



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



Desidratação osmótica, secagem e defumação líquida de  
filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade  
Tailandesa

Por

**MÁRCIA REGINA SIMÕES**

Engenheira Química

Mestre em Engenharia de Alimentos

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda E. X. Murr**

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

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos.

**Campinas, Novembro de 2007.**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

Si45d Simões, Márcia Regina  
Desidratação osmótica, secagem e defumação líquida de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade Tailandesa / Márcia Regina Simões. -- Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Fernanda Elizabeth Xidieh Murr  
Co-orientador: Kil Jin Park  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Secagem. 2. Desidratação osmótica. 3. Pescado. 4. Tilápia (Peixe). 5. Análise sensorial. 6. Microestrutura. I. Murr, Fernanda Elizabeth Xidieh. II. Park, Kil Jin. III. Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Titulo em inglês: Osmotic dehydration, drying and liquid smoking in fillets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), Thai strain

Palavras-chave em inglês (Keywords): Drying, Osmotic dehydration, Fished, Tilapia (Fish), Sensory analysis, Microstruture

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Fernanda Elizabeth Xidieh Murr

Edson Antonio da Silva

Elisabete Maria Macedo Viegas

Graziella Colato Antonio

Miriam Dupas Hubinger

Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro

Data da defesa: 05/11/2007

Programa de Pós Graduação: Programa em Engenharia de Alimentos

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr  
**(Orientadora)-FEA-DEA-UNICAMP**

---

Prof. Dr. Edson Antonio da Silva  
**(Membro)-UNIOESTE**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elisabete Maria Macedo Viegas  
**(Membro) -FZEA/USP**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Graziella Colato Antonio  
**(Membro)-FEAGRI/UNICAMP**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Miriam Dupas Hubinger  
**(Membro)-FEA-DEA-UNICAMP**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro  
**(Membro) –EAFIC/PA**



**“Você pode ser a mudança que deseja ver no mundo”.**

**(Mahatma Gandhi)**



Que Deus não permita que eu perca **o romantismo**,  
mesmo eu sabendo que as rosas não falam.  
Que eu não perca **o otimismo**,  
mesmo sabendo que o futuro que nos espera não é assim tão alegre.  
Que eu não perca **a vontade de viver**,  
mesmo sabendo que a vida é, em muitos momentos, dolorosa...  
Que eu não perca a vontade de ter **grandes amigos**,  
mesmo sabendo que, com as voltas do mundo, eles acabam indo embora de nossas vidas...  
Que eu não perca a vontade de **ajudar as pessoas**,  
mesmo sabendo que muitas delas são incapazes de ver, reconhecer e retribuir esta ajuda.  
Que eu não perca **o equilíbrio**,  
mesmo sabendo que inúmeras forças querem que eu caia.  
Que eu não perca a vontade **de amar**,  
mesmo sabendo que a pessoa que eu mais amo, pode não sentir o mesmo sentimento por mim...  
Que eu não perca **a luz e o brilho no olhar**,  
mesmo sabendo que muitas coisas que verei no mundo, escurecerão meus olhos...  
Que eu não perca **a garra**,  
mesmo sabendo que a derrota e a perda são dois adversários extremamente perigosos.  
Que eu não perca **a razão**,  
mesmo sabendo que as tentações da vida são inúmeras e deliciosas.  
Que eu não perca o sentimento **de justiça**,  
mesmo sabendo que o prejudicado possa ser eu.  
Que eu não perca o meu **forte abraço**,  
mesmo sabendo que um dia meus braços estarão fracos...  
Que eu não perca **a beleza e a alegria de viver**,  
mesmo sabendo que muitas lágrimas brotarão dos meus olhos e escorrerão por minha alma...  
Que eu não perca **o amor por minha família**,  
mesmo sabendo que ela muitas vezes me exigiria esforços incríveis para manter a sua harmonia.  
Que eu não perca a vontade de doar este **enorme amor que existe em meu coração**,  
mesmo sabendo que muitas vezes ele será submetido e até rejeitado.  
Que eu não perca **a vontade de ser grande**,  
mesmo sabendo que o mundo é pequeno...  
E acima de tudo, que eu jamais me esqueça que **Deus me ama infinitamente**,  
que um pequeno **grão de alegria e esperança** dentro de cada um é capaz de mudar e  
transformar qualquer coisa, pois a vida é construída **nos sonhos e concretizada no amor!**"

(Chico Xavier)



## DEDICO

Ao homem que sempre me incentivou a estudar,  
e que Deus não permitiu que estivesse  
presente nesse momento....de onde estiver,  
deve estar orgulhoso de ver sua filha doutora!  
Todo meu amor e gratidão por tudo!  
Meu pai **Manoel Simões** (*in memoriam*)

A minha mãe **Lizette**,

por ter me dado a vida...  
Por todo amor, carinho e dedicação...  
por entender minhas ausências para que este dia chegasse!

A minha irmã **Lisiane**,

Este grande presente que Deus me deu!  
Por todo amor, carinho e amizade  
em cada momento de minha vida!  
Obrigada por Tudo!

Aos meus irmãos **Marcos e João Carlos**,

Pelo grande incentivo, carinho  
e pelos grandes momentos de alegria!

