito apresentam-se significativos.

(L) = Efeito linear

(Q) = Efeito quadrático

Na Figura 4.5 é apresentado os gráficos de Pareto, que dispõe das informações de frequência dos efeitos estimados relacionados ao erro puro e SS residual. Verifica-se que o maior efeito foi encontrado para a variável concentração molar de NaCl, seguido da variável temperatura, sendo esta resposta também negativa, ou seja, quanto maior a temperatura, menor a perda de água.

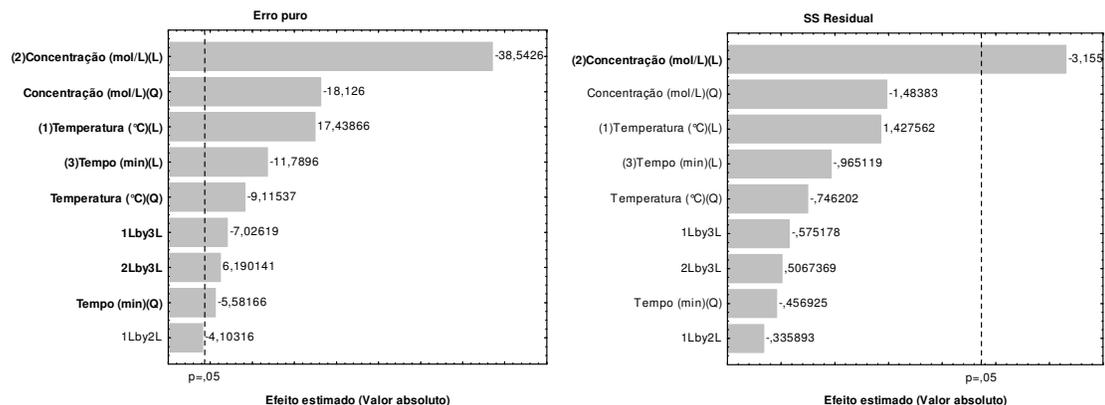


Figura 4.5 - Efeitos estimados sobre a resposta de perda de água na desidratação osmótica de piraíba.

Sabe-se que a passagem da água ocorre do meio menos concentrado para o meio mais concentrado, o que pode explicar, em parte, os efeitos negativos obtidos usando as concentrações de NaCl estudadas neste tratamento.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se através da análise de variância a significância da regressão e falta de ajuste ao nível de 95% de confiança, conforme Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Resultado da (ANOVA) para perda de água no primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba.

<i>Fonte de variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F<sub>calculado</sub></i>	<i>F<sub>tabelado</sub></i> ( <i>p</i> ≤ 0,05)	<i>R<sup>2</sup></i>
<b>Regressão</b>	8	1474,532	184,3165	2,22	3,44	0,69
<b>Resíduo</b>	8	662,897	82,86206			
<b>Falta de ajuste</b>	6	661,647	110,2746	176,57	19,33	
<b>Erro puro</b>	2	1,249	0,624551			
<b>Total</b>	16	2137,429				

GL: grau de liberdade    SQ: soma quadrática    MQ: média quadrática

O modelo ajustado para a perda de água não pode ser considerado preditivo (*F* calculado menor que o *F* tabelado). O *F* calculado da falta de ajuste foi muito elevado devido

ao baixo valor apresentado na MQ do erro puro. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,69, indicando que o modelo explica somente 69% da variação dos dados experimentais. Este coeficiente muito baixo não permite que seja tirado o modelo estatístico e as suas superfícies.

Ooizumi et al. (2003) estudaram a permeabilidade do cloreto de sódio (NaCl) na carne de peixes e compararam com o uso de sorbitol, em função da pressão osmótica da solução. Foram estudadas várias concentrações molares de NaCl, sorbitol e NaCl + sorbitol na faixa de 0,25 - 2,0M. As misturas foram realizadas contendo 1,5 M de NaCl e 0,5, 1,0, e 2 M de sorbitol, a outra com 1,0 M sorbitol e 0,25, 0,75 e 1,5 M de NaCl. Os resultados mostraram que houve um aumento do conteúdo de umidade das amostras de carne quando imersas em soluções de baixa concentração de NaCl. Concluiu-se que a desidratação osmótica influenciou no aumento da capacidade das proteínas miofibrilares de reter água causadas pela permeabilidade do NaCl.

#### **4.4.1.3. Ganho de sal**

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais para o parâmetro ganho de sal na desidratação osmótica de piraíba estão apresentados na Tabela 4.9. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Observa-se que para o ganho de sal, os efeitos dos parâmetros temperatura (L), concentração (Q) e tempo (Q) e das interações não são significativos a  $p \leq 0,05$  e, portanto, não serão utilizados no modelo de predição. O parâmetro que exerceu maior influencia no ganho de sal positivamente foi a concentração (L) indicando que um aumento da concentração, passando de um valor mínimo a um valor máximo, a resposta de ganho de sal aumenta. Por outro lado, todos os outros efeitos foram negativos, ou seja, menor resposta de ganho de sal.

Tabela 4.9- Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para o parâmetro ganho de sal utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.

<b>Variável</b>	<b>Erro puro</b>			<b>SS residual</b>		
	<b>Efeito Estimado</b>	<b>Erro</b>	<b>p</b>	<b>Efeito Estimado</b>	<b>Erro</b>	<b>p</b>
<i>Média Global</i>	<b>0,2440</b>	<b>0,0106</b>	<b>0,0018</b>	<b>0,2440</b>	<b>0,0438</b>	<b>0,0008</b>
(1)Temperatura (L)	-0,0305	0,0099	0,0918	-0,0305	0,0411	0,4822
Temperatura (Q)	<b>0,0863</b>	<b>0,0109</b>	<b>0,0157</b>	0,0863	0,0453	0,0987
(2) NaCl (L)	<b>0,3013</b>	<b>0,0099</b>	<b>0,0010</b>	<b>0,3013</b>	<b>0,0411</b>	<b>0,0001</b>
NaCl (Q)	0,0444	0,0109	0,0558	0,0444	0,0453	0,3598
(3) tempo (L)	<b>0,0580</b>	<b>0,0099</b>	<b>0,0282</b>	0,0580	0,0411	0,2017
tempo (Q)	0,0213	0,0109	0,1917	0,0213	0,0453	0,6529
1L e 2L	0,0074	0,0130	0,6267	0,0074	0,0538	0,8944
1L e 3L	0,0408	0,0130	0,0884	0,0408	0,0538	0,4730
2L e 3L	0,0034	0,0130	0,8183	0,0034	0,0538	0,9513

OBS: Os valores em negrito apresentam-se significativos.

(L) = Efeito linear

(Q) = Efeito quadrático

A Figura 4.6 apresenta o gráfico de Pareto que dispõe das informações dos efeitos estimados sobre as respostas de ganho de sal. Verifica-se que o maior efeito foi encontrado para a variável concentração molar de NaCl para o erro puro e SS residual, sendo esta resposta positiva, ou seja, nessas condições o ganho de sal é maior.

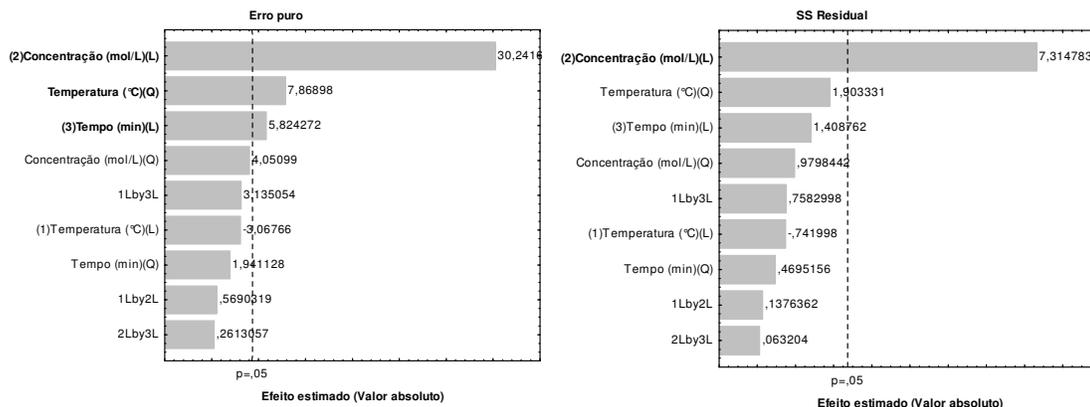


Figura 4.6 - Efeitos estimados sobre a resposta de ganho de sal da desidratação osmótica de piraíba.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se através da análise de variância (Tabela 4.10) a significância da regressão e falta de ajuste ao nível de 95% de confiança. Observa-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,86, indicando que o modelo explicou 86% da variação dos dados experimentais. O valor do F calculado para regressão foi superior ao F tabelado e falta de ajuste (F calculado inferior ao F tabelado) no mesmo nível de confiança fazendo com que o modelo seja significativo e preditivo.

Tabela 4.10 – Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para ganho de sal no primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba.

<i>Fonte de variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F calculado</i>	<i>F tabelado</i> <i>(p=0,05)</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
Regressão	3	0,338	0,11259	27,65	3,41	0,86
Resíduo	13	0,053	0,00407			
Falta de ajuste	11	0,05225	0,00475	14,03	19,40	
Erro puro	2	0,00067	0,00034			
Total	16	0,39071				

GL: grau de liberdade    SQ: soma quadrática    MQ: média quadrática

O modelo proposto para representar o ganho de sal no primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba encontra-se na equação 4.3:

$$G_{sal} (\%) = 0,276 + 0,071T^2 + 0,301C + 0,058t \quad (4.3)$$

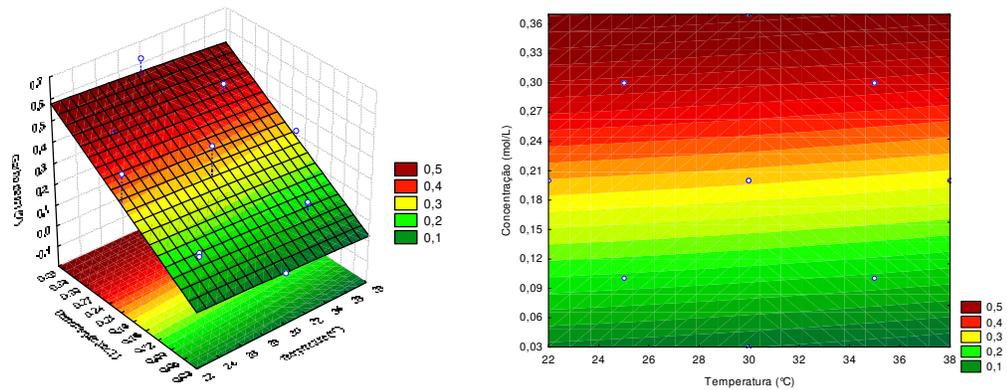
Onde:

$T$  : temperatura (°C)

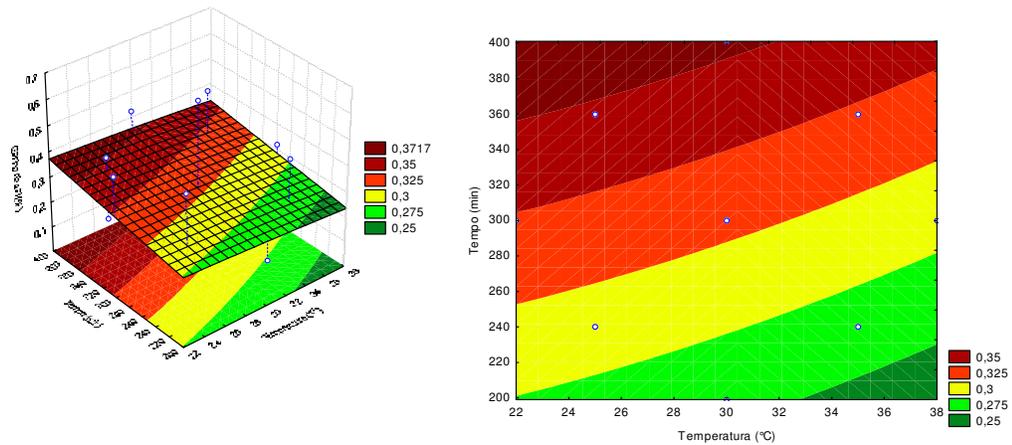
$C$  : concentração de NaCl (mol/L)

$t$  : tempo (min)

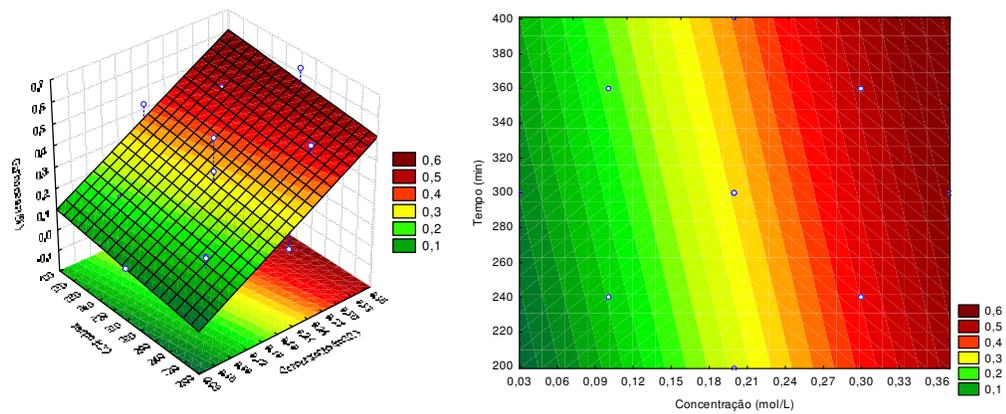
As superfícies de resposta e curvas de contorno, geradas através do modelo proposto, para o ganho de sal na desidratação osmótica de piraíba, considerando-se os pontos médios de tempo, concentração e temperatura estão apresentados na Figura 4.7. Observa-se que a maior resposta de ganho de sal ocorre na temperatura de 38°C, concentração de NaCl de 0,03 (mol/L) e tempo de processo de 200 min.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.7 - Superfícies de resposta e contorno para o ganho de sal no primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba: (a)  $t=300\text{min}$ , (b)  $\text{NaCl}=0,2\text{mol/L}$ , (c)  $T=30^\circ\text{C}$ .

Tonon (2005) estudando a desidratação osmótica de tomate e usando soluções menos concentradas (p/p), verificando que, embora a diferença entre as quantidades de sal utilizadas em cada solução osmótica tenha sido pequena, o efeito causado sobre a penetração deste soluto no alimento é relativamente grande, devido principalmente ao seu baixo peso molecular, que facilita consideravelmente seu transporte.

Reyers et al. (2005) otimizaram o processo de desidratação osmótica de sardinha mediante a metodologia de superfície de resposta. Foram utilizadas concentrações de NaCl de 17, 19, 22, 25 e 26,9% e temperatura de processo de 29, 30, 32, 34, 35°C mediante

planejamento experimental. A zona ótima encontrada para uma máxima perda de água (0,26 g/g.), menor ganho de sal (0,187 g/g.) e menor perda de peso (0,145 g/g), utilizando a concentração de sal de 26 e 26,5%, temperatura entre 31,6 e 31,8°C e tempo de processo de 245 min.

#### 4.4.2. Segundo tratamento

Os dados experimentais para a perda de peso (PP), perda de água (PA), Ganho de sal (Gsal), atividade de água ( $a_w$ ) e pH durante o processo de desidratação osmótica de cubos de piraíba, de acordo com o planejamento experimental proposto no segundo tratamento, encontram-se na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Valores experimentais das variáveis dependentes (respostas) para o segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba.

	Variáveis independentes			Variáveis dependentes (Respostas)				
	T (°C)	C (mol/L)	t (min)	PP (%)	PA (%)	Gsal (%)	$a_w$	pH
1	35(-1)	0,7 (-1)	90 (-1)	-17,528	-6,987	0,635	0,907	6,18
2	45(+1)	0,7(-1)	90 (-1)	-0,453	19,262	0,497	0,903	6,42
3	35(-1)	0,9(+1)	90 (-1)	-34,732	-18,199	1,038	0,933	6,22
4	45(+1)	0,9(+1)	90 (-1)	-2,868	15,083	0,703	0,900	6,25
5	35(-1)	0,7(-1)	150 (+1)	-18,369	1,4320	0,692	0,903	6,37
6	45(+1)	0,7(-1)	150 (+1)	1,7690	13,702	0,730	0,890	6,33
7	35(-1)	0,9(+1)	150 (+1)	-32,392	-13,704	1,040	0,890	6,31
8	45(+1)	0,9(+1)	150 (+1)	-3,1680	10,212	0,965	0,890	6,21
9	40(0)	0,8(0)	120(0)	-21,659	-9,392	0,885	0,887	6,05
10	40(0)	0,8(0)	120(0)	-21,078	-5,563	0,845	0,883	6,36
11	40(0)	0,8(0)	120(0)	-22,258	-6,487	0,894	0,890	6,10

T = temperatura (°C); C = concentração molar (mol/L); t = tempo (min).

Observa-se na Tabela 4.11 que a PA é muito superior que no primeiro tratamento de desidratação osmótica. Além disso, os valores de atividade de água e pH foram bem menores que no primeiro tratamento.

Segundo Conde (1975), o pH do pescado fresco varia entre 6,6 e 6,8 e à medida que esse se deteriora os valores de pH aumentam e podem atingir 7,2. Fontes et al. (2007) estudaram o estado de frescor e qualidade higiênica do pescado vendido numa cidade do interior de Portugal. Os autores encontraram valores de pH 6,31 a 6,67 e consideraram dentro dos limites aceitáveis para peixe fresco.

#### **4.4.2.1. Perda de Peso**

Os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais de perda de peso, foram determinados através do erro puro e pelo SS residual é apresentado na Tabela 4.12. Os efeitos dos fatores lineares e da interação, em negrito, foram significativos com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Os parâmetros tempo (L) e interações temperatura x tempo e concentração x tempo não são significativos a  $p \leq 0,05$  e, portanto não serão utilizados no modelo de predição. O parâmetro que exerceu maior influência positivamente foi à temperatura (L) indicando que um aumento dessa variável, passando de um valor mínimo a um valor máximo, irá aumentar a perda de peso (Apendice B1). Verifica-se que o efeito estimado foi negativo apenas para a concentração de NaCl indicando que ao passar de um valor mínimo a um valor máximo desta variável, menor será as respostas de perda de peso.

Tabela 4.12 - Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para o parâmetro perda de peso utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.

Variável	Erro puro			SS residual		
	Efeito Estimado	Erro	p	Efeito Estimado	Erro	p
<i>Média Global</i>	<b>-15,7032</b>	<b>0,1779</b>	<b>0,0001</b>	<b>-15,7032</b>	<b>1,8549</b>	<b>0,0010</b>
(1)Temperatura (L)	<b>24,5755</b>	<b>0,4172</b>	<b>0,0002</b>	<b>24,5755</b>	<b>4,3501</b>	<b>0,0048</b>
(2) NaCl (L)	<b>-9,6449</b>	<b>0,4172</b>	<b>0,0018</b>	-9,6449	4,3501	0,0909
(3) tempo (L)	0,8551	0,4172	0,1769	0,8551	4,3501	0,8537
1L e 2L	<b>5,9688</b>	<b>0,4172</b>	<b>0,0048</b>	5,9688	4,3501	0,2419
1L e 3L	0,1058	0,4172	0,8235	0,1058	4,3501	0,9817
2L e 3L	0,1644	0,4172	0,7316	0,1644	4,3501	0,9716

OBS: Os valores em negrito apresentam-se significativos. (L) = Efeito linear

Na Figura 4.8 estão os gráficos de Pareto que dispõe da melhor visualização dos efeitos estimados calculados pelo erro puro, SS residual e significância estatística. Observa-se que a temperatura foi o parâmetro com maior efeito sobre a resposta de perda de peso.