**A Vocês pai, mãe e meus queridos irmãos eu dedico este titulo!!!!!!**

**Pai,**  
*Tão fácil falar de ti;  
Amante da vida e da busca pelo conhecimento;  
Amigo íntimo da alegria, autenticidade e otimismo;  
Corajoso a ponto de recomeçar quantas vezes se fizesse necessário;  
Conhecido pelo alto astral e habilidade em discorrer assuntos de quaisquer natureza;  
Abatido pelos anos de vida? Jamais!!!  
Intimidado pela doença? Não combinava com ele!!!  
Lutou com hombridade e coragem até o último suspiro de vida!  
Falhas?  
Quem de nós não as cometeu?  
Saudade....  
Sentimento profundo .... a sentiremos eternamente...  
Porém, por amor, respeito e admiração pela sua pessoa e memória, cabe a nós o  
legado de continuar a sua história com todos os seus bravos ensinamentos e  
guardar sua doce lembrança em nossos corações.*

***(Lisiane Maria Berge Simões)***

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por sempre estar ao meu lado e por permitir minha evolução moral e espiritual.

À **Profª Drª Fernanda Elizabeth Xidieh Murr** pela orientação, amizade, pela oportunidade de iniciar sua carreira como orientadora e também pela grande responsabilidade de finalizá-la.... obrigada por ter sempre acreditado em mim.

Ao **Prof. Dr. Kil Jin Park** pela co-orientação do trabalho, ensinamentos, incentivo e principalmente pelo carinho que sempre fui recebida!!!

Aos membros da banca examinadora, **Profª Drª Miriam Dupas Hubinger, Elisabete Maria Macedo Viegas, Profª Drª Graziella Colato Antonio (Gra), Profª Drª Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro (Susi) e Prof. Dr. Edson Antonio da Silva**, pelas correções e valiosas sugestões para a melhoria deste trabalho.

À **Profª Drª Sandra Maria Carmello Guerreiro** e ao “**Tião**” do Instituto de Biologia da UNICAMP pelo auxílio na análise de Microscopia e principalmente pelo carinho e dedicação.

Ao **Adriano** da Biologia celular da Unicamp pelo auxílio na coloração das lâminas de Microscopia.

À minha amiga **Cris Ferrari** pela ajuda no uso do Texturômetro.

Um agradecimento especial a todos aqueles que me ajudaram na análise sensorial e também a aos provedores.

Ao **Prof. Dr. Antonio Carlos Lisboa** da FEQ pelas correções de Inglês e pelas boas conversas.

Aos funcionários da FEA, **Graça, Cosme, Sr. Aparecido, Srª. Castorina, Edinho, Srª. Cláudia e Geraldo** pela boa vontade de ajudar.

Agradeço a **MEL** ...pela terapia gratuita e por sempre me proporcionar alegria!!!!

Aos meus sobrinhos **André Luis (DEDE), Luis Fernando (LU), Lara e Alana** pelo carinho, amor e por sempre torcerem pela Tia. Um agradecimento especial ao **Lu** por ter me dado momentos de alegria em Campinas quando mais precisei.

Ao meu cunhado **Lincoln** e a minha cunhada-irmã **Isabela** pelo imenso carinho e grande incentivo.

Aos amigos do Laboratório de Medidas Físicas, **Vanessinha, Nara, Márcia Souza, Fezinha, Louise (Lou), Graziella (Gra), Anoar, Eder, Suezilde (Susi), Junior, Patricia Azoubel, Maristela, Adélia, Camilla e Carmel** pela grande amizade e por fazerem do LAMEFI um lugar agradável para se trabalhar!!!!

As Hcs, **Lou, Ana P., Cris Ferrari, Re Tonon e ao Giba (agregado)**...pelas boas conversas, os cafés, os almoços, os cineminhas, os escondidinhos, .....e principalmente por tornarem os dias de trabalho muito mais agradáveis!!!! Essa turma tem um lugar especial no meu coração!

A **Susi** pelo grande auxílio no início deste trabalho...não foi fácil filetar tanta Tilápia..... por sempre estar disposta a ajudar e principalmente pela grande amizade.....meu MUITO OBRIGADA!!!!

Ao **Prof. Satoshi** pelo incentivo em trabalhar com os peixinhos, e principalmente o carinho que sempre fui recebida e ao **Prof. Viotto** pela disposição de ajudar sempre que precisei.

A turma da Pós-graduação, **Ana Carla (Aninha), Lizieli Guerreiro (Lizi), Pítico, Roque, Gui Lopes, Caiçara, Douglas, Fabi, Elizama, Andreia, Marquinhos, Camilinha, Abraão, Ale, Geraldo, Klicia e Nádia**, obrigada pela amizade, companheirismo, pelos almoços no bandeijão, sofazinho do DEA, pelos barzinhos, cinemas, churrascos e os almoços na casa dos meninos. Essa turma vai deixar saudades!!

Ao Meu aluno de IC **Matheus Silveira Frank**.....por estar sempre disposto a ajudar, você já estava virando um SUSHI MEN..... e por tornar nossa convivência sempre muito agradável..... obrigada por TUDO!!!!

Aos amigos da Faculdade, **Noeli, Mara, Miriam e Ale Zacarias**, que mesmo longe, sempre estiveram no meu coração!!!

Aos amigos da UFPR, **Herta, Elza, Rosaria, Marlene e Laura**, e da UNIOESTE, **Luizinho, Rose Lucca, Diones, Conceição e Camilo** pela grande amizade e por torcerem sempre por mim.

A **Chris, Caetano, Mateus e Fabíola**, vocês foram minha família em Campinas, obrigada por tudo!!!

Ao **Caco**, esse amigo que me acompanha em todas as horas, me dando alegria sempre e conforto nos momentos que mais precisei.

Aquelas quem considero minhas amigas- irmãs, **Jaiana, Paty Leal, Ângela Grandin, Kity, Lou e Gra**, por compartilharem minhas alegrias, tristezas e acima de tudo pela grande amizade.

Aos amigos que conquistei em Campinas, **Ivana, Anna (FEAGRI), Juliana (FEAGRI), Tina (DTA), Dani (DTA), Andréia (mineira), Maristela, Rafinha, Larissa (DTA), Myron, Elias (FEA), Grinia (FEQ), Gisela Takeiti, Valéria, Cacilda, Lene (FEQ)**, por todos os bons momentos.

As minhas mestras **Cida e Beth** por todo ensinamento e carinho!

A **UNIOESTE** pela liberação e pelo auxílio financeiro.

É impossível lembrar de todas as pessoas que contribuíram de alguma maneira para que este trabalho se concluísse. Caso tenha me esquecido de você, desculpe-me, mas tenha a certeza de que sou imensamente grata a você e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram na realização desse trabalho.

Muito obrigada a todos!

# ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELA .....	xvi
ÍNDICE DE FIGURA .....	xix
NOMENCLATURA.....	xxiii
RESUMO .....	xxv
ABSTRACT .....	xxvi
1.INTRODUÇÃO.....	1
2.OBJETIVO .....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 TILÁPIA DO NILO ( <i>Oreochromis niloticus</i> ).....	4
3.2 PESCADO.....	6
3.2.1 Situação Nacional e Internacional do Pescado.....	6
3.2.2 Aqüicultura.....	9
3.2.3 Microbiologia do Pescado.....	9
3.2.4 Salga.....	11
3.2.4.1 Efeito da salga no pescado.....	14
3.3 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	14
3.3.1 Agentes Desidratantes.....	15
3.3.2 Temperatura.....	17
3.3.3 Agitação.....	17
3.3.4 Cinética de Desidratação Osmótica.....	18
3.4 DEFUMAÇÃO.....	23
3.4.1 Composição da Fumaça.....	23
3.4.2 Técnicas de Defumação.....	24
3.4.2.1 Defumação a quente.....	24
3.4.2.2 Defumação a frio.....	25
3.4.2.3 Defumação líquida.....	26
3.5 SECAGEM.....	28
3.5.1 Fundamentos e Mecanismos.....	28
3.5.1.1 Difusividade efetiva.....	28
3.5.1.2 Período de taxa constante de secagem.....	29
3.5.1.3 Período de taxa decrescente de secagem.....	29
3.5.2 Secagem de Pescado.....	33
3.6 ATIVIDADE DE ÁGUA.....	33
3.7 TEXTURA.....	36
3.7.1 Perfil de Textura (TPA).....	37
3.8 MICROSCOPIA.....	38
3.9 ANÁLISE SENSORIAL.....	39
3.10 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	40
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.1 MATÉRIA-PRIMA.....	43
4.2 MÉTODOS.....	43
4.2.1 Preparo da Matéria-Prima.....	43

4.2.2	Análises Microbiológicas .....	44
4.2.3	Análise Físico-Química .....	45
4.2.3.1	Caracterização morfométrica.....	45
4.2.3.2	Análise química .....	45
4.2.4	Corte .....	46
4.2.5	PRIMEIRO TRATAMENTO .....	47
4.2.5.1	Processo de desidratação osmótica.....	47
4.2.5.1.1	Planejamento experimental .....	48
4.2.5.1.2	Otimização.....	50
4.2.5.1.3	Secagem.....	50
4.2.5.1.4	Análise sensorial.....	51
4.2.5.1.5	Análises físico-químicas do produto desidratado e seco .....	52
4.2.6	SEGUNDO TRATAMENTO .....	53
4.2.6.1	Processamentos.....	53
4.2.6.2	Análise sensorial.....	54
4.2.6.3	Análises físico-químicas do produto defumado e seco .....	55
4.2.6.4	Análise microbiológica.....	55
4.2.7	Análise Estatística dos Dados Experimentais.....	55
4.2.8	Textura (TPA) .....	56
4.2.9	Microscopia Ótica.....	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	58
5.1	ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DA MATÉRIA-PRIMA.....	58
5.2	ANÁLISES MORFOMÉTRICA E QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA.....	58
5.3	PRIMEIRO TRATAMENTO .....	64
5.3.1	Desidratação Osmótica em Solução de NaCl.....	64
5.3.1.1	Perda de Peso.....	65
5.3.1.2	Perda de água.....	69
5.3.1.3	Ganho de sólidos .....	72
5.3.1.4	GS/PA.....	76
5.3.1.5	Atividade de água .....	79
5.3.1.6	Modelo estatístico.....	82
5.3.1.7	Otimização.....	82
5.3.2	Desidratação Osmótica em Solução Ternária de NaCl + Sacarose .....	84
5.3.2.1	Perda de Peso.....	85
5.3.2.2	Perda de água.....	90
5.3.2.3	Ganho de sólidos .....	95
5.3.2.4	GS/PA.....	100
5.3.2.5	Atividade de água .....	104
5.3.2.6	Modelo Estatístico .....	108
5.3.2.7	Otimização.....	108
5.3.3	Cinética de Desidratação Osmótica para as Condições Otimizadas.....	111
5.3.3.1	Ajuste de desidratação osmótica.....	112
5.3.4	Cinética de Secagem.....	117
5.3.4.1	Modelagem matemática da cinética de secagem .....	123
5.3.5	Análise Sensorial do Primeiro Tratamento.....	130
5.3.6	Análise do Filé Desidratado e Seco .....	134
5.7	SEGUNDO TRATAMENTO .....	135

5.7.1 Análise de Sal .....	135
5.7.2 Secagem do Peixe Defumado .....	135
5.7.3 Análise Sensorial do Segundo Tratamento.....	141
5.7.4 Planejamento Experimental .....	152
5.7.5 Análise Físico-Química. ....	154
5.7.6 Análise Microbiológica .....	154
5.8 Textura (TPA) .....	155
5.9 Microscopia .....	158
6.CONCLUSÕES .....	163
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	165
APÊNDICE A .....	178
APÊNDICE B.....	179
APÊNDICE C.....	180
APÊNDICE D .....	183