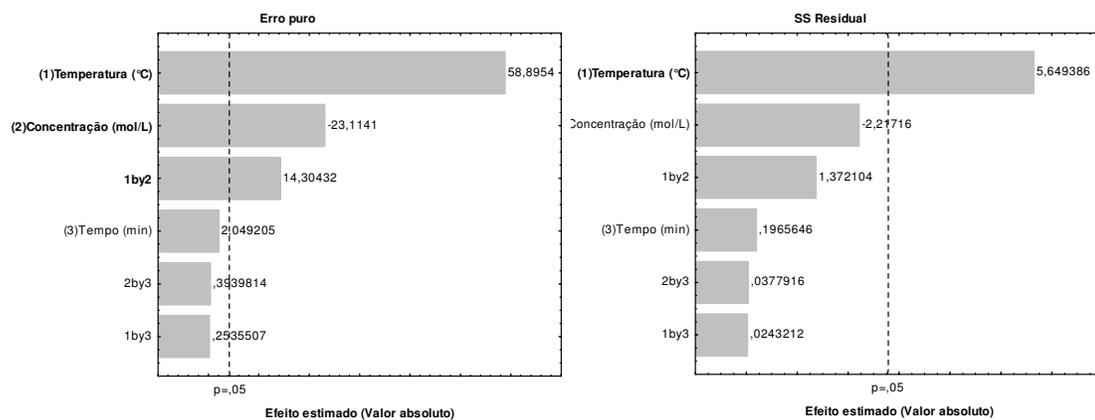


Figura 4.8 - Efeitos estimados sobre a resposta de perda de peso da desidratação osmótica de piraiíba.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se através da análise de variância (Tabela 4.13) a significância da regressão e falta de ajuste ao nível de 95% de confiança. Observa-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,91, indicando que o modelo explicou 91% da variação dos dados experimentais. O valor do F calculado para regressão foi superior ao F tabelado indicando que o modelo é preditivo. O F calculado da falta de ajuste foi muito elevado devido ao baixo valor apresentado na MQ do erro puro.

Tabela 4.13 - Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica de piraíba no segundo tratamento.

<i>Fonte de variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F calculado</i>	<i>F tabelado</i> <i>(p=0,05)</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
Regressão	3	1465,208	488,4028	22,36	4,35	0,91
Resíduo	7	152,927	21,8467			
Falta de ajuste	5	152,230	30,4460	87,43	19,30	
Erro puro	2	0,696	0,3482			
Total	10	1618,135				

GL: grau de liberdade    SQ: soma quadrática    MQ: média quadrática

O modelo codificado proposto para representar a perda de peso no segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba é apresentado pela Equação 4.4.

$$PP(\%) = -15,70 + 12,28T - 4,822C + 2,984TC \quad (4.4)$$

Onde:

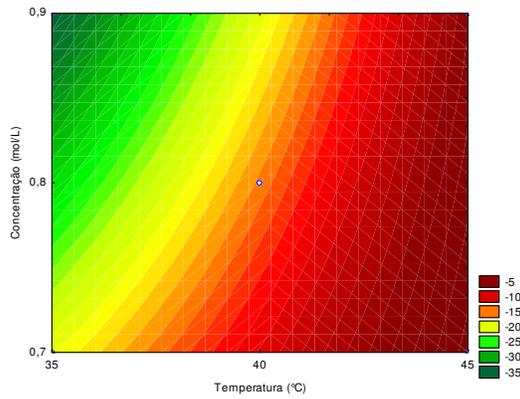
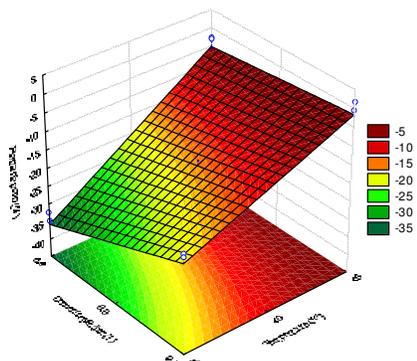
*T* : temperatura (°C)

*C* : concentração de NaCl (mol/L)

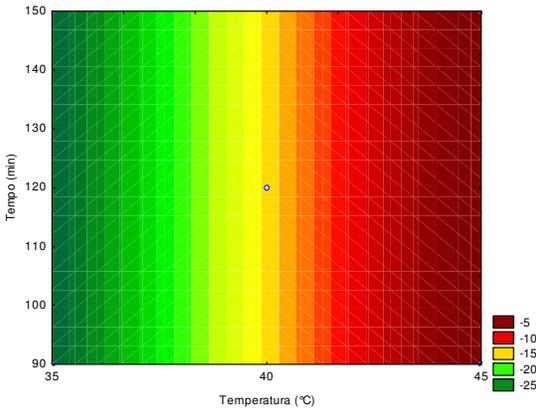
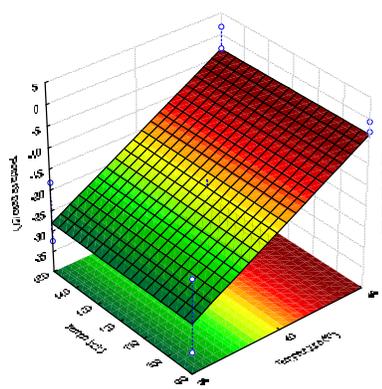
*t* : tempo (min)

As superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo considerando os pontos médios de tempo de processo, concentração e temperatura estão apresentadas na Figuras 4.9. Observa-se que a maior resposta de perda de peso ocorre na desidratação

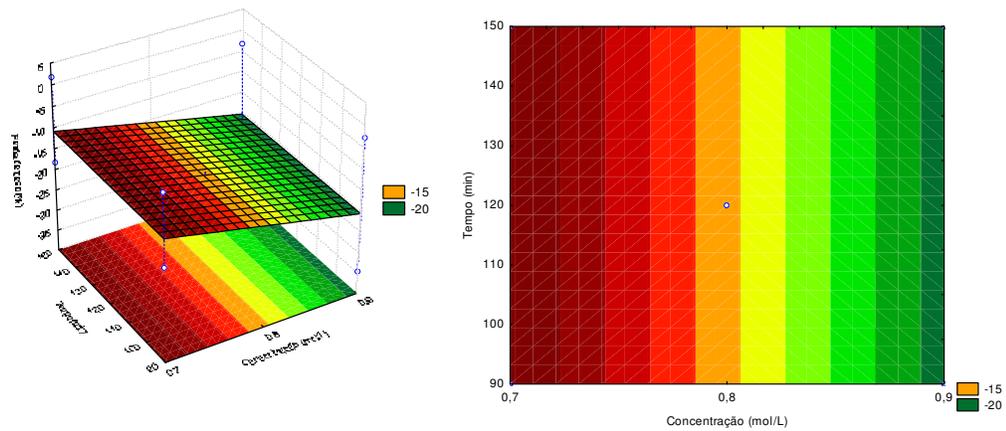
osmótica usando temperatura de 45°C, concentração de NaCl de 0,7 mol/L, independente do tempo de processo.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.9 - Superfícies de resposta e contorno para a perda de peso no segundo tratamento de desidratação osmótica de piráiba: (a)  $t=120\text{min}$ , (b)  $\text{NaCl}=0,8\text{mol/L}$ , (c)  $T=40^\circ\text{C}$ .

#### 4.4.2.2. Perda de água

A análise estatística aplicada aos dados experimentais da perda de água para o segundo tratamento de desidratação osmótica foi determinada através do erro puro e pelo SS residual, e são apresentados nas Tabelas 4.14. Os efeitos dos fatores lineares e da interação, em negrito, foram significativos com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Verifica-se que para a desidratação osmótica de piráiba nas condições estudadas, no segundo tratamento para perda de água, os efeitos foram significativos para temperatura (**L**) e concentração (**L**), porém com efeitos positivos e negativos, respectivamente (Apendice B1). Isto indica que ao passar de um valor mínimo para o valor máximo de temperatura, maior será a perda de água.

Tabela 4.14 - Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para o parâmetro perda de água utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.

Variável	Erro puro			SS residual		
	Efeito Estimado	Erro	p	Efeito Estimado	Erro	p
<i>Média Global</i>	-0,0583	0,6024	0,9316	-0,0583	2,22565	-0,0583
(1)Temperatura (L)	<b>23,9289</b>	<b>1,4129</b>	<b>0,0034</b>	<b>23,9289</b>	<b>5,21962</b>	<b>23,9289</b>
(2) NaCl (L)	<b>-8,5041</b>	<b>1,4129</b>	<b>0,0265</b>	-8,5041	5,21962	-8,5041
(3) tempo (L)	0,6206	1,4129	0,7033	0,62066	5,21962	0,6206
1L e 2L	4,6699	1,4129	0,0806	4,66998	5,21962	4,6699
1L e 3L	-5,8359	1,4129	0,0539	-5,8359	5,21962	-5,8359
2L e 3L	-0,8087	1,4129	0,6248	-0,8087	5,21962	-0,8087

OBS: Os valores em negrito apresentam-se significativos. (L) = Efeito linear

Na Figura 4.10 estão os gráficos de Pareto que dispõem da melhor visualização dos efeitos estimados calculados pelo erro puro, SS residual e significância estatística. Observa-se que a temperatura foi o parâmetro com maior efeito sobre a resposta de perda de água.

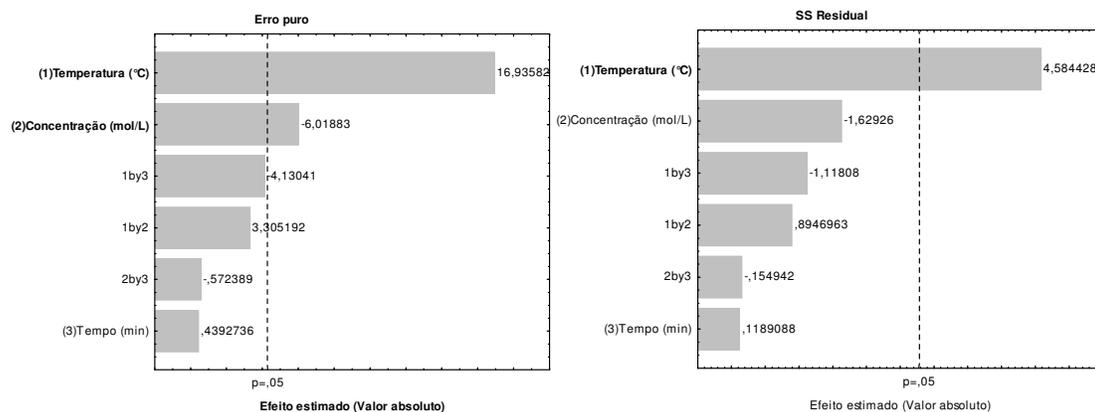


Figura 4.10- Efeitos estimados sobre a resposta de perda de água da desidratação osmótica de piraíba.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se através da análise de variância (Tabela 4.15) a significância da regressão e falta de ajuste ao nível de 95% de confiança para a perda de água.

Tabela 4.15 - Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica de piraíba no segundo tratamento.

<i>Fonte de variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F<sub>calculado</sub></i>	<i>F<sub>tabelado</sub></i> <i>(p=0,05)</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
Regressão	2	1289,833	644,9167	15,55	4,46	0,80
Resíduo	8	331,768	41,4710			
Falta de ajuste	6	323,783	53,9638	13,52	19,33	
Erro puro	2	7,985	3,9927			
Total	10	1621,602				

SQ: soma quadrática      GL: grau de liberdade      MQ: média quadrática

Através da análise de variância verifica-se que o coeficiente de determinação foi de 0,80. Apesar da porcentagem de variação explicada ser de apenas 80% o modelo apresentou regressão significativa (F calculado superior ao F tabelado) e a falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança, portanto o modelo para a perda de água é considerado significativo e preditivo.

O modelo proposto para representar a perda de água no segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba encontra-se na Equação 4.5.

$$WL (\%) = 11,964T - 4,252C. \quad (4.5)$$

Onde:

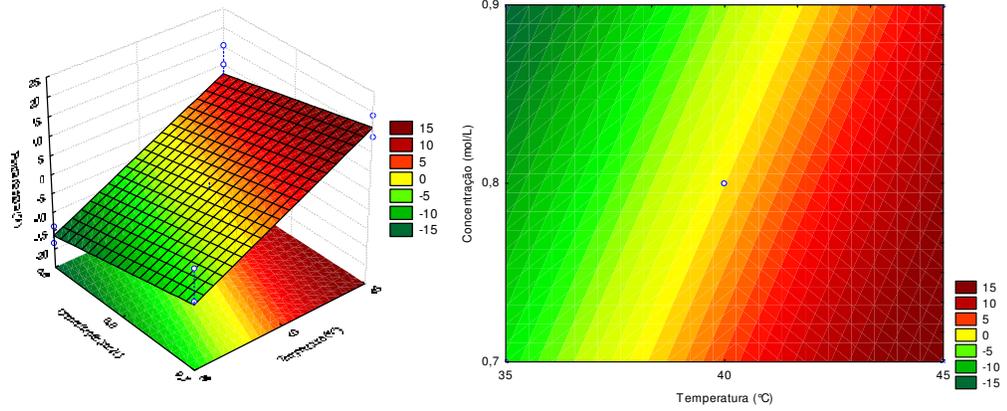
*T* : temperatura (°C)

*C* : concentração de NaCl (mol/L)

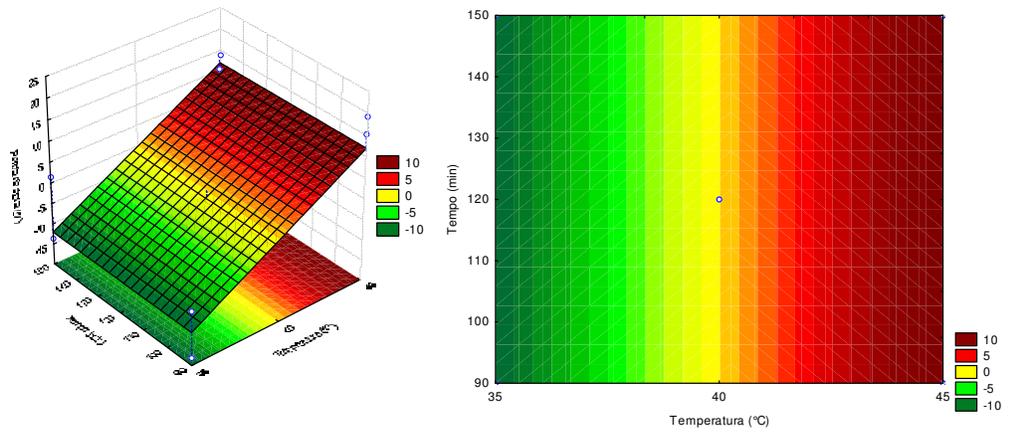
*t* : tempo (min)

As superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo proposto para perda de água considerando os pontos médios de tempo de processo, concentração e

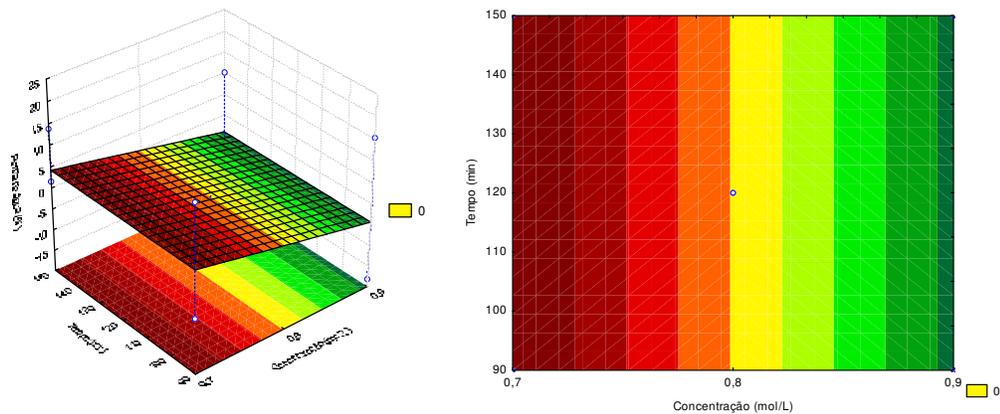
temperatura estão apresentadas na Figuras 4.11. Verifica-se que a maior resposta de perda de água ocorre na temperatura de 45°C, concentração de NaCl de 0,7 mol/L independente do tempo de processo.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.11 – Superfícies de resposta e contorno para a perda de água no segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba: (a)  $t = 120\text{min}$ , (b)  $\text{NaCl} = 0,8\text{mol/L}$ , (c)  $T = 40^\circ\text{C}$ .

#### 4.4.2.3 Ganho de sal

A análise estatística aplicada aos dados experimentais de ganho de sal foi determinada através do erro puro e pelo SS residual e são apresentados nas Tabelas 4.16. Os efeitos dos fatores lineares e da interação, em negrito, foram significativos com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

As interações temperatura x tempo e concentração x tempo não são significativos a  $p \leq 0,05$  e, portanto não serão utilizados no modelo de predição. Os parâmetros que exerceram maior influência positiva no ganho de sal foram à concentração e o tempo de processo, indicando que um aumento dessas variáveis, passando de um valor mínimo a um valor máximo, irá aumentar o ganho de sal (Apendice B1). Verifica-se que o efeito estimado foi negativo apenas para a temperatura indicando que ao passar de um valor mínimo a um valor máximo desta variável, menor será as respostas de ganho de sal.

Tabela 4.16 - Efeito estimado, erro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para o parâmetro ganho de sal utilizando solução de NaCl, calculados pelo erro puro e SS residual.

<b>Variável</b>	<b>Erro puro</b>			<b>SS residual</b>		
	<b>Efeito Estimado</b>	<b>Erro</b>	<b>p</b>	<b>Efeito Estimado</b>	<b>Erro</b>	<b>p</b>
<i>Média Global</i>	<b>0,81118</b>	<b>0,00777</b>	<b>0,00009</b>	<b>0,8111</b>	<b>0,0207</b>	<b>0,0000</b>
(1)Temperatura (L)	<b>-0,12713</b>	<b>0,01823</b>	<b>0,01995</b>	-0,1271	0,0485	0,0590
(2) NaCl (L)	<b>0,29781</b>	<b>0,01823</b>	<b>0,00372</b>	<b>0,2978</b>	<b>0,0485</b>	<b>0,0035</b>
(3) tempo (L)	<b>0,13850</b>	<b>0,01823</b>	<b>0,01688</b>	<b>0,1385</b>	<b>0,0485</b>	<b>0,0463</b>
1L e 2L	-0,07776	0,01823	0,05081	-0,0777	0,0485	0,1847
1L e 3L	<b>0,10898</b>	<b>0,01823</b>	<b>0,02686</b>	0,1089	0,0485	0,0883
2L e 3L	-0,00653	0,01823	0,75452	-0,0065	0,0485	0,8995

OBS: Os valores em negrito apresentam-se significativos.

(L) = Efeito linear

Na Figura 4.12 estão os gráficos de Pareto que dispõe da melhor visualização dos efeitos estimados calculados pelo erro puro, SS residual e significância estatística. Pode-se visualizar que a concentração molar de NaCl foi o parâmetro com maior efeito sobre a resposta de ganho de sal.

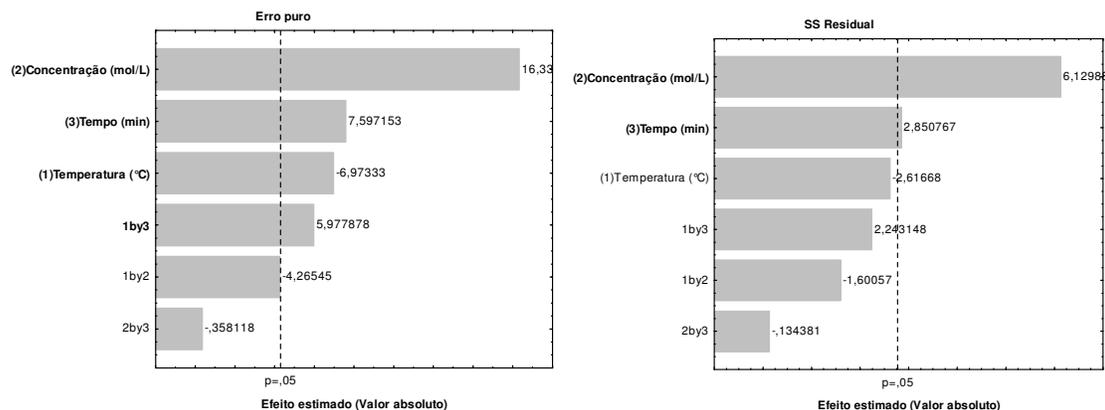


Figura 4.12. Efeitos estimados sobre a resposta de ganho de sal da desidratação osmótica de piraíba.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se através da análise de variância (Tabela 4.17) a significância da regressão e falta de ajuste ao nível de 95% de confiança para o ganho de sal.