## ÍNDICE DE TABELA

Tabela 3.1 – Exportação de Tilápia peixes frescos e congelados.....	5
Tabela 3.2-Composição centesimal do filé de Tilápia. ....	5
Tabela 3.3– Classificação de peixes quanto ao teor de gordura e proteína.....	6
Tabela 3.4–Utilização da produção pesqueira mundial ( $\times 10^3$ t) .....	6
Tabela 3.5-Desempenho do setor pesqueiro no Brasil. ....	7
Tabela 3.6-Produção estimada de peixes da aquíicultura continental em 2004. ....	7
Tabela 3.7– Importação de pescado pelo Brasil. ....	8
Tabela 3.8– Importação de pescado defumado pelo Brasil. ....	8
Tabela 3.9-Valores mínimos de $a_w$ para o desenvolvimento de alguns microrganismos patogênicos. ....	35
Tabela 3.10 - Definição dos parâmetros obtidos em ensaio de TPA.....	38
Tabela 4.1- Análise microbiológica do pescado “in natura”. ....	44
Tabela 4.2– Planejamento experimental fatorial $2^3$ com pontos centrais realizado para avaliar a desidratação osmótica de filés de tilápia em solução de NaCl. ....	48
Tabela 4.3– Planejamento experimental fatorial $2^4$ com pontos centrais realizado para avaliar a desidratação osmótica de filés de tilápia em solução ternária de NaCl e sacarose.....	50
Tabela 4.4- Ingredientes utilizados na formulação do bolinho de peixe de tilápia. ....	52
Tabela 4.5– Planejamento experimental fatorial $2^2$ com pontos centrais realizado para avaliar a defumação e a secagem de filés de tilápia. ....	54
Tabela 4.6- Análises microbiológicas para o pescado salgado, defumado e seco. ....	55
Tabela 5.1– Análise microbiológica da Tilápia <i>in natura</i> .....	58
Tabela 5.2– Caracterização morfométrica de 19 exemplares de tilápia. ....	58
Tabela 5.3–Modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) .....	60
Tabela 5.4-Valores médios de rendimento de carcaça, filé e subprodutos da filetagem da tilápia. ....	61
Tabela 5.5-Rendimento médio do filé de tilápia tailandesa com e sem pele em função da distribuição do peso corporal.....	62
Tabela 5.6–Caracterização físico-química dos filés de tilápia <i>in natura</i> . ....	63
Tabela 5.7 -Valores experimentais das variáveis dependentes para a desidratação osmótica de filé de tilápia em solução de NaCl. ....	64
Tabela 5.8 - Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a perda de peso na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl. ....	65
Tabela 5.9- Análise de Variância (ANOVA) para a perda de peso durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.....	66
Tabela 5.10 - Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a perda de água na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl. ....	69
Tabela 5.11- Análise de Variância (ANOVA) para a perda de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.....	70

Tabela 5.12- Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para o ganho de sólidos na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.....	72
Tabela 5.13-Análise de Variância (ANOVA) para o ganho de sólidos durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.....	73
Tabela 5.14-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a relação GS/PA na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.....	76
Tabela 5.15 - Análise de Variância (ANOVA) para o GS/PA durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.....	76
Tabela 5.16 - Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a atividade de água na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.....	79
Tabela 5.17-Análise de Variância (ANOVA) para a atividade de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.....	80
Tabela 5.18-Coefficientes do modelo estatístico para a perda de peso, perda de água, o ganho de sólidos, GS/PA e a atividade de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.....	82
Tabela 5.19- Valores experimentais das variáveis dependentes para a desidratação osmótica de filé de tilápia em solução de NaCl + sacarose. ....	84
Tabela 5.20-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística para cada fator no modelo codificado para a perda de peso na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e Sacarose. ....	85
Tabela 5.21- Análise de Variância (ANOVA) para a perda de peso durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose. ....	86
Tabela 5.22-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística para cada fator no modelo codificado para a perda de água na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e Sacarose. ....	90
Tabela 5.23- Análise de Variância (ANOVA) para a perda de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose. ....	91
Tabela 5.24-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para o ganho de sólidos na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e Sacarose.....	95
Tabela 5.25- Análise de Variância (ANOVA) para a perda de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose. ....	96
Tabela 5.26-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a relação GS/PA na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e Sacarose.....	100
Tabela 5.27- Análise de Variância (ANOVA) para a relação GS/PA durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose. ....	101
Tabela 5.28-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a atividade de água na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e Sacarose.....	104
Tabela 5.29- Análise de Variância (ANOVA) para a atividade de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose. ....	105