Tabela 4.17 - Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para ganho de sal na desidratação osmótica de piraíba no segundo tratamento.

<i>Fonte de variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F<sub>calculado</sub></i>	<i>F<sub>tabelado</sub></i> <i>(p ≤ 0,05)</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
Regressão	4	0,272	0,06796	13,13	4,53	0,90
Resíduo	6	0,031	0,00517			
Falta de ajuste	4	0,0297	0,00743	11,18	19,25	
Erro puro	2	0,0013	0,00066			
Total	10	0,3029				

GL: grau de liberdade    SQ: soma quadrática    MQ: média quadrática

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,90, indicando que a porcentagem de variação explicada pelo modelo é de 90%. O modelo para ganho de sal no segundo tratamento de desidratação osmótica foi considerado preditivo e apresentando regressão significativa com 95% de confiança (F calculado superior ao F tabelado) e falta de ajuste (F calculado inferior

ao F tabelado). O modelo codificado proposto para representar o ganho de sal na desidratação osmótica em solução de NaCl encontra-se na Equação 4.6.

$$G_{\text{sal}} (\%) = 0,811 - 0,063T + 0,148C + 0,069t + 0,054Tt \quad (4.6)$$

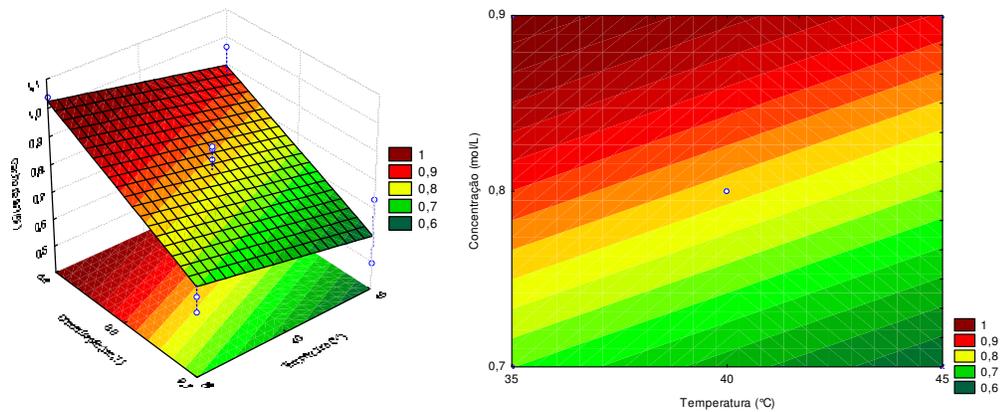
Onde:

$T$  : temperatura (°C)

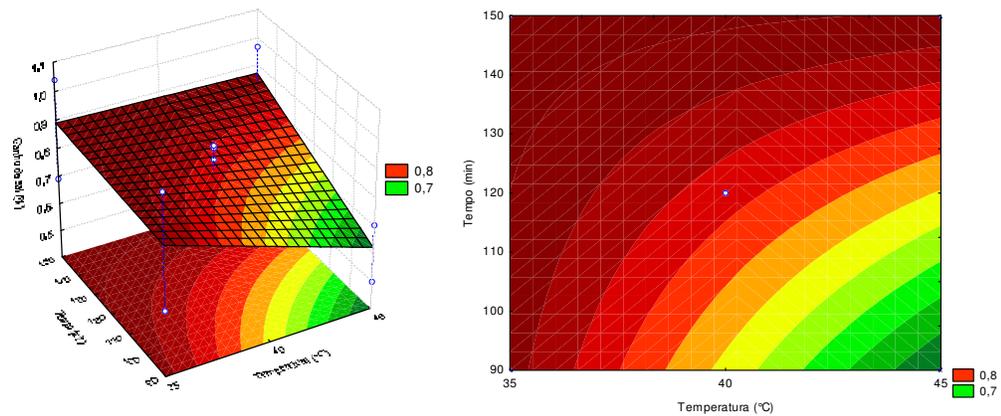
$C$  : concentração de NaCl (mol/L)

$t$  : tempo (min)

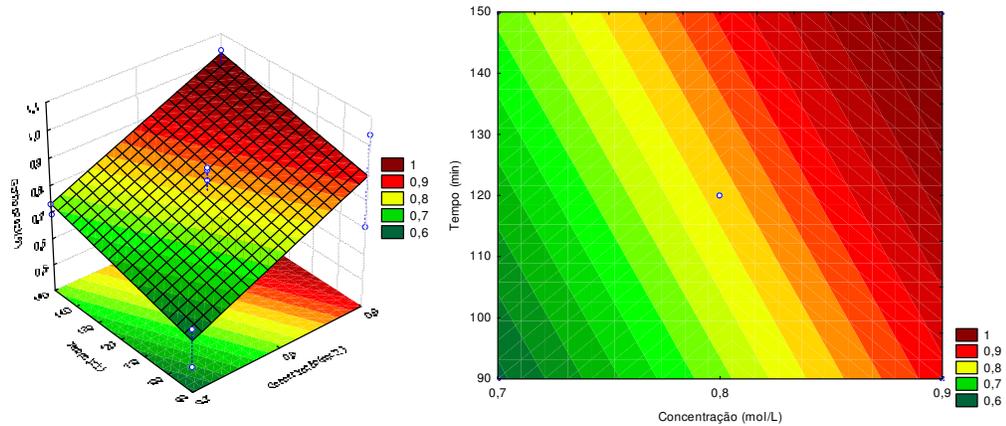
As superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo proposto para o ganho de sal considerando os pontos médios de tempo de processo, concentração e temperatura estão apresentadas na Figuras 4.13. Observa-se que a maior resposta de ganho de sal ocorre usando concentração de NaCl de 0,9 mol/L, temperatura de 35°C e tempo de processo de 150 minutos.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.13 - Superfícies de resposta e contorno para o ganho de sal no segundo tratamento de desidratação osmótica de piraiá: (a)  $t=120\text{min}$ , (b)  $\text{NaCl}=0,8\text{mol/L}$ , (c)  $T=40^\circ\text{C}$ .

No processo de desidratação osmótica do pescado, a remoção da água deve-se ao fato da solução de sal exterior ao peixe ter uma concentração superior a da água residual nos tecidos do peixe, ou seja, envolve a transferência de massa de sal e da água, causada pela diferença de concentrações soluto/solvente entre o peixe e a solução de sal na qual o peixe está imerso e/ou em contato. Entretanto, elevadas concentrações podem acarretar em produtos totalmente salgados não muito agradáveis aos olhos dos consumidores.

O bacalhau, por exemplo, tem preferência na mesa pelas características sensoriais além de ser um produto conhecido mundialmente. No entanto, devido ao elevado teor de sal e preços elevados, este peixe é preparado pelo consumidor apenas em ocasiões especiais sendo recomendado para o cotidiano pescado com características mais próximas do peixe *in natura*.

Segundo Ferreira et al. (2002), no processo de salga, a ação do sal é dupla. Ao penetrar no pescado, o sal diminui a quantidade total de água existente. Além disso, o sal permanece no interior do pescado e reduz a atividade de água, ou seja, a disponibilidade de água para ação enzimática ou crescimento de microrganismos.

Ribeiro et al. (2008) realizaram a otimização da desidratação osmótica de filés de mapará através da metodologia de superfície de resposta. A análise estatística aplicada aos dados experimentais foi realizada através do erro puro e pelo SS residual. Aplicando a metodologia de superfície de resposta, a condição ótima de convergência de menor perda de peso, maior perda de água e menor ganho de sal, correspondeu a uma concentração de cloreto de sódio de 22%, temperatura de 46 °C e tempo de 7 horas.

Segundo Barbosa et al. (2007), o processo de salga ocorre em circunstâncias de alta pressão osmótica, o protoplasma das células dos microrganismos se desidrata, havendo contração da membrana plasmática, fenômeno este conhecido por plasmólise. Em virtude disso, o crescimento de microrganismos é inibido.

Os resultados da influência da concentração molar neste tratamento mostraram que os mesmos poderiam ser utilizados para diversas aplicações na indústria de alimentos na elaboração de produtos de pescado menos salgado a partir da técnica de desidratação osmótica.

#### **4.5. Secagem**

Os parâmetros utilizados para a secagem convectiva foram à temperatura de secagem de 40, 50 e 60°C e a velocidade do ar de 1,08m/s. A Tabela 4.18 apresenta os valores médios de umidade de equilíbrio de piraíba seca (*in natura*) e defumada. A secagem foi finalizada quando não havia mais variação entre as pesagens, obtendo a umidade de equilíbrio dinâmico das amostras que foi utilizada na determinação dos coeficientes adimensionais de umidade.

Tabela 4.18 - Umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) para as temperaturas de 40, 50 e 60°C em base seca.

Temperatura	<i>In natura</i>	Defumada
	$X_e$ (b.s)	$X_e$ (b.s)
40 (°C)	0,0943	0,3275
50 (°C)	0,0468	0,2118
60 (°C)	0,0355	0,1485

De acordo com a Tabela 4.18, nota-se que as umidades de equilíbrio obtidas para a piraíba seca *in natura* foram menores que as tratadas por defumação líquida, provavelmente, devido à influência dos componentes da solução de fumaça nas amostras, modificando a condição de equilíbrio das mesmas.

#### 4.5.1. Cinética de secagem do peixe *in natura*

Os efeitos da temperatura do ar na cinética de secagem de piraíba (*in natura*) para a geometria cúbica foram analisados através das curvas de secagem do adimensional de umidade em função do tempo, conforme mostra a Figura 4.14.

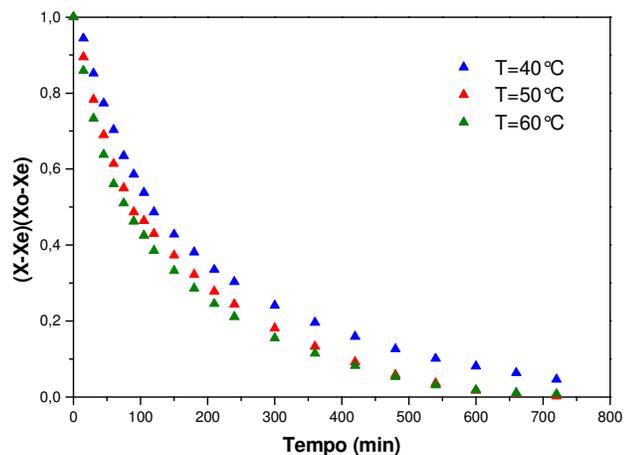


Figura 4.14 - Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem de piraíba.

Observou-se que ocorre uma redução no tempo gasto para secar a piraíba em função da elevação da temperatura, ou seja, as curvas de secagem indicam que para um mesmo tempo de processo, quanto maior for a temperatura, mais rápida será a secagem.

A taxa de secagem em função do conteúdo de umidade na secagem de piraíba é apresentada na Figura 4.15 para as temperaturas de 40, 50 e 60°C. Verifica-se que abaixo de 1,75g H<sub>2</sub>O/g ms, as amostras secas na temperatura de 50 e 60°C não apresentaram diferenças nas taxas de secagem.

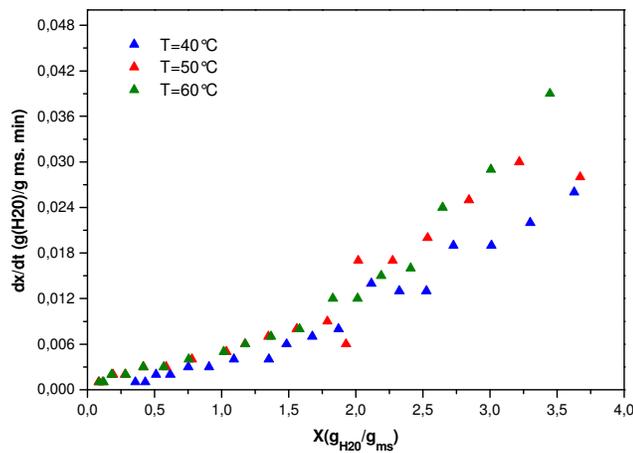


Figura 4.15 - Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade da piraíba.

#### 4.5.1.1. Difusividade efetiva

Em virtude do mecanismo de transporte da água no interior do produto ocorrer por meio de difusão de vapor, utilizou-se apenas o modelo baseado na Lei de Fick para calcular a difusividade efetiva do produto. Os resultados da difusividade efetiva obtidos na secagem de piraíba estão apresentados na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 - Valor da difusividade efetiva, desvio relativo médio (P) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), obtidos na secagem de piraíba.

T(°C)	D <sub>ef</sub> .10 <sup>10</sup> (m <sup>2</sup> /s)	P(%)	R <sup>2</sup>
40	3,75	0,069	0,972
50	8,02	0,611	0,981
60	7,59	0,130	0,984

Verifica-se que o aumento da temperatura favorece o processo de transferência de massa e, conseqüentemente, aumenta o valor da difusividade efetiva. O maior valor de difusividade efetiva da amostra foi obtido na secagem a 50°C. O modelo explicou 97 e 98% das respostas de difusividade efetiva na secagem de piraíba. Na Figura 4.16 apresenta as curvas experimentais de secagem e curvas preditas pelo modelo de Fick para piraíba.

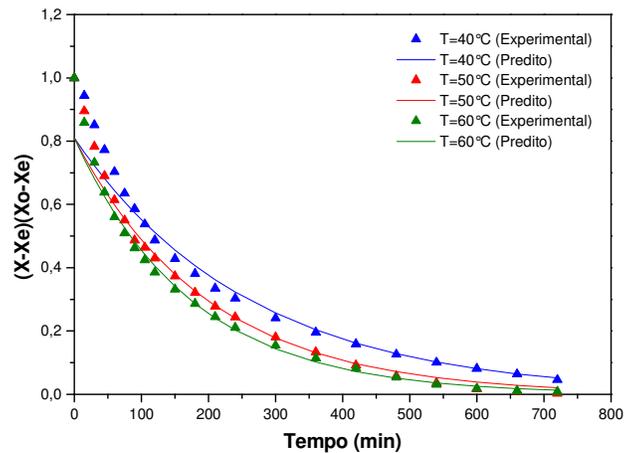


Figura 4.16 - Curvas experimentais de secagem e curvas preditas pelo modelo de Fick para piraíba.

#### 4.5.1.3. Modelagem matemática

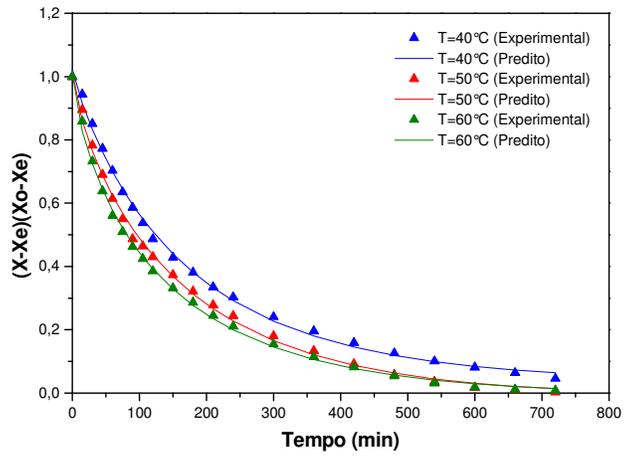
A Tabela 4.20 apresenta os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), desvio relativo médio (P) e parâmetros dos modelos de Midilli et al., Page, Wang e Singh, Henderson e Pabis.

Tabela 4.20 - Coeficiente de determinação, desvio relativo médio, constantes de secagem e coeficientes dos modelos determinados com o método não-linear de regressão na secagem de piraíba.

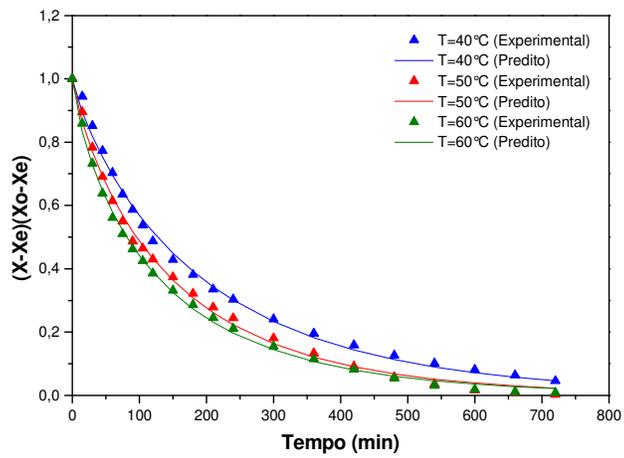
Modelos	T(°C)	A	K	n	B	P(%)	R <sup>2</sup>
Midilli et al	40	1,0077	0,0034	0,9022	0,00017	0,054	0,999
	50	1,0053	0,0066	0,7583	-0,00018	0,373	0,999
	60	1,0036	0,0089	0,7289	-0,00013	0,141	0,999
Page	40	-	0,00356	-	0,86102	0,047	0,998
	50	-	0,00495	-	0,84189	0,631	0,998
	60	-	0,00727	-	0,78647	0,239	0,999
Wang e Singh	40	-0,0017	-	-	0,000001	0,122	0,996
	50	-0,0022	-	-	0,000002	1,129	0,992
	60	-0,0024	-	-	0,000002	0,551	0,988
Henderson e Pabis	40	0,96786	0,00166	-	-	0,141	0,995
	50	0,94742	0,00209	-	-	0,283	0,995
	60	0,92460	0,00231	-	-	0,153	0,993

*K*- coeficientes de secagem; *a*, *b*, *c*, *n* – constantes dos modelos.

Os valores obtidos do coeficiente de determinação (acima de 98%) sugerem que os modelos conseguiram ajustar adequadamente os dados experimentais, fato que é confirmado quando se analisa os valores do desvio relativo médio. Os valores do desvio relativo médio e coeficiente de determinação foram menores no processo de secagem a temperatura de 40°C. Verifica-se uma tendência de aumento do parâmetro “K” obtidos pelos modelos com o aumento da temperatura. Na Figura 4.17 e 4.18 mostram os ajustes obtidos utilizando os modelos de Midilli, Page, Wan e Singh, Henderson e Pabis para a piraíba.

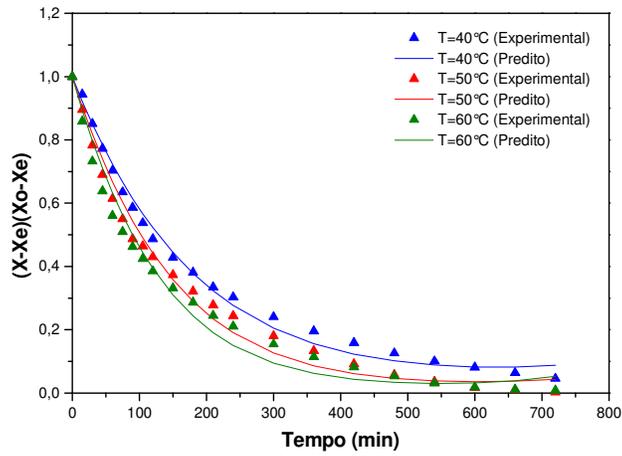


(a)

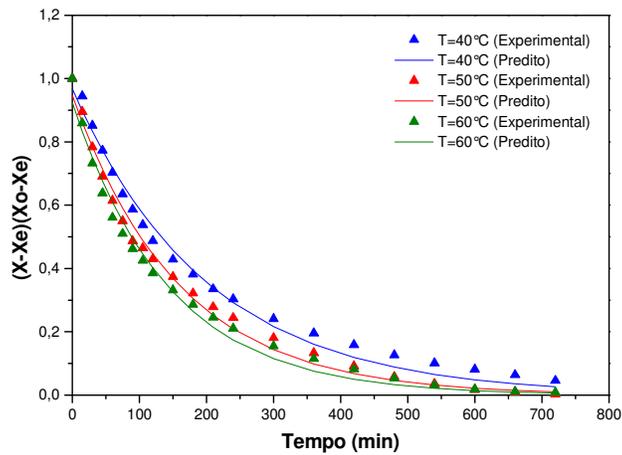


(b)

Figura 4.17 - Ajuste dos modelos para a secagem de piraroba: (a) Midilli et al. (b) Page.



(c)



(d)

Figura 4.18. Ajuste dos modelos para a secagem de piraíba: (c) Wang e Singh e (d) Henderson e Pabis.