Tabela 5.30–Coeficientes do modelo estatístico para a perda de peso, perda de água, ganho de sólidos, GS/PA e atividade de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose. ....	108
Tabela 5.31-Parâmetros de ajuste obtidos do modelo de AZUARA <i>et al.</i> (1992), PELEG (1988), PAGE (1949) e Fick durante a desidratação osmótica de tilápia em solução binária e ternária. ....	115
Tabela 5.32– Condições de processo da secagem convectiva de filé de tilápia <i>in natura</i> e	118
Tabela 5.33– Parâmetros de ajuste obtidos do Modelo Difusional durante a secagem convectiva de tilápia <i>in natura</i> e pré-tratado osmoticamente em soluções de NaCl e NaCl + sacarose. ....	125
Tabela 5.34 – Ajuste do modelo de Fick para as duas fases decrescentes .....	126
Tabela 5.35 – Parâmetros de ajuste obtidos do modelo empírico de Page durante a secagem convectiva de tilápia <i>in natura</i> e pré-tratado osmoticamente em soluções de NaCl e NaCl+sacarose. ....	129
Tabela 5.36- ANOVA para cada atributo sensorial avaliado. ....	133
Tabela 5.37- Médias para todas as amostras de bolinho de filé de tilápia <i>in natura</i> , desidratado em NaCl e desidratado em NaCl e sacarose.....	133
Tabela 5.38– Análise físico química do filé de tilápia desidratada e seca. ....	134
Tabela 5.39– Parâmetros de ajuste obtidos do Modelo Difusional durante a secagem convectiva de tilápia seca e defumada com 25s de imersão em fumaça líquida. ....	136
Tabela 5.40– Parâmetros de ajuste obtidos do Modelo de Page durante a secagem convectiva de tilápia seca e defumada com 25s de imersão em fumaça líquida. ....	139
Tabela 5.41- ANOVA para cada atributo sensorial avaliado. ....	143
Tabela 5.42- Valores médios dos atributos sensoriais para todas as amostras de filé de tilápia salgado, defumado e seco. ....	144
Tabela 5.43 – Estimativa dos efeitos para a difusividade efetiva.....	152
Tabela 5.44 - Estimativa dos efeitos para os atributos estudados. ....	153
Tabela 5.45 – Composição química do produto final defumado e seco e do <i>in natura</i> . ....	154
Tabela 5.46-Análise microbiológica de pescado salgado, defumado e seco.....	154
Tabela 5.47 – Nomenclatura utilizada nas amostras de filé de tilápia .....	155
Tabela 5.48 - Dados obtidos em ensaios de TPA. ....	155

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 4.1-Fluxograma do processo. ....	42
Figura 4.2- Tilápia Tailandesa utilizada nos experimentos .....	43
Figura 4.3-Filé de tilápia Tailandesa. ....	44
Figura 4.4- Esquema do corte do filé de tilápia tailandesa.....	47
Figura 4.5 - Esquema do secador convectivo utilizado no experimento. ....	51
Figura 5.1 - Relação entre a largura e o peso total da tilápia. ....	59
Figura 5.2- Relação entre o peso total e o peso do filé de tilápia com pele e sem pele. ....	59
Figura 5.3 - Relação entre o peso total e os resíduos de tilápia.....	60
Figura 5.4– Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de peso da desidratação osmótica de tilápia em solução de sal a: tempo=165min (a), concentração= 23% (b) e temperatura = 30°C (c). ....	68
Figura 5.5 – Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de sal a: tempo=165min (a), concentração= 23% (b) e temperatura = 30°C (c). ....	71
Figura 5.6-Gráfico de interação para o ganho de sólidos na desidratação osmótica de filés de tilápia com solução de NaCl.....	72
Figura 5.7–Superfícies de resposta e curva de nível do ganho de sólidos da desidratação osmótica de tilápia em solução de sal a: tempo=165 min (a), temperatura = 30 °C (b) e concentração= 23% (c). ....	75
Figura 5.8–Superfícies de resposta e curva de nível para GS/PA da desidratação osmótica de tilápia em solução de sal a: tempo=165min (a), concentração= 23% (b) e temperatura = 30°C (c).....	78
Figura 5.9– Superfícies de resposta e curva de nível para a atividade de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de sal a: tempo=165min (a), concentração= 23% (b) e temperatura = 30°C (c) .....	81
Figura 5.10 - Sobreposição das curvas de contorno GS/PA e atividade de água na desidratação osmótica de filés de tilápia em solução de sal.....	83
Figura 5.11-Gráfico da interação para a perda de peso para a desidratação osmótica de NaCl e sacarose.....	86
Figura 5.12– Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de peso da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de NaCl=12% (a), concentração de NaCl=12% e temperatura = 30°C (b), tempo=165min e temperatura = 30°C.....	88
Figura 5.13-Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de peso da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de sacarose=30% (a), concentração de NaCl=12% e concentração de sacarose=30% (b), concentração de sacarose=30% e temperatura = 30°C (c).....	89
Figura 5.14-Gráfico de interação para a perda de água para a desidratação osmótica de NaCl e sacarose.....	90
Figura 5.15–Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de NaCl=12% (a), concentração de NaCl=12% e temperatura = 30°C (b), tempo=165min e temperatura = 30°C (c). ....	93