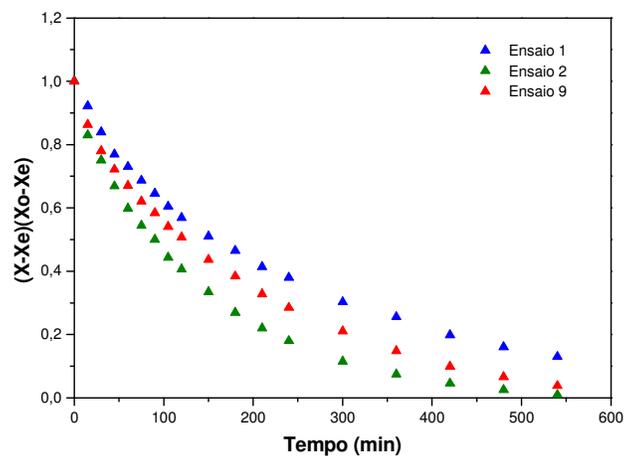
Verificam-se através das figuras que os dados experimentais se ajustaram aos modelos de secagem de piraíba. Entretanto, Midilli et al. e Page foram os modelos que melhor ajustaram os dados seguido do Modelo de Henderson e Pabis.

Chavan et al, (2008) realizaram modelagem matemática na secagem utilizando um sistema híbrido (solar e biomassa) da cavala indiana. Onze modelos (Newton, Page, Henderson e Pabis, Wang e Singh, Midilli et al., Logarithmic, Two-term, Two-term exponential, Diffusion approach, Verma et al., Modified Henderson and Pabis) de secagem foram usados e os coeficientes de determinação e de constantes foram avaliados pela regressão não-linear para estimar as curvas de secagem de cavala. O modelo de Midilli et al. foi ( $R^2 = 0,99$ ) o que descreveu mais satisfatoriamente o processo de secagem de cavala.

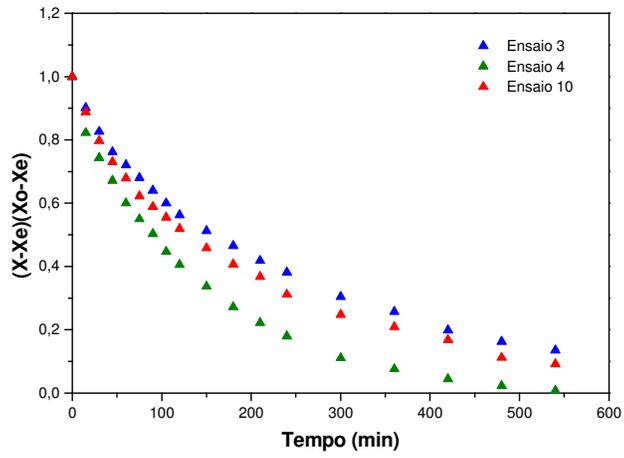
#### 4.5.2. Secagem de piraíba defumada

##### 4.5.2.1. Cinética de secagem convectiva

A Figura 4.19 e 4.20 mostra os adimensionais de umidade em função do tempo de processo de secagem de piraíba defumada de acordo com os ensaios do planejamento experimental (Tabela 4.21), sendo que cada figura contém um ponto central.

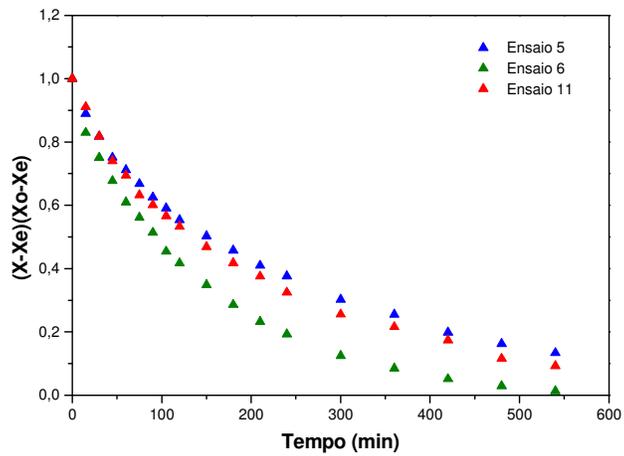


(a)

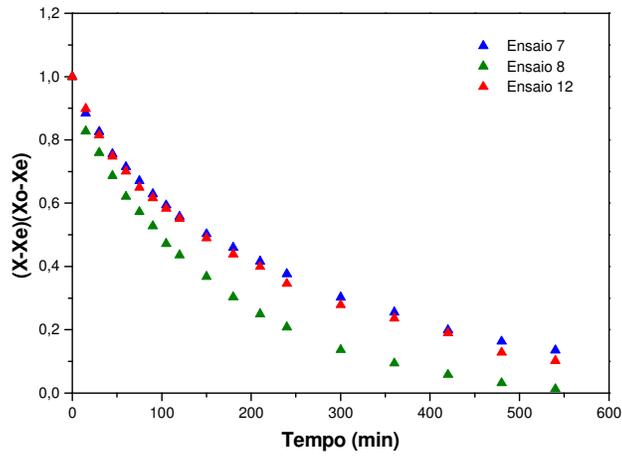


(b)

Figura 4.19 - Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem de piraíba defumada: (a) ensaios 1, 2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3, 4 e 10 (Ponto central).



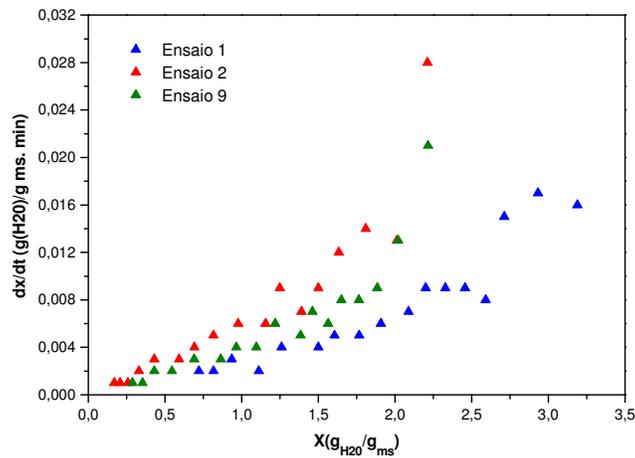
(c)



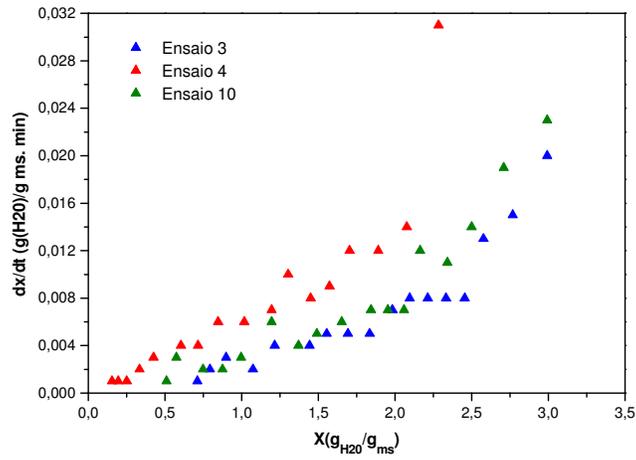
(d)

Figura 4.20 - Adimensional de umidade em função do tempo para o processo de secagem de piraíba defumada: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).

A Figura 4.21 e 4.22 apresenta as taxas de secagem em função da umidade em base seca de acordo com o planejamento fatorial de  $2^3$  na secagem de piraíba defumada (Tabela 4.21), sendo que cada figura contém um ponto central.

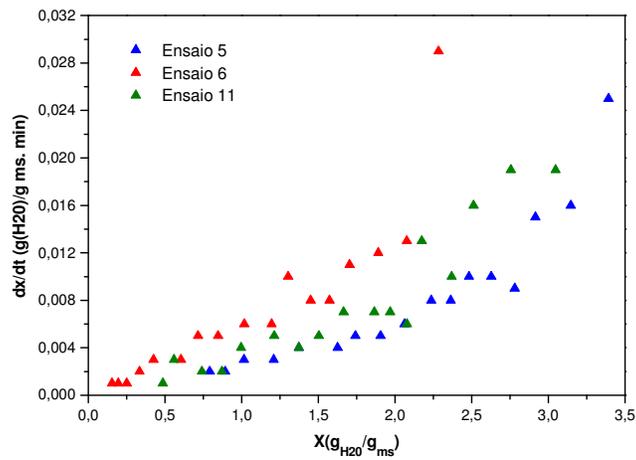


(a)

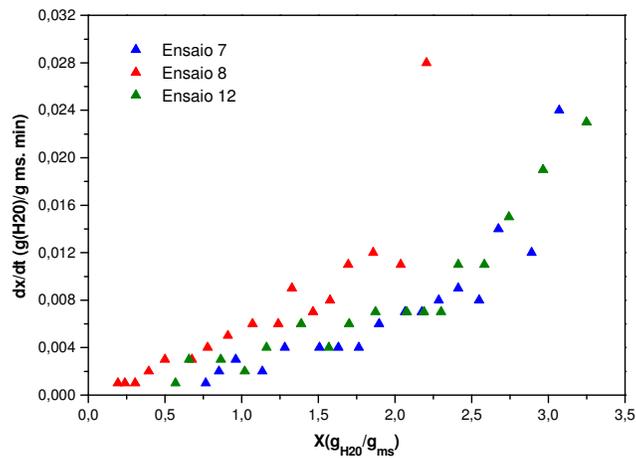


(b)

Figura 4.21 - Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade para a piraíba defumada de acordo com os ensaios do planejamento experimental: (a) ensaios 1, 2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3, 4 e 10 (Ponto central).



(c)



(d)

Figura 4.22 - Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade para a piraíba defumada de acordo com os ensaios do planejamento experimental: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).

Observa-se através das Figuras 4.21 e 4.22 um valor de taxa de secagem intermediária nos ensaios no ponto central (0) em relação aos pontos fatoriais, isto é, nas temperaturas mais altas (+1) e mais baixas (-1) foram obtidas maiores e menores taxas de secagem de piraíba defumada, respectivamente. O tempo de secagem total foi reduzido substancialmente com o aumento na temperatura de ar.

Freire et al., (2003) criaram uma bancada experimental para secagem convectiva e o levantamento das curvas de secagem e das taxas de secagem foram realizados para amostras de filé de peixe carpa, tambaqui e tilápia. Uma análise das curvas revela que nos primeiros 20 minutos os filés de carpa e tambaqui apresentam uma inclinação semelhante, sendo que entre os 50 minutos e os 250 minutos o filé de carpa mostrou uma maior facilidade para perder umidade, indicando que a água está menos ligada aos componentes estruturais do músculo de carpa do que aos de tambaqui. Esse comportamento está associado às características de composição desses músculos, onde os níveis de colágeno e gordura podem influenciar a

transferência de massa desde as partes mais internas para as superfícies das amostras, alterando desta forma a velocidade de secagem durante o período de velocidade decrescente.

No presente trabalho, a curva de secagem, assim como o bom ajuste do modelo de Fick, mostra que a secagem ocorre totalmente na taxa decrescente de secagem.

#### 4.5.2.2. Difusividade Efetiva

A determinação dos coeficientes de difusividade da água foi baseada no modelo de Fick para a difusão em um cubo. Os valores de difusividade efetiva da água e resultados da análise estatística na secagem de piraíba defumada de acordo com o planejamento fatorial de  $2^3$  estão apresentados na Tabela 4.21. Verifica-se que, quanto maior a temperatura de processo maior o valor de difusividade efetiva da água.

Tabela 4.21- Valores da difusividade efetiva, coeficientes de determinação e desvio relativo médio, obtidos na secagem de piraíba defumada.

Ensaio	Variáveis independentes			Respostas		
	T (°C)	C (%)	t (seg)	$D_{ef} \cdot 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s)	P(%)	R <sup>2</sup>
1	40(-1)	20 (-1)	20 (-1)	2,89	0,0819	0,965
2	60(+1)	20(-1)	20(-1)	5,33	0,3077	0,981
3	40(-1)	30(+1)	20 (-1)	2,39	0,0706	0,969
4	60(+1)	30(+1)	20(-1)	4,76	0,3819	0,982
5	40(-1)	20 (-1)	30(+1)	2,71	0,0594	0,972
6	60(+1)	20(-1)	30(+1)	8,54	0,0810	0,981
7	40(-1)	30(+1)	30(+1)	3,82	0,0619	0,972
8	60(+1)	30(+1)	30(+1)	5,32	0,3110	0,981
9	50(0)	25(0)	25(0)	3,26	0,1780	0,979
10	50(0)	25(0)	25(0)	2,87	0,0641	0,975
11	50(0)	25(0)	25(0)	3,46	0,0786	0,971
12	50(0)	25(0)	25(0)	3,28	0,0786	0,972

Os valores da difusividade efetiva obtidos na secagem de piraíba defumada foram superiores aos encontrados na literatura. Simões (2007) encontrou para tilápia seca defumada valores máximos de difusividade efetiva de 2,60, 3,07 e  $3,27 \cdot 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s para o processo de

secagem convectiva na temperatura de 40, 50 e 60°C, respectivamente. Ribeiro (2000) realizou a secagem convectiva de matrinhã defumada e encontrou valores de difusividade efetiva de 2,36 a 3,32.10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s, 3,79 a 4,44.10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s e 3,91 a 5,79.10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s para o processo de secagem na temperatura de 40, 50 e 60°C, respectivamente.

Na Figura 4.23 estão apresentados os gráficos de Pareto que dispõe das informações de frequência dos efeitos estimados calculados pelo erro puro e SS residual. Verifica-se que o maior efeito calculado pelo erro puro foi à temperatura, seguida do tempo de imersão em aroma de fumaça.

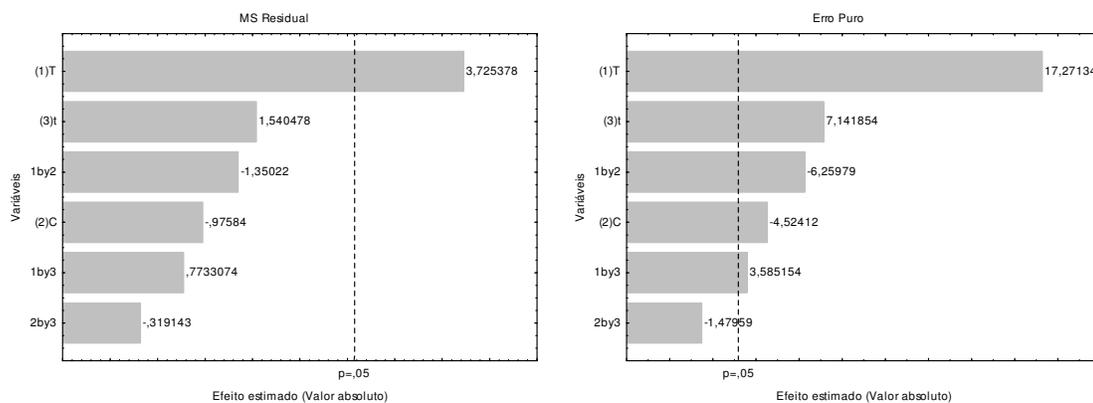


Figura 4.23 - Efeito estimado sobre a resposta da difusividade efetiva na secagem de piraíba defumada.

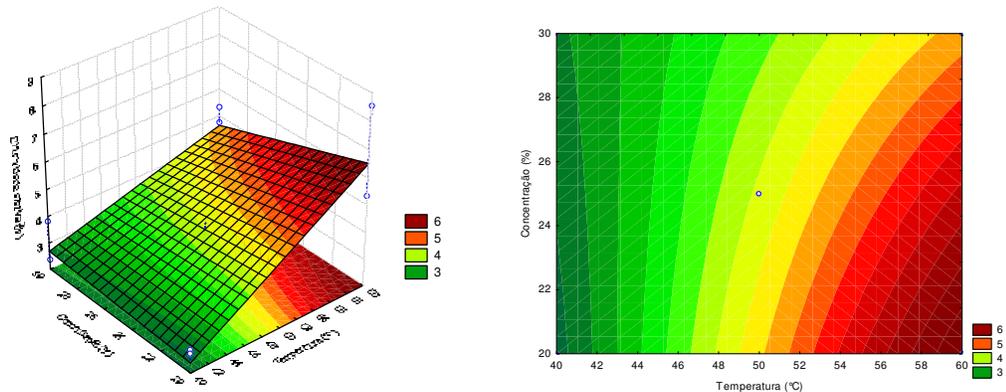
O modelo apresentado na Tabela 4.22 para difusividade efetiva da água no processo de secagem de piraíba defumada apresentou regressão e falta de ajuste, significativa (com F calculado maior que o F tabelado). O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) explica somente 79% das respostas de difusividade efetiva. Este coeficiente, apesar de não ser muito elevado, ainda permite a retirada das suas superfícies de respostas. Duas condições ótimas de processo foram escolhidas para serem avaliadas na análise sensorial.

Tabela 4.22 - Resultado da (ANOVA) do modelo ajustado para difusividade efetiva na secagem de piraíba defumada.

<i>Fonte de variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F<sub>calculado</sub></i>	<i>F<sub>tabelado</sub></i> ( <i>p</i> ≤ 0,05)	<i>R<sup>2</sup></i>
<b>Regressão</b>	5	26,050	5,2100	4,62	4,39	0,79
<b>Resíduo</b>	6	6,772	1,12871			
<b>Falta de ajuste</b>	3	6,5870	2,19566	35,55	9,28	
<b>Erro puro</b>	3	0,1852	0,06175			
<b>Total</b>	11	32,8226				

GL: grau de liberdade    SQ: soma quadrática    MQ: média quadrática

A Figura 4.24 apresenta as superfícies de resposta dos parâmetros estudados na secagem de piraíba defumada. A condição ótima escolhida, isto é, que apresenta maior difusividade efetiva foram: temperatura de 60°C, concentração de aroma de fumaça de 20% e tempo de imersão de 28 a 30 segundos.



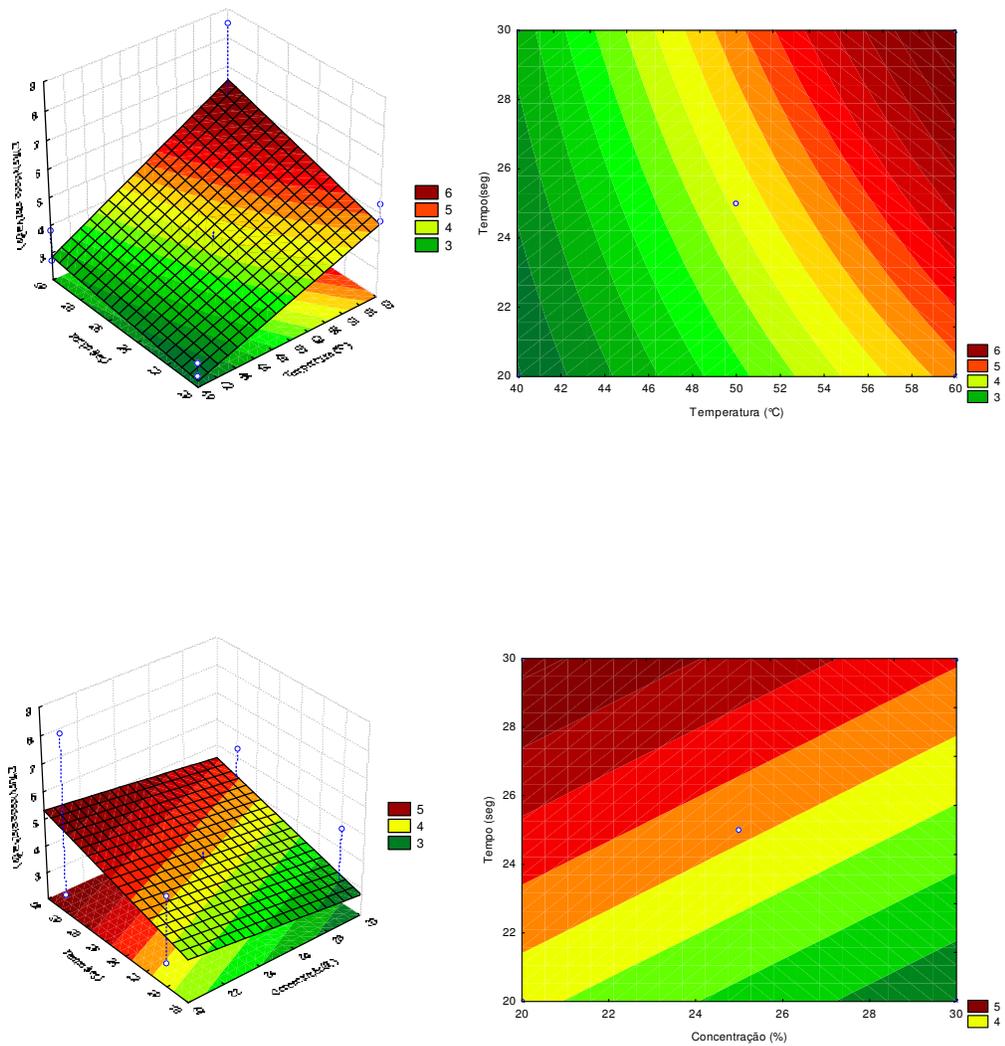
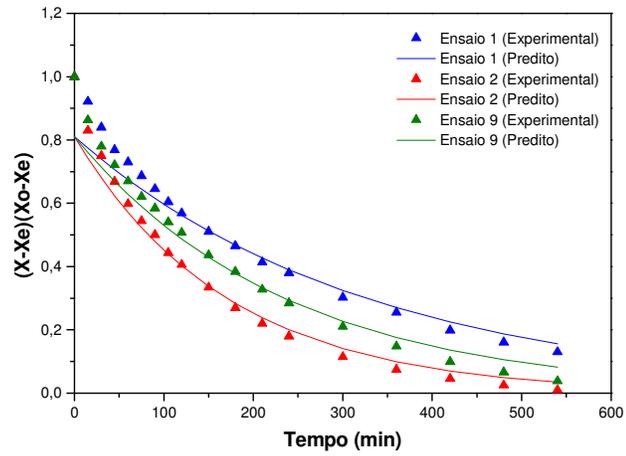


Figura 4.24 - Superfícies de resposta e curvas de contorno dos parâmetros na secagem de piraroba defumada.

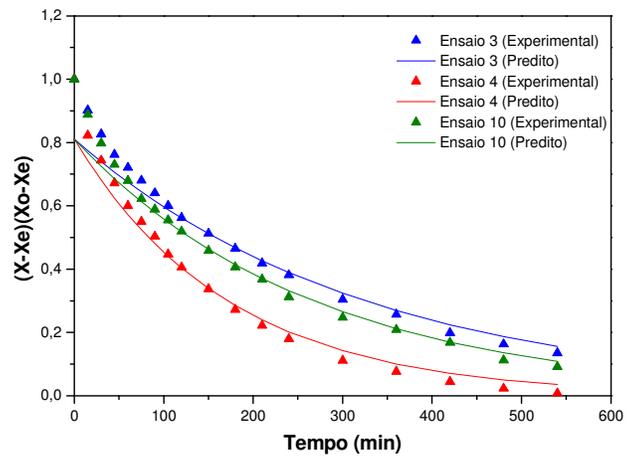
#### 4.5.1.2. Modelagem matemática

##### *Modelo de Fick*

Na Figura 4.25 e 4.26 estão apresentados os ajustes obtidos utilizando os modelos difusional de Fick para a piraroba defumada em geometria cúbica mediante os ensaios do planejamento experimental (Tabela 4.21).

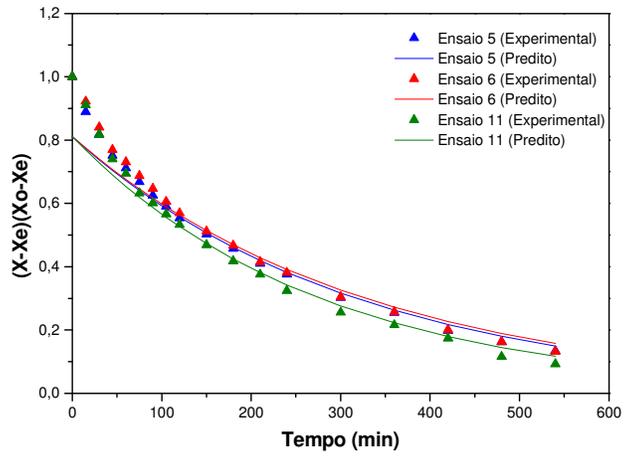


(a)

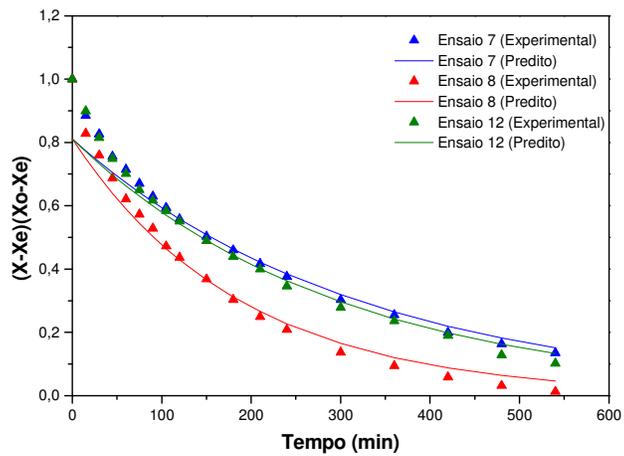


(b)

Figura 4.25 - Modelo difusional de Fick para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (a) ensaios 1, 2 e 9 (ponto central); (b) ensaios 3,4 e 10 (Ponto central).



(c)



(d)

Figura 4.26 - Modelo difusional de Fick para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (c) ensaios 5,6 e 11 (PC = ponto central); (d) ensaios 7,8 e 12 (PC= Ponto central).

Considerando a geometria cúbica das amostras (três arestas iguais), o modelo exponencial de Midilli et al., Page e Henderson e Pabis e o modelo polinomial de Wang e Singh foram utilizados para verificar o melhor ajuste dos dados experimentais da secagem de piraíba defumada. Esses gráficos indicam o ajustamento das equações de secagem, ou seja, a dispersão dos dados experimentais em relação aos dados estimados, considerando-se todos os dados obtidos durante o experimento.

Na Tabela 4.23 estão apresentados os coeficiente de determinação e desvio relativo médio obtido através dos modelos. Observa-se que os dados experimentais obtidos se ajustaram a todos os modelos utilizados, apresentando valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,99.

Tabela 4.23 - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvio relativo médio determinado através do método não-linear de regressão de secagem de piraíba defumada para as temperaturas de 40, 50 e 60°C.

Ensaio	<i>Midilli et al.</i>		<i>Page</i>		<i>Wang e Singh</i>		<i>Henderson e Pabis</i>	
	P(%)	R <sup>2</sup>	P(%)	R <sup>2</sup>	P(%)	R <sup>2</sup>	P(%)	R <sup>2</sup>
1	0,012	0,999	0,017	0,999	0,051	0,996	0,043	0,996
2	0,021	0,999	0,196	0,999	0,274	0,995	0,094	0,998
3	0,009	0,999	0,019	0,999	0,058	0,994	0,058	0,994
4	0,035	0,999	0,264	0,998	0,330	0,995	0,136	0,998
5	0,008	0,999	0,020	0,999	0,067	0,992	0,051	0,994
6	0,027	0,999	0,172	0,998	0,227	0,995	0,082	0,998
7	0,008	0,999	0,019	0,999	0,064	0,993	0,048	0,995
8	0,025	0,999	0,207	0,998	0,240	0,994	0,113	0,998
9	0,009	0,999	0,218	0,997	0,212	0,993	0,140	0,997
10	0,021	0,999	0,032	0,999	0,092	0,992	0,060	0,995
11	0,025	0,999	0,033	0,997	0,083	0,994	0,055	0,997
12	0,022	0,999	0,036	0,999	0,083	0,993	0,044	0,995

Todos os modelos apresentaram valores de  $R^2$  superiores a 98% e pode ser utilizado na estimativa das curvas de secagem da piraíba defumada. Entre os modelos empregados, o de Midilli et al. apresenta os maiores valores para o coeficiente de determinação, acima de 0,99 e menores valores do desvio relativo médio, para todos os ensaios, seguido do modelo de Page, que supera o de Henderson e Pabis.

Ribeiro (2005) realizou secagem de filés de mapará, na geometria de placa plana considerando a difusividade efetiva constante e velocidade do ar de secagem de 1,5m/s. De acordo com a análise estatística, o modelo de Page apresentou um melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) em relação ao modelo difusional na secagem de mapará.

Na Tabela 4.24, têm-se os valores dos parâmetros dos modelos de Midilli et al., Page, Wang e Singh e Henderson e Pabis, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem de piraíba defumada.

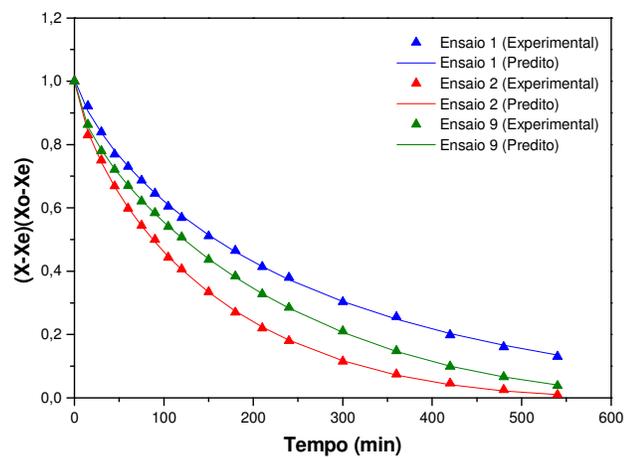
Tabela 4.24 - Valores das constantes de secagem e coeficientes dos modelos determinados com o método não-linear da regressão na secagem de piraíba defumada para as temperaturas de 40, 50 e 60°C.

*	<i>Midilli et al.</i>				<i>Page</i>		<i>Wang e Singh</i>		<i>Henderson e Pabis</i>	
	<i>a</i>	<i>K</i>	<i>n</i>	<i>b</i>	<i>K</i>	<i>B</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>K</i>
1	1,0020	0,0040	0,778	-1,3 x10 <sup>-4</sup>	0,0033	0,8382	-0,0015	1,0x10 <sup>-6</sup>	0,947	0,0013
2	0,9993	0,0072	0,692	-6,5 x10 <sup>-4</sup>	0,0045	0,8821	-0,0025	2,0x10 <sup>-6</sup>	0,950	0,0024
3	1,0009	0,0051	0,709	-2,3 x10 <sup>-4</sup>	0,0038	0,8130	-0,0015	1,0x10 <sup>-6</sup>	0,947	0,0013
4	0,9993	0,0088	0,616	-8,5 x10 <sup>-4</sup>	0,0045	0,8814	-0,0024	2,0x10 <sup>-6</sup>	0,947	0,0023
5	1,0007	0,0060	0,684	-2,3 x10 <sup>-4</sup>	0,0044	0,7891	-0,0016	1,0x10 <sup>-6</sup>	0,925	0,0013
6	0,9992	0,0078	0,651	-7,3 x10 <sup>-4</sup>	0,0044	0,8779	-0,0024	2,0x10 <sup>-6</sup>	0,947	0,0022
7	1,0003	0,0057	0,690	-2,3 x10 <sup>-4</sup>	0,0043	0,7948	-0,0016	1,0x10 <sup>-6</sup>	0,926	0,0012
8	0,9994	0,0092	0,575	-8,6 x10 <sup>-4</sup>	0,0042	0,8783	-0,0023	2,0x10 <sup>-6</sup>	0,945	0,0021
9	1,0002	0,0101	0,496	-8,3 x10 <sup>-4</sup>	0,0034	0,8808	-0,0018	1,0x10 <sup>-6</sup>	0,944	0,0017
10	1,0013	0,0061	0,713	-2,2 x10 <sup>-4</sup>	0,0047	0,8035	-0,0018	2,0x10 <sup>-6</sup>	0,929	0,0015
11	1,0026	0,0051	0,752	-1,7 x10 <sup>-4</sup>	0,0040	0,8278	-0,0017	2,0x10 <sup>-6</sup>	0,941	0,0015
12	1,0015	0,0060	0,679	-3,1x10 <sup>-4</sup>	0,0040	0,8167	-0,0016	1,0x10 <sup>-6</sup>	0,934	0,0014

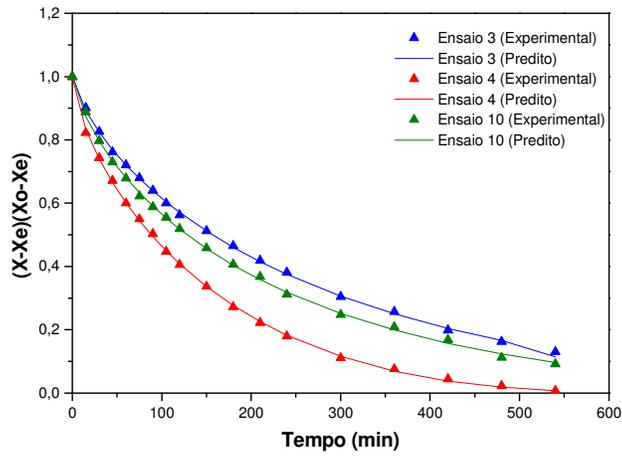
O melhor ajuste do modelo de Midilli et al em relação ao de Page, pode ser explicado pela maior quantidade de parâmetros da equação. Todos os modelos apresentaram valores de  $R^2$  superiores a 0,98, ou seja, 98 % da linha de regressão dos modelos que descrevem o comportamento dos dados experimentais.

**Modelo de Midilli et al.**

A Figura 4.27 e 4.28 apresenta os ajustes do modelo exponencial de Page de acordo com o planejamento fatorial de  $2^3$  na secagem de piraíba defumada, sendo que cada figura contém um ponto central (PC).

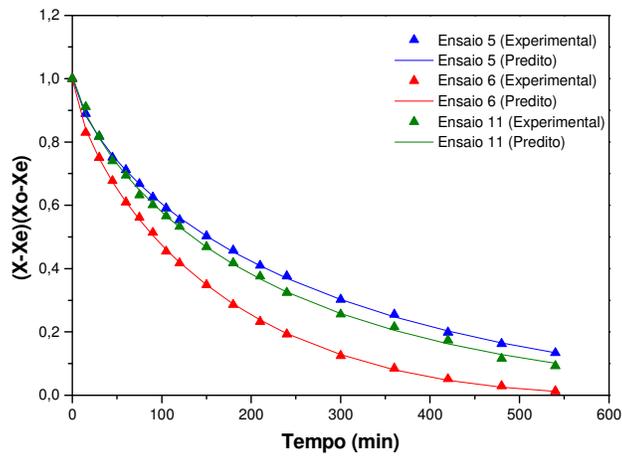


(a)

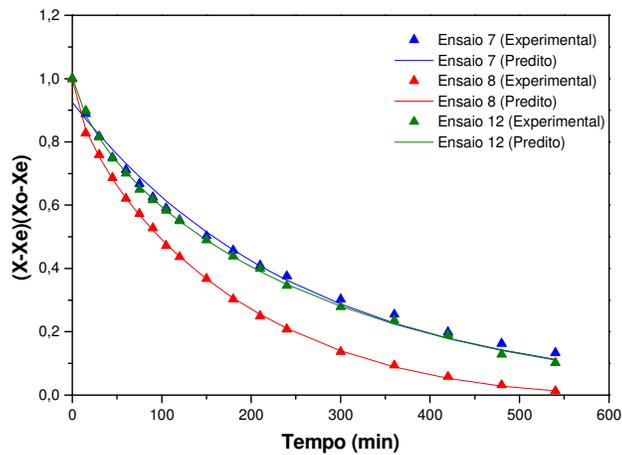


(b)

Figura 4.27 - Modelo de Midilli et al. para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (a) ensaios 1, 2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3, 4 e 10 (Ponto central).



(c)



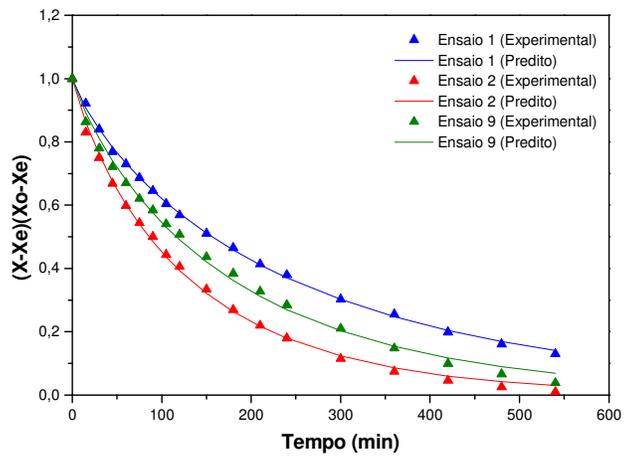
(d)

Figura 4.28 - Modelo de Midilli et al. para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).

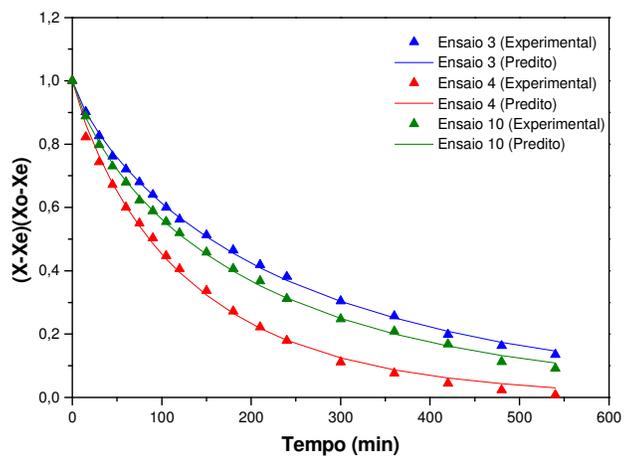
Observa-se que o Midilli-Kucuk pode ser usado para representar apropriadamente os dados de secagem convectiva de piraíba defumada nas temperaturas de secagem indicadas.

### ***Modelo de Page***

A Figura 4.29 e 4.30 apresenta os ajustes do modelo exponencial de Page de acordo com o planejamento fatorial de  $2^3$  na secagem de piraíba defumada, sendo que cada figura contém um ponto central (PC).

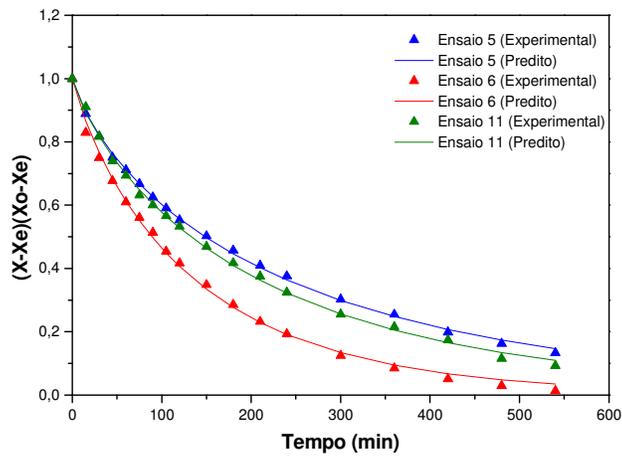


(a)

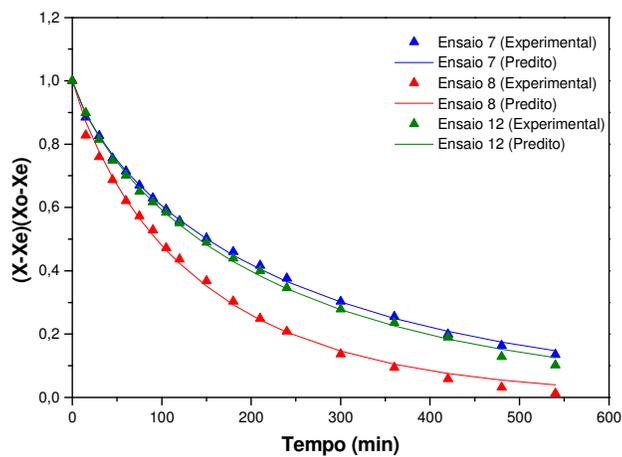


(b)

Figura 4.29 - Modelo de Page para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (a) ensaios 1,2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3,4 e 10 (Ponto central).