Figura 5.16–Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de sacarose=30% (a), concentração de NaCl=12% e concentração de sacarose=30% (b), concentração de sacarose=30% e temperatura = 30°C (c).....	94
Figura 5.17-Gráfico da interação do ganho de sólidos para a desidratação osmótica de NaCl e sacarose.....	96
Figura 5.18 –Superfícies de resposta e curva de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de NaCl=12% (a), concentração de NaCl=12% e temperatura = 30°C (b), tempo=165min e temperatura = 30°C.....	98
Figura 5.19–Superfícies de resposta e curva de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de sacarose=30% (a), concentração de NaCl=12% e concentração de sacarose=30% (b), concentração de sacarose=30% e temperatura = 30°C (c).....	99
Figura 5.20-Gráfico de Interação da relação GS/PA para a desidratação osmótica de NaCl e sacarose.....	100
Figura 5.21 –Superfícies de resposta e curva de nível para a relação GS/PA da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de NaCl=12% (a), concentração de NaCl=12% e temperatura = 30°C (b), tempo=165min e temperatura = 30°C (c). ....	102
Figura 5.22– Superfícies de resposta e curva de nível para a relação GS/PA da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de sacarose=30% (a), concentração de NaCl=12% e concentração de sacarose=30% (b), concentração de sacarose=30% e temperatura = 30°C (c).....	103
Figura 5.23-Gráfico de interação para a atividade de água para a desidratação de filés de tilápia em solução de NaCl e sacarose. ....	104
Figura 5.24–Superfícies de resposta e curva de nível para a atividade de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de NaCl=12% (a), concentração de NaCl=12% e temperatura = 30°C (b), tempo=165min e temperatura = 30°C (c). ....	106
Figura 5.25–Superfícies de resposta e curva de nível para a atividade de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de sacarose=30% (a), concentração de NaCl=12% e concentração de sacarose=30% (b), concentração de sacarose=30% e temperatura = 30°C (c).....	107
Figura 5.26-Sobreposição das curvas de contorno GS/PA e atividade de água (Aw) na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl+sacarose (a) temperatura de 30°C e tempo 165min, (b) Concentração NaCl 12%, tempo 165min, (c) Concentração de NaCl 12% e temperatura de 30°C.....	109
Figura 5.27 - Sobreposição das curvas de contorno GS/PA e atividade de água (Aw) na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl+sacarose (a) temperatura concentração NaCl 12%, concentração de sacarose 30%, (b) Concentração de sacarose 30%, tempo 165min, (c) Concentração de sacarose 30% e temperatura de 30°C.....	110
Figura 5.28-Cinética de perda de água e ganho de sólidos na condição ótima de desidratação osmótica do filé de tilápia com solução binária e ternária. ....	111
Figura 5.29–Ajuste do modelo de AZUARA <i>et al.</i> (1992) para a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias de tilápia em solução binária e ternária. ..	112

Figura 5.30–Ajuste do modelo de PELEG (1988) para a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias de tilápia em solução binária e ternária.....	113
Figura 5.31–Ajuste do modelo de PAGE (1949) para a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias de tilápia em solução binária e ternária.....	113
Figura 5.32–Ajuste do modelo de Fick para a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias de tilápia em solução binária e ternária. ....	114
Figura 5.33– Adimensional de umidade em função do tempo, para o processo de secagem de tilápia <i>in natura</i> a várias temperaturas. ....	118
Figura 5.34– Adimensional de umidade em função do tempo, para o processo de secagem de tilápia pré-tratada osmoticamente em NaCl a várias temperaturas. ....	119
Figura 5.35– Adimensional de umidade em função do tempo, para o processo de secagem de tilápia pré-tratada osmoticamente em NaCl + sacarose a várias temperaturas.....	119
Figura 5.36– Taxa de secagem a T = 40°C em função do conteúdo de umidade do filé de tilápia <i>in natura</i> e desidratadas osmoticamente.....	121
Figura 5.37– Taxa de secagem a T = 50°C em função do conteúdo de umidade do filé de tilápia <i>in natura</i> e desidratadas osmoticamente.....	121
Figura 5.38– Taxa de secagem a T = 60°C em função do conteúdo de umidade do filé de tilápia <i>in natura</i> e desidratadas osmoticamente.....	122
Figura 5.39 – Modelo Difusional para o processo de secagem de tilápia <i>in natura</i> a várias temperaturas de processo.....	123
Figura 5.40– Modelo Difusional para o processo de secagem de tilápia desidratado osmoticamente em NaCl a várias temperaturas de processo.....	124
Figura 5.41– Modelo Difusional para o processo de secagem de tilápia desidratado osmoticamente em NaCl +sacarose a várias temperaturas de processo.....	124
Figura 5.42– Modelo empírico de Page para o processo de secagem de tilápia <i>in natura</i> a várias temperaturas de processo. ....	127
Figura 5.43– Modelo empírico de Page para o processo de secagem de tilápia desidratada osmoticamente em NaCl a várias temperaturas de processo.....	127
Figura 5.44– Modelo empírico de Page para o processo de secagem de tilápia desidratada osmoticamente em NaCl+sacarose a várias temperaturas de processo.....	128
Figura 5.45 - Perfil dos provadores utilizados no teste de aceitabilidade do bolinho do filé de tilápia desidratada osmoticamente e seco. ....	130
Figura 5.46-Histograma de frequência dos valores atribuídos a aparência (a), aroma (b), sabor (c), textura (d) e impressão global (e) das amostras de bolinho de peixe de tilápia sem tratamento ( <i>in natura</i> ) e pré-tratados em solução binária de NaCl e solução ternária de NaCl +sacarose. ....	131
Figura 5.47– Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Fick, para temperatura de 40°C, 15% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão. ....	136
Figura 5.48– Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Fick, para temperatura de 40°C, 25% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão. ....	136
Figura 5.49– Curva de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Fick, para temperatura de 50°C, 20% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão. ....	137

Figura 5.50– Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Fick, para temperatura de 60°C, 15% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.	137
Figura 5.51 - Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Fick, para temperatura de 60°C, 25% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.	138
Figura 5.52– Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Page, para temperatura de 40°C, 15% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.	139
Figura 5.53– Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Page, para temperatura de 40°C, 25% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.	139
Figura 5.54-Curva de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Page, para temperatura de 50°C, 20% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.	140
Figura 5.55-Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Page, para temperatura de 60°C, 15% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.	140
Figura 5.56-Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Page, para temperatura de 60°C, 25% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.	141
Figura 5.57- Perfil dos provadores utilizados no teste de aceitabilidade do filé de tilápia salgado, defumado e seco.	141
Figura 5.58 – Amostras de filé de tilápia defumado e seco.	142
Figura 5.59– Histograma de freqüência para o atributo de aceitação sensorial aparência..	145
Figura 5.60– Histograma de freqüência para o atributo de aceitação sensorial aroma. ....	146
Figura 5.61– Histograma de freqüência para o atributo de aceitação sensorial sabor.....	147
Figura 5.62– Histograma de freqüência para o atributo de aceitação sensorial teor de sal.	148
Figura 5.63– Histograma de freqüência para o atributo de aceitação sensorial textura. ....	149
Figura 5.64 – Histograma de freqüência para o atributo de aceitação sensorial impressão global.	150
Figura 5.65 Curvas típicas obtidas em ensaios de TPA para filé in natura (a),defumado e seco (b), desidratado NaCl e seco (c) e desidratado em NaCl+ sacarose e seco (d). ..	156
Figura 5.66–Microscopia ótica de Tilápia in natura e desidratada osmoticamente, com aumento de 10X e corante Hematoxilina-Eosina. Endomisio (e), miocomata (Mc), miofibrila (Mf), núcleo (Nu) e <i>Gaping</i> (*).	159
Figura 5.67–Microscopia ótica de Tilápia in natura e desidratada osmoticamente, com aumento de 10X e corante Xilidine Ponceau. Endomisio (e), miocomata (Mc), miofibrila (Mf), e <i>Gaping</i> (*).	160
Figura 5.68–Microscopia ótica do processamento de tilápia defumada, com aumento de 10X e corante Hematoxilina-Eosina. Endomisio (e), miocomata (Mc), miofibrila (Mf), núcleo (Nu) e <i>Gaping</i> (*).	161
Figura 5.69–Microscopia ótica do processamento de tilápia defumada, com aumento de 10X e corante Xilidine Ponceau. Endomisio (e), miocomata (Mc), miofibrila (Mf), e <i>Gaping</i> (*).	162

## NOMENCLATURA

$a_w$	Atividade de água	
C	Concentração de sal	% p/p
Cs	Concentração de sacarose	% p/p
D	Difusividade	m <sup>2</sup> /s
e	Endomísio	
E	Desvio médio relativo	%
F	Distribuição F	
FL	Concentração de fumaça líquida	% p/p
GL	Graus de liberdade	
GS	Ganho de sólidos	%
K e b	Constantes do modelo de PAGE (1949)	
K <sub>1</sub> e K <sub>2</sub>	Constantes do modelo de PELEG (1988)	
L	Espessura do material	m
M	Massa do produto	g
Mc	Miocomata	
Mf	Miofibrila	
MQ	Média quadrática	
Ms	Massa de sólidos	g
Mw	Massa de água	g
N	Número de dados experimentais	
Nu	Núcleo	
p	Significância da regressão	
PA	Perda de água	%
PP	Perda de peso	%
QM	Quantidade de matéria (água ou sólidos)	g
QM*	Quantidade de matéria (água ou sólidos) por ms inicial	%
RSM	Metodologia de superfície de resposta	
R <sup>2</sup>	Coefficiente de Determinação	
S	Constante do modelo de AZUARA e colaboradores (1992)	s <sup>-1</sup>
SQ	Soma quadrática	
T	Temperatura	°C

UR	Umidade relativa	%
VO	Valor observado	
VP	Valor predito	
x, y,z	Direções do fluxo da matéria	m
WS	Acúmulo	
Y	Conteúdo adimensional de umidade	

### **Letras gregas**

$\xi$	Variável dependente do planejamento experimental
$\beta$	Coefficiente do modelo estatístico
$\varphi$	Função do planejamento experimental
$\partial$	Relativo a variação
$\nabla$	Operador matemático

### **Subscritos**

0	Relativo à condição inicial
e	Relativo à condição de equilíbrio
ef	Relativo à efetiva
t	Relativo à condição no tempo t

### **Sobrescritos**

mod	Relativo ao modelo
exp	Relativo ao experimento

## RESUMO

Foi estudada a influência de dois tratamentos na secagem convectiva de filé de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade Tailandesa. No primeiro tratamento foi realizado o estudo do processo de desidratação osmótica utilizando solução binária (água + NaCl) e ternária (água + NaCl + sacarose). Foram verificadas as influências dos fatores: temperatura, concentração da solução osmótica e tempo de imersão, nas respostas, ganho de sólidos, perda de água, GS/PA e atividade de água através da Metodologia de Superfície de Resposta. Para cada solução, foi escolhida uma condição otimizada, que foi determinada pelos menores valores de GS/PA e atividade de água. As condições escolhidas foram: temperatura de 34°C, concentração de NaCl de 24,6% p/p e tempo de imersão de 230min 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 185min e concentração de sacarose de 37% p/p. Para as melhores condições de desidratação osmótica obtida para cada solução, foram realizadas cinéticas de desidratação osmótica. No segundo tratamento foi avaliada a influência da temperatura de secagem e da concentração da fumaça líquida no processo de defumação do filé de tilápia (*Oreochromis niloticus*). A condição escolhida foi a de 40°C de temperatura e concentração de fumaça de 15% p/p. As curvas de secagem convectiva para os dois tratamentos foram obtidas a 40°C, 50°C e 60°C de temperatura e 1,5m/s de velocidade do ar de secagem. Para o ajuste dos dados experimentais foram utilizados os modelos difusional e o de PAGE. Os valores obtidos foram da ordem de  $10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. O modelo de PAGE apresentou melhor ajuste em relação ao modelo difusional. Na análise sensorial todas as amostras obtiveram boa aceitabilidade. A amostra desidratada em NaCl e seca, apresentou maior dureza e gomosidade. Na análise de microestrutura a amostra tratada com NaCl + sacarose mostrou conservar melhor a estrutura do pescado e o processo de defumação conservou a estrutura muscular do pescado defumado e seco.

Palavras chave: Secagem, Desidratação osmótica, Pescado, Tilápia, Análise sensorial, Microestrutura.