(c)



(d)

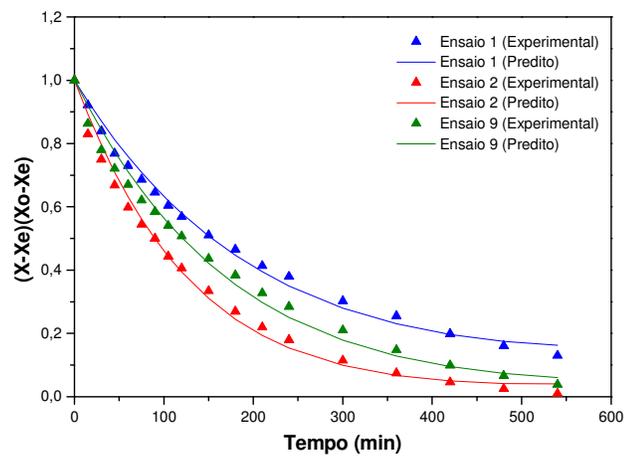
Figura 4.30 - Modelo de Page para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).

Os modelos de Page e Midilli et al., foram os que apresentaram melhores ajustes dos dados experimentais de piraíba defumada apresentando uma relação entre a constante de

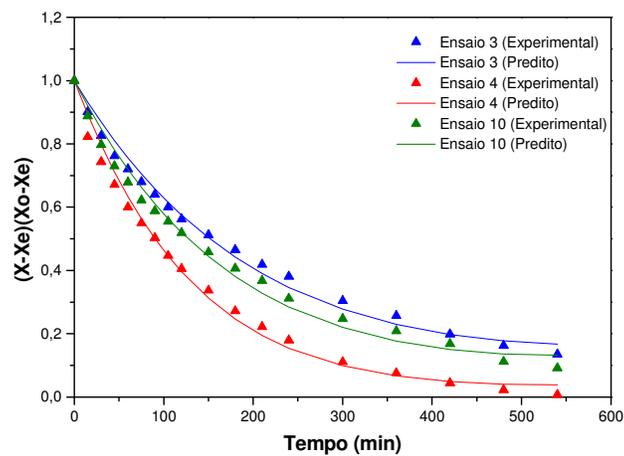
secagem  $k$  e a temperatura do ar satisfatório. A constante  $n$  de secagem, ajustado pelo modelo de Page, variou uma tendência de linearidade com a temperatura do ar de secagem.

### *Modelo de Wang e Singh*

A Figura 4.31 e 4.32 mostram as curvas de secagem da piraíba defumada, com ajuste pelo modelo de Wang e Singh de acordo com o planejamento experimental

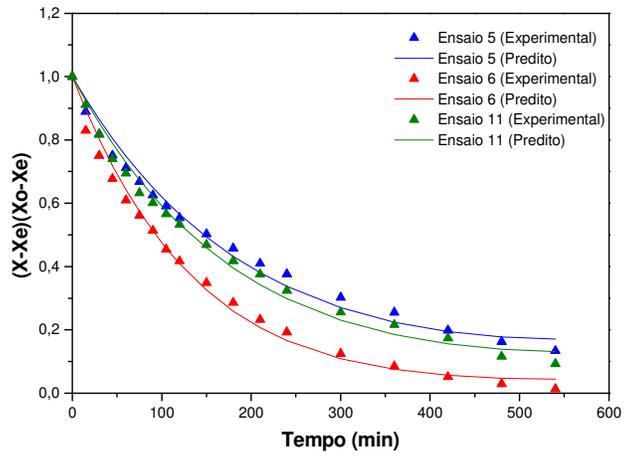


(a)

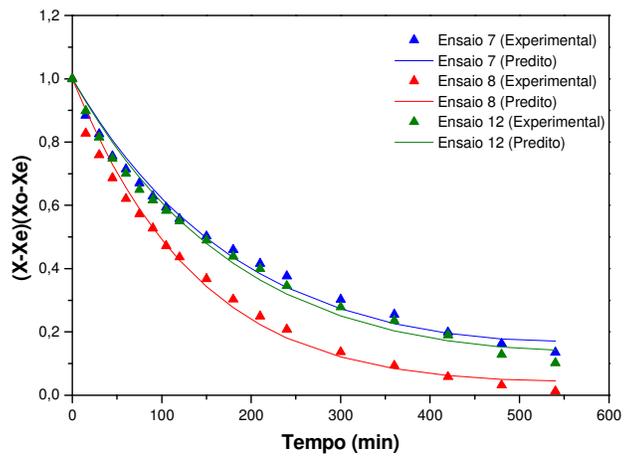


(b)

Figura 4.31 - Modelo de Wang e Singh para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (a) ensaios 1, 2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3, 4 e 10 (Ponto central).



(c)

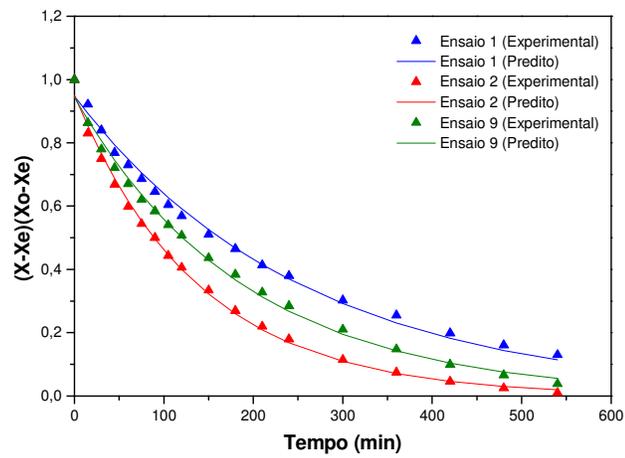


(d)

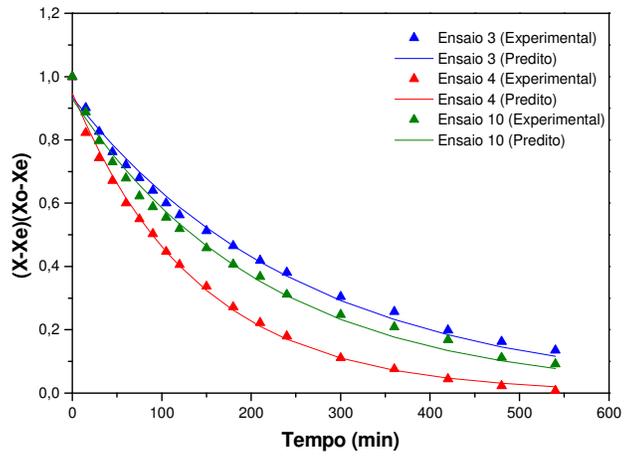
Figura 4.32 - Modelo de Wang e Singh para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).

### **Modelo de Henderson e Pabis**

A Figura 4.33 e 4.34 estão apresentadas as curvas de secagem da piraíba defumada, com ajuste pelo modelo de Henderson e Pabis de acordo com o planejamento experimental.

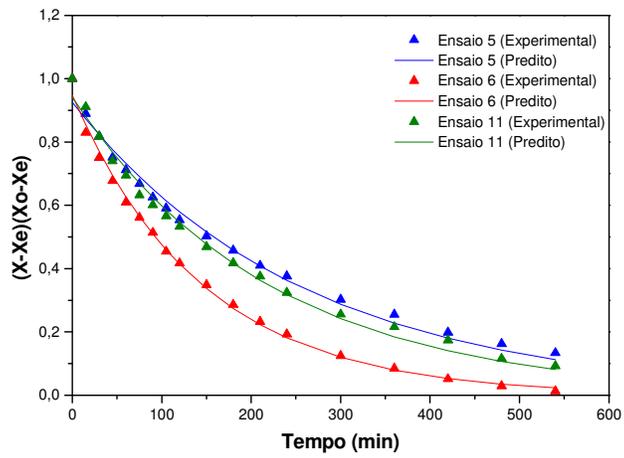


(a)

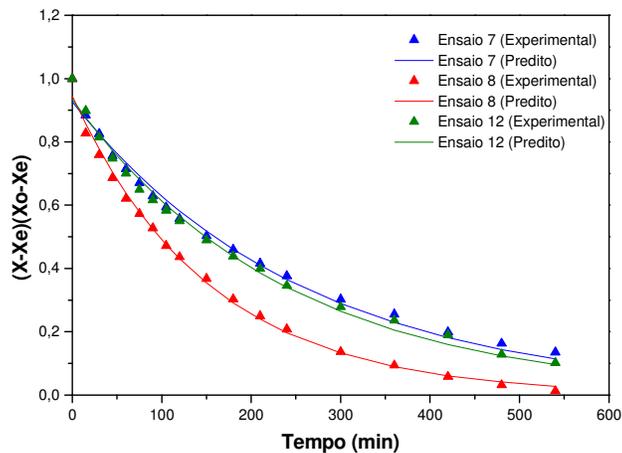


(b)

Figura 4.33 - Modelo de Henderson e Pabis para o processo de secagem de piraríba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (a) ensaios 1, 2 e 9 (Ponto central); (b) ensaios 3, 4 e 10 (Ponto central).



(c)



(d)

Figura 4.34 - Modelo de Henderson e Pabis para o processo de secagem de piraíba defumada para cada ensaio do planejamento experimental: (c) ensaios 5, 6 e 11 (Ponto central); (d) ensaios 7, 8 e 12 (Ponto central).

### 4.5.3. Microscopia

As Figuras (4.35 a 4.38) mostram a estrutura celular da piraíba *in natura*, desidratada osmoticamente (primeiro e segundo tratamento) e seca defumada, respectivamente.

Verifica-se na Figura 4.35 que a estrutura celular da piraíba *in natura* (após secagem na temperatura de 60°C até massa constante) apresenta certa uniformidade. No entanto, pode-se observar que a parede celular apresenta vestígios de rompimento, provavelmente ocorridos no transporte, estocagem ou durante o processo de secagem da matéria-prima.

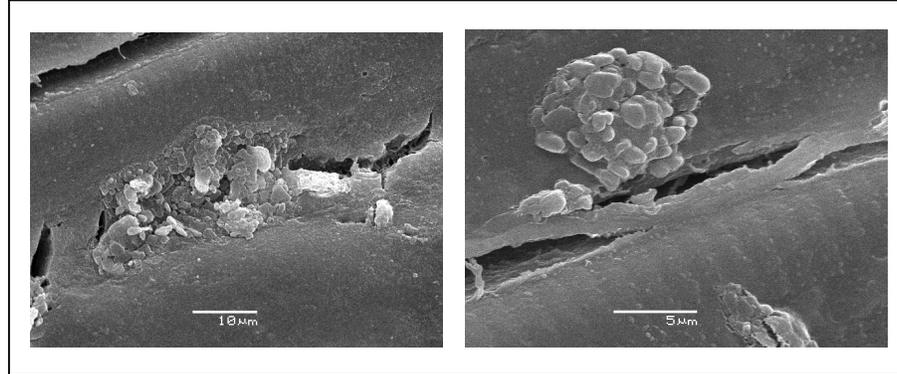


Figura 4.35 - Microscopia Eletrônica de Varredura da piraíba *in natura*.

A Figura 4.36 mostra a parede celular da piraíba desidratada osmoticamente (temperatura de 30°C, concentração de 0,2 mol/L e tempo de processo de 300 minutos) no primeiro tratamento. Verifica-se que o processo osmótico causou danos na parede celular do peixe, porém em menor intensidade quando comparados aos danos ocorridos no segundo tratamento.

Observa-se a presença de sal na parede celular, provavelmente, devido à menor permeabilidade do sal nas condições (T, C e t) escolhidas neste tratamento. Simões (2007) estudou a desidratação osmótica da tilápia do Nilo e verificou que a faixa estudada (concentração de NaCl de 25,6% p/p, temperatura de 34°C e tempo de 230 min) de desidratação osmótica causou danos estruturais no peixe (tilápia) provocando o *gaping* que é um fenômeno no qual o tecido conectivo falha em segurar a fibra do peixe unida, o que resulta em espaços e rompimento da ligação miofibrila-miocomata e miofibrila- miofibrila.

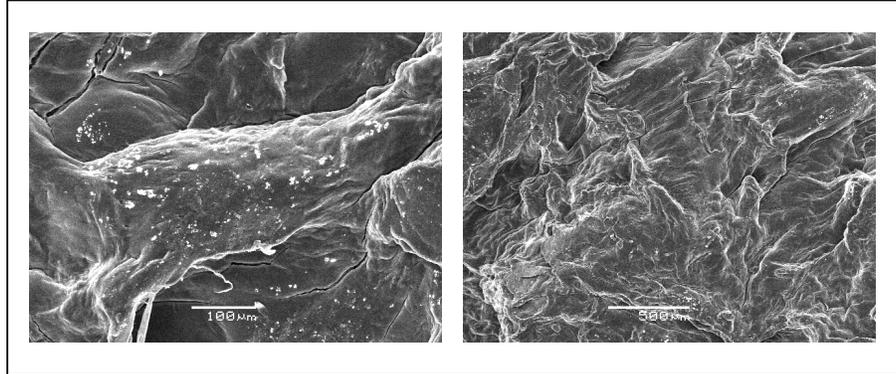


Figura 4.36 - Microscopia Eletrônica de Varredura de piraroba no primeiro tratamento de desidratação osmótica.

A Figura 4.37 mostra que a estrutura celular da piraroba desidratada osmoticamente no segundo tratamento (temperatura de 40°C, concentração de 0,8 mol/L e tempo de processo de 120 minutos) foi muito danificada, provavelmente, devido a maior concentração de NaCl, maior temperatura de processo e maior permeabilidade do cloreto de sódio.

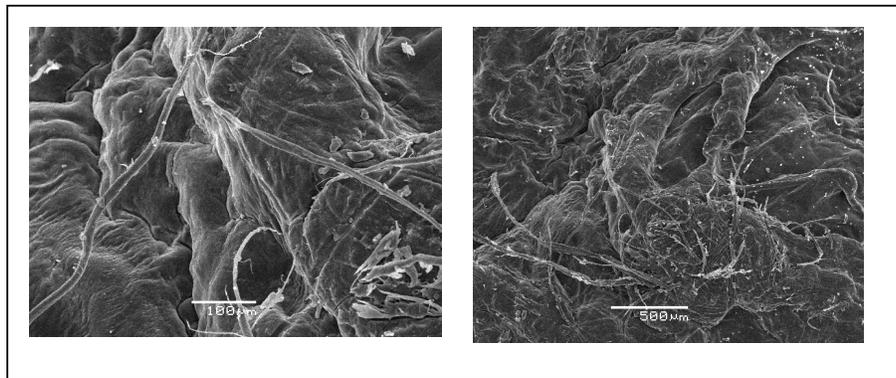


Figura 4.37 - Microscopia Eletrônica de Varredura de piraroba no segundo tratamento de desidratação osmótica.

A Figura 4.38 mostra que, o processo de defumação líquida e secagem (concentração de 20%, tempo de imersão de 28 segundos e temperatura de secagem de 60°C), aplicados como tratamento para piraroba parecem ter conservado melhor a estrutura celular do que os tratamentos de desidratação osmótica. Entretanto, observa-se uma enorme presença de cloreto de sódio na parede celular, provavelmente foi adquirido durante a etapa de salga (concentração

de NaCl de 21%, tempo de imersão de 2 min, temperatura de secagem 40°C e tempo de secagem de 30 minutos) realizada antes do processo de defumação líquida.

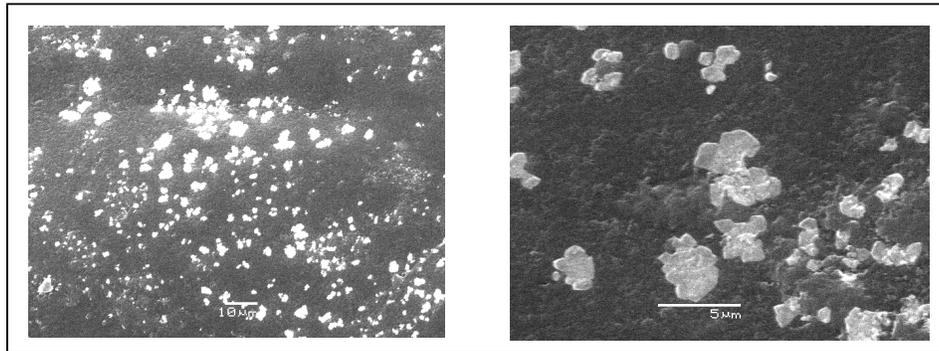


Figura 4.38 - Microscopia Eletrônica de Varredura da piraíba seca defumada.

#### 4.5.4. Avaliação sensorial

Na Tabela 4.25 estão os resultados da Análise de Variância para os atributos aroma, sabor, teor de sal, textura e impressão global das amostras de kibe de peixe seco defumado e amostra padrão.

Verificou-se que a defumação líquida melhorou a textura, cor, aroma e a aparência geral do peixe seco. Entretanto, como foi elaborado na forma de kibe, não foi notado nenhum desses atributos pelos consumidores, sendo citado somente por uma pessoa. Portanto, o peixe pode ser preparado nas condições de defumação líquida escolhida com a finalidade de guardar as características sensoriais próximas do padrão.

Observa-se que o valor da distribuição F calculado foi menor que o F tabelado para todos os atributos, indicando que os provadores não conseguiram perceber diferença significativa entre os tratamentos e a padrão.

Tabela 4.25 - Análise de variância para cada atributo sensorial avaliado.

<i>Fonte de Variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F<sub>calculado</sub></i>	<i>F<sub>tabelado</sub></i> <i>(p≤0,05)</i>
<i>Aroma</i>					
<b>Tratamento</b>	2	0,422	0,2111	0,07	2,84
<b>Resíduo</b>	87	266,3000	3,0609		
<b>Total</b>	89	266,7222			
<i>Sabor</i>					
<b>Tratamento</b>	2	15,356	7,6778	2,80	2,84
<b>Resíduo</b>	87	237,7667	2,7330		
<b>Total</b>	89	253,1222			
<i>Teor de sal</i>					
<b>Tratamento</b>	2	14,689	7,3444	1,52	2,84
<b>Resíduo</b>	87	420,6000	4,8345		
<b>Total</b>	89	435,2889			
<i>Textura</i>					
<b>Tratamento</b>	2	10,689	5,3444	1,96	2,84
<b>Resíduo</b>	87	236,3000	2,7161		
<b>Total</b>	89	246,9889			
<i>Impressão Global</i>					
<b>Tratamento</b>	2	11,089	5,5444	2,50	2,84
<b>Resíduo</b>	87	192,7333	2,2153		
<b>Total</b>	89	203,8222			

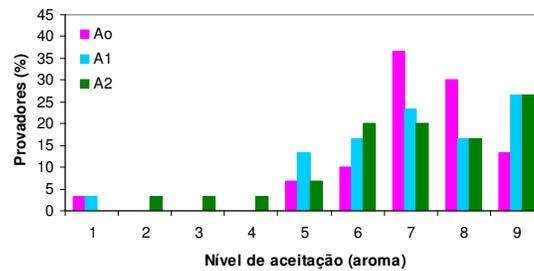
A Tabela 4.26 apresenta as médias de cada amostra em relação a cada atributo, pelo teste de médias de Tukey. Observa-se que não houve diferença significativa entre as médias, a  $p \leq 0,05$ , atribuídas as amostras secas defumadas e a padrão quanto ao aroma, sabor, teor de sal, textura e impressão global. Verifica-se também que as amostras foram igualmente aceitas pelos provadores com pontuações variando de 5,5 a 7,7 pontos, que corresponde ao conceito “indiferente” e “gostei moderadamente” na escala hedônica, respectivamente.

Tabela 4.26 - Comparação entre as médias dos atributos para as amostras padrão (A<sub>0</sub>) e seca defumada (A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>).

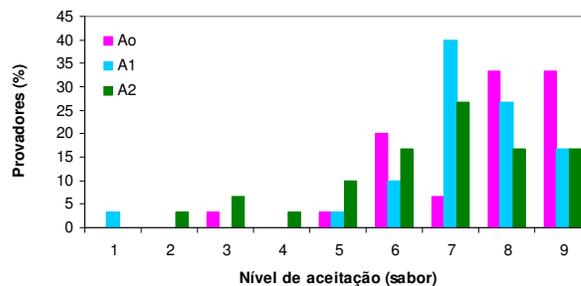
Atributos	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
Aroma	7,13 <sup>a</sup>	7,07 <sup>a</sup>	6,97 <sup>a</sup>
Sabor	7,60 <sup>a</sup>	7,23 <sup>a</sup>	6,60 <sup>a</sup>
Teor de sal	6,63 <sup>a</sup>	5,96 <sup>a</sup>	5,66 <sup>a</sup>
Textura	7,46 <sup>a</sup>	6,94 <sup>a</sup>	6,64 <sup>a</sup>
Impressão global	7,63 <sup>a</sup>	7,03 <sup>a</sup>	6,80 <sup>a</sup>

Obs: As médias das amostras com letras em comum na mesma linha não diferem entre si no nível de 5% de significância pelo teste de TUKEY.

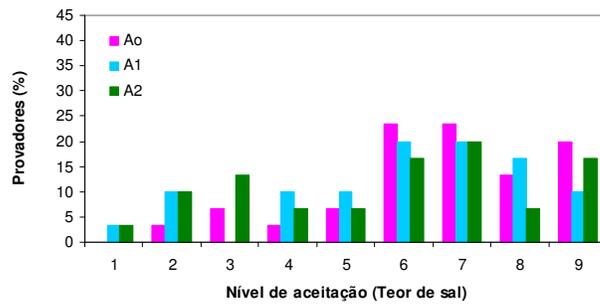
A Figura 4.39 apresenta os histogramas de frequência das pontuações atribuídas quanto ao aroma, sabor, teor de sal, textura e impressão global das amostras de kibe, A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>. Apesar de não apresentar diferença estatisticamente significativa, verifica-se que as médias obtidas para A<sub>2</sub> foram inferiores as medias obtidas para A<sub>1</sub> e A<sub>0</sub> em todos os atributos.



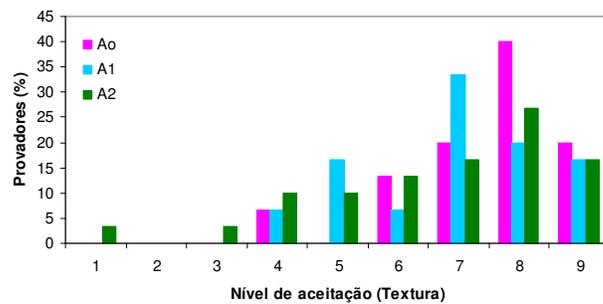
(a)



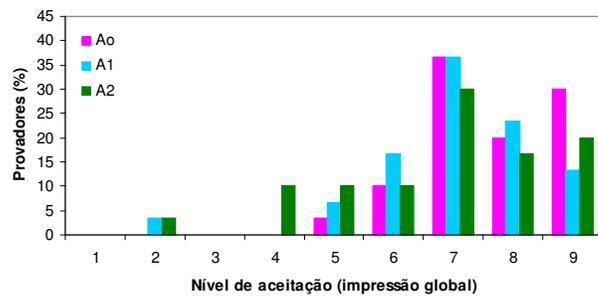
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 4.39 – Histograma de frequência dos valores atribuídos as amostras de kibe de peixe seco defumado e amostra padrão: (a) aroma, (b) sabor, (c) teor de sal, (d) textura, (e) impressão global.

Os resultados das pontuações médias obtidas para amostras de piraíba seca defumada foram próximos aos valores médios encontrados por Gonçalves e Cezarini (2008) que analisaram sensorialmente o peixe jundiá defumado em fumaça líquida. Os resultados da pontuação média para o jundiá defumado foi de  $7,83 \pm 0,91$ , atribuído aos conceitos entre “gostei regularmente” e “gostei muito”. Os autores avaliaram também o jundiá defumado tradicionalmente e os valores médios foram de  $5,93 \pm 1,46$ , o que corresponde entre o conceito “indiferente” e “gostei ligeiramente”, estando mais próxima do conceito “gostei ligeiramente”.

Ribeiro e Tobinaga (2002) utilizaram o teste de aceitabilidade para avaliar as características sensoriais das amostras de filés de peixe matrinhã (*Brycon cephalus*) secos e defumados. Observou-se que houve diferença significativa entre as amostras com relação aos atributos de aroma e sabor de defumados. Os resultados da aceitabilidade variaram de 67,78 a 82,22% para aroma e 65,56% a 94,44% para o sabor. Observou-se também que houve uma ótima aceitabilidade com relação à textura das amostras, que variou de 73,33% a 92,22%.

## 5. CONCLUSÕES

- A piraíba tem um elevado rendimento em filé e pode atender as demandas por filé de peixe em indústrias brasileiras;
- Todas as amostras analisadas de piraíba (*in natura* e seca defumada) apresentaram boas condições higiênico-sanitárias, uma vez que não foram detectados *Staphylococcus aureus* e *Salmonella*;
- Os modelos experimentais ajustados para perda de peso, perda de água e ganho de sal através da metodologia de superfície de resposta, foram considerados preditivos para maiores concentrações e apenas o modelo para o ganho de sal para menores concentrações de NaCl;
- A concentração molar e temperatura foram os fatores de maior influência nas respostas de perda de água e ganho de sal na desidratação osmótica de piraíba em ambos os tratamentos;

- Na faixa estudada no primeiro tratamento de desidratação osmótica de piraíba, a maior resposta de ganho de sal ocorreu na concentração de NaCl de 0,03 mol/L, temperatura de 38°C e tempo de processo de 200 min;
- Na faixa estudada no segundo tratamento de desidratação osmótica de piraíba, a maior resposta de ganho de sal ocorreu nas seguintes condições de processo: concentração de NaCl de 0,9 mol/L, temperatura de 35°C e tempo de processo de 150 minutos;
- Os modelos de Page e Midilli et al. modificado foram os que melhor representaram os dados experimentais de secagem de piraíba *in natura* e defumada quando comparada com as equações de Fick, Henderson e Pabis e Wang e Singh;
- As amostras de kibe de peixe seco (padrão) e seco defumado tiveram boa aceitação sensorial em relação aos atributos avaliados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Regulamento Técnico Sobre Padrões de Qualidade para Alimentos**. Resolução - RDC. n.12, de 02 de janeiro de 2001. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis>, Acesso: 22/09/2007.

AIURA, F. S.; CARVALHO M. R. B.; VIEGAS, E. M. M.; KIRSCHNIK P. G.; LIMA, T. M. A. Conservação de filés de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em salga seca e salga úmida. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.60, n.6, p. 1531-1537, 2008.

AKPINAR, E. KAVAK; BICER Y. Mathematical modelling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun. **Energy Conversion and Management**, 49, p.1367-1375, 2008.

ANTONIO, Graziella Colato; KUROZAWA, Louise Emmy; MURR, Fernanda Elizabeth Xidieh; PARK, Kil Jin. Otimização da Desidratação osmótica de batata doce (*Ipomoea batatas*) Utilizando Metodologia de Superfície de Resposta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.9, n.2, p. 135-141, abr./jun. 2006.

AOAC. Association Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 14.Ed., Arlington, 1995.

ARASON, Sigurjón. **The drying of fish and utilization of geothermal energy-the icelandic experience**. Reykjavik: University of Iceland. GHC Bulletin, december, 2003.

ARAUJO, E. A. F. **Estudo do processo de desidratção osmótica e secagem de nectarina (*Prunus persica*)**. 130p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ARAÚJO, Eduardo Fontes; CORRÊA, Paulo César e Silva; FERREIRA, Roberto. Comparação de modelos matemáticos para descrição das curvas de dessecção de sementes de milho-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.7, p.991-995. 2001.

AUBOURG, Santiago P. et al. Rancidity development during the chilled storage of farmed Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). **Journal of Lipid Science and Technology**, v. 107. n.6, 411- 417. 2005.

AZOUBEL, P. M. **Influência de Pré-tratamento na obtenção de produtos secos de caju (*anacardium occidentale L.*)**. 154p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

BARAT J.M.;GALLART-JORNET L.; ANDRÉS A.; AKSE L.; CARLEHOG M.; SKJERDAL O. T. Influence of cod freshness on the salting, drying and desalting stages. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 9 -19. 2006.

BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; SEVERINI, C. Air drying of plums. A comparison among twelve cultivares. **Science des Aliments**, França, n.14, p. 61-73, 1994.

BARBOSA, J. M.; LIMA, H. C.; SILVA JÚNIOR, E. J. da; MOTA, A. D. S. da; MENDONÇA, I. T. L.; SILVA FILHO, E. J. da. Beneficiamento e comercialização do pescado na região de itapissuma, pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, São Luís, 2(1), jan. 2007.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos-pesquisas e desenvolvimento na ciência e na industria**. Campinas: Editora da UNICAMP. 2001. 401p.

BARTHEM, Ronaldo Borges; FABRÉ, Nidia N. **A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira**, Manaus: Pro-Várzea, 2003. 45p.

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

BORGES, Alexandre; TEIXEIRA, Marcelo S.; FREITAS, Mônica Q. de; FRANCO, Róbson M.; MÁRSICO, E. T.; SÃO CLEMENTE, Sérgio C. de. Qualidade da corvina (*Micropogonias furnieri*) eviscerada em diferentes períodos de estocagem a 0°C. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.1, p. 259-264, Jan - Fev. 2007.

BOX, G. E. P.; HUNER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experiments – An introduction to design, data analysis and model building**. New York: Wiley Series in Probability and Mathematic Statistics, 1978.

BOX, G.E.P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, n.9, 1973.

BRASIL, Ministério da Agricultura. Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal, Brasília, DF, 2006. Acessado em: 22 de junho 2009. Disponível em: [http://www.agais.com/normas/riispoa/riispoa\\_titulo14.pdf](http://www.agais.com/normas/riispoa/riispoa_titulo14.pdf).

BRUSHI, Fábio Luiz Ferreira. **Rendimento, composição química e perfil de ácidos graxos de pescados e seus resíduos: uma comparação.** 65p. Monografia - Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina. 2001.

CARNEIRO, Maria de J. de M. **Congelamento de Filés de Sardinha por imersão e avaliação física e sensorial de sua qualidade durante a estocagem.** 185p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1999.

ÇENGEL, Y. A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem pratica.** São Paulo. Mc Graw Hill, 3ª edição. 2009. 902p.

CHAVAN B. R.; YAKUPITIYAGE A.; KUMAR, S. Mathematical Modeling of Drying Characteristics of Indian Mackerel (*Rastrilliger kangurta*) in Solar-Biomass Hybrid Cabinet Dryer. **Drying Technology**, v.26, n.12, p.1552-1562, 2008.

CHAVES, J. B. P. **Análise sensorial: histórico e desenvolvimento.** Viçosa: Imprensa Universitária, 1993, 31p.

CHEN, H. C.; CHEN, C. S. Effects of dehydration on volume contraction in mushrooms. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v.19, p.97-99, 1974.

COELHO, M. C. S.; CORRÊA, M.V; AGUIRRE, L. A. Metodologia para Representação de Modelos NARX Polinomiais na Forma de Hammerstein e Wiener. **Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v. 3, n. 1, p.71-80. 2002.

CONDE, J. M. M. **Guia del inspector veterinário titular: 1-bromotologia sanitária.** Barcelona: Biblioteca Veterinária Aedos, p.190-260. 1975.

CONTRERAS-GUZMÁN, E. S. **Bioquímica de pescados e invertebrados.** Santiago, Chile: Ed. CECTA-USACH, 2002. 309p.

CORRAZA, F. C.; NEITZEL. I.; DA SILVA, E. A. Modelagem de um secador do tipo esteira: aplicação industrial. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 133-140, 2003.

CORREA, Paulo C. et al . Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, Aug. 2007.

CORZO A, Otoniel; BRACHO, Nelson. Application of Weibull distribution model to describe the vacuum pulse osmotic dehydration of sardine sheets. **LWT - Food Science and Technology**, v.41, n. 6, p.1108–1115, July, 2008.

COSTA, Tiago Viana da. **Identificação de novas espécies com potencial para a criação em cativeiro: pescado capturado no Estado do Amazonas.** 65p. Dissertação (Mestre em Ciências). Instituto de Zootecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**, 2<sup>a</sup> ed. S.I Claredon Press Oxford, 414p., 1975.

DAS, MADHUSWETA; DAS, SUSANTA KUMAR. Analysis of moisture sorption characteristics of fish protein myosin. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 37, n. 5, p. 223-227, February, 2002.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, MARÍLIA A. B. de M.; PEREIRA, R. de C.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. de O. Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-

desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.1, p. 232-240. 2009.

DITCHFIELD, Cynthia. **Estudo dos métodos para a medida de atividade de água**. 195p. (Dissertação de mestrado) - Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DOYMAZ, Ibrahim. Drying of leek slices using heated air, **Journal of Food Process Engineering**, 31, p.721-737.2008.

DOYMAZ, Ibrahim. Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry. **Journal of Food Engineering**. 78, p. 591-596. 2007.

DUARTE, Â. J.; CARREIRA, R. L.; JUNQUEIRA, R. G.; COELHO, José V.; SILVESTRE, Marialice Pinto Coelho. Propriedades emulsionantes e solubilidade da caseína bovina: efeito da adição de NaCl. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, vol.18, n.3, p. 303-308. 1998.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**, Curitiba, 1996. 123p.

EMERENCIANO, Maurício G. C.; SOUZA, Maria L. R.; FRANCO, Nilson P. Avaliação de técnicas de defumação para mexilhão *perna perna*: análise sensorial e rendimento. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v.34, n.2, p.213 - 219, 2008.

FARIAS, Maria C. A.; FREITAS, José A. Qualidade microbiológica de pescado beneficiado em indústrias paraenses. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v.67, n.2, p.113-117, 2008.

FERREIRA, M. W; KARLA S., V; BRESSAN, M. C; FARIA, P, B; VIEIRA, J. O; ODA, S.H.I. Pescados processados: maior vida de prateleira e maior valor agregado. Universidade Federal de Lavras. **Boletim de Extensão Rural**, Lavras, MG. 26p. 2002.

FONTES, M.C; ESTEVES, A.; CALDEIRA, F.; SARAIVA, C.; VIEIRA-PINTO, M.; MARTINS C. Estado de frescor e qualidade higiênica do pescado vendido numa cidade do interior de Portugal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.59, n.5, p. 1308-1315. 2007.

FREATO, Thiago A.; FREITAS, R. T. F. de; SANTOS, V. B. dos; LOGATO, P. V. R.; VIVEIROS, A. T. de M. Efeito do peso de abate nos rendimentos do processamento da piracanjuba (*Brycon orbignyanus*, Valenciennes, 1849). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 676-682. 2005.

FREIRE, F. N. A.; DA SILVA, M. E. V.; ZAPATA, J. F. F.; MAIA, G. A. Desidratação de músculo de pescado em bancada experimental de secagem. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, 2003.

GAL, S. Recents advances in techniques for the determination of sorption isotherms. In: DUCKWORTH, R. B. (ed.). **Water relations of foods**, London: Applied Science Publishers, 1972.

GARCIA-ARIAS, M. T.; PONTES, E. A.; GARCIA L. M. C.; FERNANDEZ, M. C. G.; SANCHEZMUNIZ, F. J. Cooking-freezing-reheating (CFR) of sardine (*Sardina pilchardus*) fillets: efect of different cooking and reheating procedures on the proximate and fatty acid compositions. **Food Chemistry**, Washington, v. 83, n. 3, p. 349-356, 2003.

GAUBEUR, I.; GUEKEZIAN, M.; BONETTO, N. C. F. **Apostila de laboratório de Química analítica quantitativa – I**. Universidade Presbiteriana Mackenzie, Faculdade de Ciências Biológica, Exatas e Experimentais, São Paulo, 2004.

GAVA, A. J. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**, 7ª Ed. Nobel, São Paulo, 284 p. 1988.

GERMANO, P. M. L.; GERMANO, M. I. S. **Higiene e vigilância sanitária de alimentos: qualidade das matérias-primas, doenças transmitidas por alimentos, treinamento de recursos humanos.** 2ª Ed. Varela, São Paulo, 665p. 2003.

GEROMEL, E. J.; FORSTER, R. J. **Princípios fundamentais em tecnologia de pescados.** Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia e Coordenadoria da indústria e comércio, São Paulo, 1982.

GIRARD, J. P. **Tecnologia de la carne y de los productos carnicos,** cap1, 1991.

GOMES, A. T.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. Desidratação Osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 3, n. 3, p. 212-226, set-dez/2007.

GONÇALVES, A. A.; CEZARINI, R. Agregando valor ao pescado de água doce: defumação de filés de jundiá (*Rhamdia quelen*). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, São Luis, v.3, n.2, jul. 2008.

GONÇALVES, Alex Augusto; PRENTICE-HERNANDEZ, Carlos. Liquid smoking of blue fish (*Pomatomus saltatrix*): effects of processing on the chemical and microbiological properties. **Ciência Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 18, n. 4, p. 438-443. 1998.

GOUVEIA, N. Smokez 1517 IC. **Especificação Técnica.** BKG Adicon/ICL Brasil Ltda. São Bernardo do Campo. 2008. 2p.

GRAIVER, N; PINOTTI, A; CALIFANO, A; ZARITZKY, N. Diffusion of sodium chloride in pork tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 910-918. 2006.

GRANADA, G.; ROSA, V.; ZAMBIAZI, Rui; KOETZ, P. Caracterização de granolas comerciais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.1, p.87-91. 2003.

GUERREIRO, Lilian. Produção de hambúrguer. **Dossiê técnico**, Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. REDETEC - Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, outubro, 2006.

GURGEL, J. J. S.; FREITAS, J. V. F. Composição química de doze espécies de peixe de valor comercial de açudes do Nordeste Brasileiro. **Boletim Técnico DNOCS**, v. 30, n.1, p.49- 57, 1972.

GURJÃO, Kátia Cristina de Oliveira. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (*Tamarindus indica L.*)**. 165p. Tese (Doutorado em Agronomia), Centro de ciências agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia 2006.

HEINRICH, S.; IHLOW, M.; HENNEBERG, M.; PEGLOW, M.; MACHNOW, E.; MORL, LOTHAR. Studies of steam drying in a fluidized bed. **Drying technology**, v.20, n.1, p.175-194. 2002.

HIMMELBLAU, David M.; RIGGS, James B. **Engenharia química: princípios e cálculos**. Rio de Janeiro: LTC. .2006. 845p.

HOFMEISTER, L. C.; SOUZA, José Antônio R.; PETRUS, José Carlos C.; LAURINDO, João Borges. Salga de queijo tipo minas por impregnação a vácuo. **Ciência e Tecnologias de Alimentos**, Campinas, 25(3). P.487-494, jul-set. 2005.

KAJIYAMA, T.; PARK, Kil Jin. Influência da umidade inicial da alimentação no tempo de secagem em secador atomizador. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.1-8, 2008.

KEEY, R. B. **Drying: principles and practice**. Oxford: Pergamon Press, 1972, 358p.

KILIC, AYDIN. Low temperature and high velocity (LTHV) application in drying: Characteristics and effects on the fish quality. **Journal of Food Engineering**, v.91, p.173-182. 2009.

KONTOMINAS, Michael G; GOULAS, Antonios E. Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes. **Food Chemistry**, v. 93, p.511-520, 2005.

KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 391-403, 2003.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z. B. Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying Tecnology**, v.15, n.10, p.2441-2458, 1997.

LAMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S., LABUZA, T. P. Moisture transfer properties of dry and semimoist food. **Journal of Food Science**, Chicago: Institute of Food Technologists, v.50, p.397-400, 1985.

LAZARIDES, H. N. Sorption isotherm characteristics of an intermediate moisture meat product. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.23, p.418-421,1990.

LANZILLOTTI, R. S.; LANZILLOTTI, H. S. Análise sensorial sob o enfoque da decisão fuzzy. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.12, n. 2, p. 145-157, maio/ago., 1999.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v.14, n.2, p.391-413, 1996.

LENART, A.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of potato II. Sapatial distribution of the osmotic effect. **Journal of Food Technology**, v. 14, n. 2, p.65- 89, 1984.

LIMAVERDE FILHO, A. M.; CAMPOS, R. C. de; GOES, V. de A. Avaliação da perda de mercúrio total em peixe antes e após os processos de fritura e cocção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 19-22, 1999.

LIUSON, E. **Pesquisa de coliformes totais, fecais e *Salmonella* sp em tilápias de pesqueiros da região metropolitana de São Paulo.** 93p. Dissertação (Mestrado em Epidemiologia Experimental e Aplicada às Zoonoses) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S., LABUSA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel – Wissenschaft and Technologies**, v.18, p.112-122, 1985.

LOPES, Regina Lucia Tinoco. Conservação de alimentos. **Dossiê técnico**, Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, outubro, 2007.

MANNHEIMER, Walter A. **Microscopia dos materiais**, Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais, 2002, 221p.

MAIA, E. L.; OGAWA, M. Cor. **Manual de pesca (Ciência e tecnologia do pescado)**. São Paulo: Livraria Varela, 1999, cap. 5, p. 75-85.

MARENGONI, N. G. Produção de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (linhagem Chitralada), cultivadas em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. **Archivos de Zootecnia**, v. 55, n. 210, p. 127-138, 2006.

MARTINS, V. G.; COSTA, J. A. V.; PRENTICE-HERNANDEZ, C. Hidrolisado protéico de pescado obtido por vias química e enzimática a partir de corvina (*Micropogonias furnieri*). **Química Nova**, São Paulo, v.32, n.1, p. 61-66. 2009.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v.61, p. 373-386, 2004.

MEDINA VIVANCO, M. L. **Desidratação osmótica em soluções ternárias, secagem e transições térmicas de filé de tilápia (*oreochromis niloticus*)**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MEISAMI-ASL, E.; RAFIEE, S.; KEYHANI, A.; TABATABAEEFAR, A. Mathematical Modeling of Moisture Content of Apple Slices. (*Var. Golab*) During Drying. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, n.6, p. 804-809, 2009.

MENDES, E. S.; MENDES, P. P.; M. I. S.; SOUZA, J. C. R.; CRUZ, M. C. S; ASSIS, A. S.; ALVES, A. B. Aspectos Microbiológicos do Camarão *Ltopenaeus vannamei* Defumado e sua vida de Prateleira. **Higiene Alimentar**. São Paulo, v. 16, n. 99,p.75-80, 2002.

MIDILLI, A., KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single layer drying. **Drying technology**, v. 20, n.7, p. 1503-1513, 2002.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUARIA E ABASTECIMENTO. Aproveitamento dos Sub-Produtos do Pescado. **Relatório de atividade da Meta 10 – Convênio MA-UNIVALI** (MAPA/SARC/DPA/03/2001). Itajaí, SC. 2001.

MOHAMMADI, A.; RAFIEE, S.; KEYHANI, A.; EMAM-DJOMEH, Z. Moisture content modeling of sliced kiwifruit (cv. Hayward) during drying. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, n.1, 2009.

MOLINA-FILHO, L.; PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, Javier; BARBOZA, Silvia H. R. Influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (NaCl) nas isotermas de sorção da carne de tambaqui (*Colossoma macroparum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.2, p. 453-458. 2006.

MOTARJEMI, Y. **A Study of Some Physical Properties of Water in Foodstuffs**. Thesis, (PhD. Food Engineering), Lund University, Lund, Sweden, 1988.

OLIVEIRA, M. M. de; CAMPOS, A R. N.; GOUVEIA, J. P. G. de; SILVA, Flávio L. H. Estudo do equilíbrio higroscópico do resíduo da casca do abacaxi (*ananás comosus l. mer*). **Anais...** IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. p.1321-1324.2005.

OLIVEIRA, N. M. S.; OLIVEIRA, W. R. M.; NASCIMENTO, L. C. Avaliação físico-química de filés de tilápia (*Oreochromis niloticus*) submetidos à sanitização. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 83-89, 2008.

OLIVEIRA, R. A. **Estudo da secagem de raízes de chicória na obtenção de inulina**. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

OLIVEIRA, R. A. DE; OLIVEIRA, W. P. DE; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.181-189, jan./abr. 2006.

OLIVERA, F. C.; NORENA, C. Z. P.; WADA, K.; MARCZAK, L. D. F. Alternativas tecnológicas do processamento e armazenamento do pinhão. **Oktober Fórum**. Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005.

OOIZUMI, T.; KAWASE, M.; KAHANE, Y. Permeation of sodium chloride into fish meat and its effect on moisture content as a function of the osmotic pressure of the soaking solution. **Fisheries Science**, v. 69, p. 830-835, 2003.

OZOGUL, Y.; OZYURT, G.; OZOGUL, F.; KULEY, E.; POLAT, A. Freshness assessment of European eel (*Anguilla anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods. **Food Chemistry**, Washington, v. 92, p. 745-751. 2005.

KAJIYAMA, T.; PARK, K. J. Influência da umidade inicial da alimentação no tempo de secagem em secador atomizador, **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.1-8, 2008.

PACHECO, T. de A.; LEITE, R. G. M.; ALMEIDA, A. C. de; FIORINI, J. E. Análise de coliformes e bactérias mesofílicas em pescado de água doce. **Higiene alimentar**, São Paulo, v. 18, n.116, p.68-72, jan.-fev. 2004.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin-layer**. Indiana, 1949. Dissertation (M.Sc), Purdue University Indiana, USA, 1949.

PARK, K. J. **Fundamentos de secagem**. Notas de aula. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 1987.

PARK, K.J.; NOGUEIRA, R.I.; "Modelos para ajuste de isotermas de sorção de alimentos."; **Engenharia Rural**, n. 3 (1) , p.180-186 , 1992.

PERRY, J. H. **Chemical engineer's handbook**. 6. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1984. 1078p.

PEZANTES, D. V. **Estudo das operações combinadas da desidratação osmótica a vácuo, defumação líquida e secagem em filés de bonito (*Sarda sarda*)**. 223p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

POMBO, Cecília Riscado. **Avaliação físico-química e bacteriológica de peixes anchovados**. 102p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária). Centro de Ciências Médicas, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

PONTING, J. D.; WATTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**. 20, 1365-1368, 1966.

RAMALHO, R. Salga de peixes. Serviço Brasileiro de Resposta Técnica. Rede de Tecnologia da Bahia. 2006. Disponível em: <http://sbrtv1.ibict.br/upload/sbrt3691.pdf?PHPSESSID=88b1b4d2cd3443f5ba7c6b29362aed16>, Acesso em: 23/04/2009.

RAMALLO, L. A.; HUBINGER, M. D; MASCHERONI, R. Influência de las condiciones del proceso osmótico sobre las propiedades mecánicas del ananá. *Anais...XI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Buenos Aires, 2007.

RAMALLO, L. A.; HUBINGER, M. D.; MASCHERONI, Rodolfo. Influência de las condiciones del proceso osmótico sobre las propiedades mecánicas del ananá. *Anais... XI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2007, Buenos Aires. Actas del XI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Buenos Aires, 2007.

RAMOS, B.; MENDES, W. T. **Preparação e padronização de uma solução 0,10 mol/L de hidróxido de sódio; Determinação da acidez no vinagre**, Anápolis, Universidade Estadual de Goiás. Química Analítica Experimental II. 2004. 12p.

RANGANNA, S. **Manual of analysis of fruit and vegetable products**, New Delhi, India: Mc Graw-Hill Publishing Company Limited, 1977.

RAOULT-WACK, A. L.; LENARD, A.; GUILBERT, S. Recent advances in the osmotic dehydration of food. **Trends in Food Science Tecnology**, v. 5, p. 225-260, 1994.

REYES M, GENARA; CORZO, OTONIEL; BRACHO, NELSON. Optimización de la deshidratación osmótica de sardina mediante la metodología de superficies de respuesta. **Revista Científica**, FCV-LUZ, Maracaibo, v. XV, n.4, 377 - 384, 2005.

REYES, GENARA; CORZO, OTONIEL; BRACHO, NELSON. Optimización de la deshidratación osmótica de sardina mediante la metodología de superficies de respuesta. **Revista Científica**, Maracaibo, agosto, v. 15, n.4, p.377-384. 2005.

REZA, SHAHEED MD.; BAPARY, ABU JAFOR MD.; ISLAM, NAZRUL MD.; KAMAL, MD. Optimization of marine fish drying using solar tunnel dryer. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 33, p. 47-59, 2009.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. 1.ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2004.

RIBEIRO, S. C. A. **Estudo do Processo de Desidratação Osmótica e Secagem de Files de Mapará (*Hypophthalmus edentatus*)**. 278p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

RIBEIRO, S. C. A. **Secagem e Defumação de File de Peixe Matrinchã (*Brycon cephalus*)**. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

RIBEIRO, S. C. A.; TOBINAGA, Sathoshi. Avaliação sensorial de filés de matrinchã (*Brycon cephalus*) processados por métodos combinados. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.101-106, 2002.

RIBEIRO, Suezilde C. A.; PARK, Kil Jin; HUBINGER, M. D.; RIBEIRO, Carmelita F. A.; ARAUJO, E. A. F.; TOBINAGA, S. Otimização da desidratação osmótica de filés de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) através da metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.2, p. 485-492, 2008.

RODRIGUES, F. A. **Secagem e defumação de peixe de água doce**. Campinas, 1996. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

RUIVO, U. E. A análise sensorial na avaliação da qualidade do pescado. **Anais...** Controle de qualidade do pescado. Edições Loyola. São Paulo, 1988, p.69-80.

RUTTANAPORNVAREESAKUL, Yaowalux; IKEDA, Misako; HARA, Kenji; OSAKO, Kazufumi; KONGPUN, Orawan; NOZAKI, Yukinori. Effect of shrimp head protein hydrolysates on the state of water and denaturation of fish myofibrils during dehydration. **Fisheries Science**, v. 71,1 ed , p. 220-228, 2005.

SABADINI, E.; M. D. HUBINGER, M. D; SOBRAL, P.J. do A; CARVALHO, JR. B. C. Alterações da atividade de água e da cor da carne no processo de elaboração da carne salgada desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.1, p. 14-19, jan.-abr. 2001.

SANTIN, Solane C. F. Osmose. **Instrumentação para o ensino de química**. Série: Experiências Demonstrativas, Universidade do Oeste do Paraná, 2001.

SANTOS, Geraldo Mendes; FERREIRA, Efrem J. G.; ZUANON, Jansen A. S. **Peixes comerciais de Manaus**. Manaus: Ibama/AM, ProVárzea, p. 144. 2006.

SANTOS, G. M. dos; JEGU, M. Piraíba, o peixe gigante. **Ciência Hoje**. Rio de Janeiro, v. 34. n, 203. abril/2004.

SANTOS, Geraldo M. dos; SANTOS, Ana Carolina M. dos. Sustentabilidade da pesca na Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, vol.19, n.54 Mai/Agos, pp. 165-182. 2005.

SANTOS, T. M.; MARTINS, R. T.; SANTOS, W. L. M; MARTINS, N. E. Inspeção visual e avaliações bacteriológica e físico-química da carne de piramutaba (*Brachyplatistoma vaillanti*) congelada. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, n.6, p. 1538-1545. 2008.

SANTOS, T. M. **Avaliação Bacteriológica e Físico-Química (pH e N-BVT) da Carne de Piramutaba, *Brachyplatistoma vaillanti* (Siluriformes, Pimelodidae), Congelada Comercializada em Belo Horizonte – MG.** 27p, Dissertação (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2006.

SCHINDLER, J. Processo de Defumação com um toque diferente. **Revista Nacional da Carne**, n. 241, mar.,1997.

SCHMIDT, Franciny Campos; CARCIOFI, Bruno Augusto Mattar; LAURINDO, João Borges. Efeito da impregnação a vácuo na transferência de massa durante o processo de salga de cortes de peito de frango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.2, p. 366-372. 2008.

SILVA E SILVA, Francisco de A. Assistat Versão 7.5 beta (2008) – Disponível em: <http://www.assistat.com> DEAG-CTRN - Universidade Federal de Campina Grande. Acessado em: 25/06/2009.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, F. A. C.; LIMA, E. E.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P. Drying kinetics of coriander (*Coriandrum sativum*) leaf and stem, **Ciencia y tecnología alimentaria**, México, v.6, n.1, p.13-19. 2008.

SILVA, Elen V. C.; SILVA, Gisele F.; AMARAL, Alan J. L. Elaboration and characterization of fish tinned from guriyuba (*Arius parkeri*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 2, n. 2, p. 15-24, 2008.

SILVA, Luis Mauricio Abdon da; SILVA, Sirley Luzia Figueiredo. Fatores de decisão de compra de pescado nas feiras de Macapá e Santana – Amapá. **Boletim técnico-científico do CEPNOR**, Belém, v. 4 , n. 1, p. 89-98 2004.

SILVEIRA, A. J. A.; SANTOS, A. K. S.; TEIXEIRA, J. L. G.; ALBUQUERQUE, A. C. A.; MELO, M. C. C. Investigação de ômega 3 e ômega 6 em pescados paraenses. *Anais...* 48º Congresso Brasileiro de Química. Rio de Janeiro, 2008.

SIMÕES, Márcia Regina. **Desidratação osmótica, secagem e defumação líquida de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade Tailandesa.** 184p. Tese (doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. 2007.

SIQUEIRA, Alessandra A. C. de. **Efeitos da irradiação na refrigeração na qualidade e no valor nutritivo da tilapia (*Oreochromis niloticus*).** 154p, Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2001.

SISKOS, Ilias; ZOTOS, Anastasios; TAYLOR, KD Anthony. The effect of drying, pressure and processing time on the quality of liquid-smoked trout (*Salmo gairdnerii*) filets. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.85, p. 2054–2060, (2005).

SOBRINHO, Américo Garcia da Silva; ZEOLA, Nivea Maria Brancacci Lopes; SOUZA, Hirasilva Borba Alves de; LIMA, Tânia Mara Azevedo de. Qualidade da carne ovina submetida ao processo de salga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, vol.24, n.3, p. 369-372. 2004.

SOUZA, Maria L. R. de Souza; BACCARIN, Ana Eliza; VIEGAS, Elisabete M. Macedo; KRONKA, S. do Nascimento. Defumação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) inteira eviscerada e filé: aspectos referentes às características organolépticas, composição centesimal e perdas ocorridas no processamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33. n.1. Jan./Feb. 2004.

STEVANATO, F. B.; SOUZA, N. E.; MATSUSHITA, M.; VISENTAINER, J.V. Aproveitamento de resíduos, valor nutricional e avaliação da degradação de pescado.. **Pubvet - Publicações em Medicina Veterinárias e Zootecnia**, Londrina, v. 1, n. 7, Nov.3, 2007.

SZENTTAMÁSY, E.R.; BARBOSA, S.M.V.B.; OETTERER, M.; MORENO, I.A.M. Tecnologia do pescado de água doce: aproveitamento do pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Scientia Agricola**, Piracicaba. v.50, n.2. p.303-310. 1993.

TEIXEIRA NETO, R. O. **Alterações da qualidade de frutas e hortaliças desidratadas durante a estocagem**. Desidratação de frutas e hortaliças – Manual Técnico. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 8.1-8.9. 2001.

TEIXEIRA, Clementina André; CHAVES, Vânia; SÍLVIA; Diogo, Hermínio; LOURENÇO, Nuno; MENESES, Filipe. Água quase tudo... e cloreto de sódio: purificação do cloreto de sódio. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, Lisboa, 106 - Jul/Set 2007.

TONON, Renata Valeriano; BARONI, Alessandra Faria; HUBINGER, Míriam Dupas. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 26, n.3, p. 715-723, jul.-set. 2006.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v.26, p.59-68, 1993.

TSIRONI, THEOFANIA; SALAPA, IOANNA; TAOUKIS, PETROS. Shelf life modelling of osmotically treated chilled gilthead seabream fillets. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 10, p. 23-31. 2009.

UDDIN, M. S.; HAWLADER, M .N. A.; RAHMAN, M. S. Evaluation of drying characteristics of pineapple in the production of pineapple powder. **Journal of Food Processing and Preservation**. Trumbull: Food & Nutrition Press, v.14, p. 375-391, 1990.

VALLEJO, SERGIO. Fabricação de torresmo e bacon defumado. Resposta técnica. **Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas**. 21 dez.2006. Acessado em: 27/01/2009. Disponível em: <http://sbrtv1.ibict.br/upload/sbrt5095s.html>.

VANDERZANT, C; SPLITTSTOESSER, D. F. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 3.ed. Washington: American public Health Association (APHA). 1919p, 1992.

VEGA-GALVEZ, A.; AYALA-APONTE, A.; NOTTE, E.; FUENTE LUCIA, DE LA; LEMUS-MONDACA, R. Mathematical Modeling of Mass Transfer during Convective Dehydration of Brown Algae *Macrocystis Pyrifera*. **Drying Technology**, v.26, p.1610–1616, 2008.

YANAR Yasemen; CELIK, Mehmet; AKAMCA, Erhan. Effects of brine concentration on shelf-life of hot-smoked tilapia (*Oreochromis niloticus*) stored at 4°C. **Food Chemistry**, Washington, v. 97, p.244-247, 2006.

## 7 – APENDICE

### A – Análise sensorial

#### *Etapas da elaboração do kibe de piraíba seca (padrão e defumada)*



**Figura A1-** Etapas da elaboração de kibe de piraíba seca: (a) trigo de kibe hidratado; (b) pescado triturado; (c) mistura; (d) antes da estufa; (e) kibe de piraíba defumada; (f) kibe da amostra padrão.

**FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL DE PIRAIBA DEFUMADA E SECA**

Nome: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

Você está recebendo amostras de kibe de forno de peixe.  
 Por favor, avalie a amostra recebida e indique, através da escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou da amostra em relação aos atributos: aroma, sabor, teor de sal, textura e impressão global.

Amostra n° \_\_\_\_\_

Atributo	Nota
Aroma	
Sabor	
Teor de sal	
Textura	
Impressão global	

- 9- Gostei muitíssimo
- 8- Gostei muito
- 7- Gostei moderadamente
- 6- Gostei ligeiramente
- 5- Nem gostei/nem desgostei
- 4- Desgostei ligeiramente
- 3- Desgostei moderadamente
- 2- Desgostei muito
- 1- Desgostei muitíssimo

Amostra n° \_\_\_\_\_

Atributo	Nota
Aroma	
Sabor	
Teor de sal	
Textura	
Impressão global	

Amostra n° \_\_\_\_\_

Atributo	Nota
Aroma	
Sabor	
Teor de sal	
Textura	
Impressão global	

Comentários:

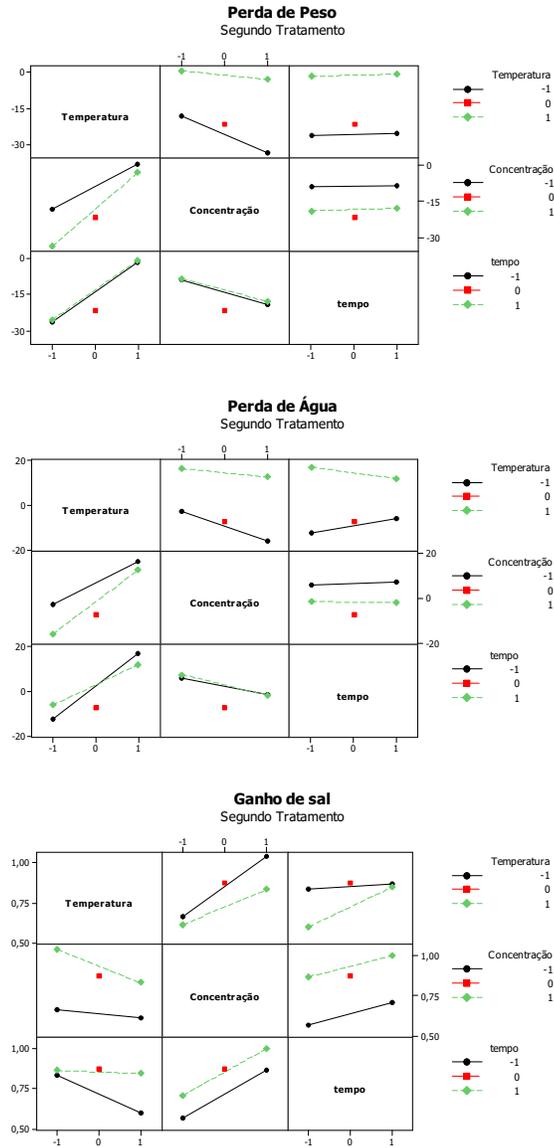
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

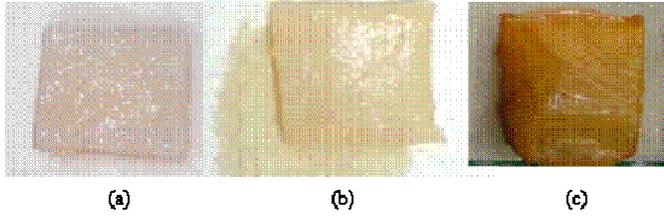
**Figura A2 -** Ficha de avaliação sensorial de kibe de piraiíba seca defumada e padrão.

## B – Segundo tratamento de desidratação osmótica



**Figura B1** – Gráficos (Software Minitab) das interações das respostas de PP, PA e Gsal do segundo tratamento de desidratação osmótica.

**C- Amostras processadas: Salga, defumada, defumada seca.**



**Figura C1** - Visão geral das amostras: (a) após a salga, (b) após imersão em aroma de fumaça, (c) amostra defumada e seca.