## ABSTRACT

This work investigated two procedures for the convective drying of Thai tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillet. The first procedure carried out the osmotic dehydration process using a binary solution (water + NaCl); the second used ternary solutions (NaCl + sucrose and water). The influence of temperature, salt concentration, sugar concentration and immersion time on mass loss, water loss, solid gain, solid gain / water loss ratio (SG/WL) and water activity were evaluated, through the Response Surface Methodology (RMS). For each solution a condition to carry out the convective drying was chosen, which was determined by the smallest value of the SG/WL ratio and the water activity. The chosen conditions were: 34 °C, salt concentration of 24.6 % and immersion time of 230 min for dehydration using water + NaCl; 34 °C, 13 % of salt, 37 % of sugar concentration and immersion time of 185 min for dehydration using water + NaCl + sucrose. For the best osmotic dehydration conditions achieved for each solution, osmotic dehydration kinetic was obtained. In the second procedure, the influence of drying temperature and concentration of liquid smoke in the smoking process of Thai tilapia fillet was evaluated. Convective drying was carried out in a fixed bed dryer at 40 °C, 50 °C e 60 °C and air velocity of 1.5 m/s. Drying curves were fitted to experimental data using a diffusion model, considering no shrinkage, and also using PAGE's model. The obtained diffusion coefficients were in the order of  $10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. PAGE's model presented better fittings in relation to the diffusion model. Sensorial analysis showed great acceptability for all samples. The sample dehydrated in NaCl and dried showed the highest hardness and springness. Microstructure analyses indicated the sample treated with NaCl + sucrose better preserved the structure and that the smoking process kept the original structure of the smoking and dried fish.

Keywords: Drying, Osmotic dehydration, fish, Tilapia, Sensory analysis, Microstructure.

## **1.INTRODUÇÃO**

O pescado é uma excelente fonte de proteínas, aminoácidos, vitaminas (A, B, D, E e K) e sais minerais (fósforo, iodo, magnésio, cálcio e selênio), imprescindíveis ao bom funcionamento do metabolismo e a formação dos ossos, bem como à prevenção de doenças cardiovasculares.

De acordo com a FAO (2006), a produção mundial de pescado em 2004 foi de cerca de 155 milhões de toneladas, dos quais 659.446 foram de tilápia. A China é o maior produtor mundial de pescado, responsável por aproximadamente 45% da produção mundial, equivalente a 70 milhões de toneladas.

No Brasil, os principais peixes cultivados são a tilápia, a carpa, o tambaqui, o pacu e o pintado. Dentre essas espécies, a tilápia apresenta uma grande vantagem competitiva, devido à fácil adaptação para a criação, alta produtividade e grande aceitação dos consumidores. Segundo o IBAMA (2006), a produção total de pescados no país em 2004 foi de aproximadamente 180 mil toneladas, sendo a tilápia espécie mais produzida, com 69 mil toneladas e o Ceará o seu maior estado produtor, com 18 mil toneladas.

Entre os produtos de origem animal, o pescado é um dos mais susceptíveis ao processo de deterioração devido ao pH próximo à neutralidade, à elevada atividade de água nos tecidos, ao elevado teor de nutrientes disponíveis para os microrganismos e ao teor de lipídeos insaturados, além da rápida ação destrutiva das enzimas naturalmente presentes nos tecidos e a alta atividade metabólica da microbiota (LEITÃO, 1983). Assim, há uma necessidade de se processar o produto, de modo a aumentar a sua vida de prateleira.

Métodos combinados de várias tecnologias são atualmente muito utilizados por pesquisadores, preocupados não somente com a conservação, mas também em manter a qualidade nutricional e as características sensoriais do alimento processado.

A salga é uma das técnicas mais antigas e de fácil utilização na conservação de alimentos. O processo consiste na penetração de sal na carne do pescado, provocando absorção de água pelo soluto, a inibição do crescimento de microrganismos indesejáveis e a redução de reações químicas no produto.

A desidratação osmótica tem despontado como uma importante tecnologia no processamento de pescado. Ela tem sido usada como pré-tratamento para muitos processos,

pois melhora as propriedades nutricionais, sensoriais e funcionais do alimento sem alterar sua integridade (RASTOGI *et al.*, 2002).

A utilização de soluções binárias e ternárias utilizando NaCl, na salga ou desidratação osmótica em produtos de origem animal, tem o poder de reduzir a atividade de água devido à alta difusividade do sal nos tecidos animais (LEITÃO, 1983; MEDINA-VIVANCO, 1998, RIBEIRO, 2005).

O peixe salgado desidratado é um alimento de grande procura em diversas partes do mundo, podendo constituir um produto nobre, de alto valor agregado, como por exemplo, o bacalhau. De modo geral, estes produtos salgados desidratados não necessitam de refrigeração para a sua conservação, o que implica em uma redução de custos de transporte e armazenamento (MEDINA-VIVANCO, 2003).

A combinação de salga seca e secagem solar no Brasil é a mais antiga e uma das mais importantes técnicas de conservação de pescado. Os peixes salgados secos a partir desses métodos são normalmente encontrados no Nordeste, devido à facilidade do processamento e baixo custo do material, aliados à tradição de cada região. O principal problema é a falta de controle do processo, que pode acarretar em produtos sem qualidade microbiológica e/ou nutricional (RIBEIRO, 2005).

A defumação era originalmente um método de conservação de alimentos, mas com o desenvolvimento rápido de novas tecnologias, a importância da defumação como método de conservação tem declinado, restringindo suas funções a produzir aroma, sabor e coloração desejada pelo consumidor. A fumaça líquida é atualmente a melhor forma de produzir alimentos defumados com melhor uniformidade e maior praticidade, além de ser mais higiênico. O uso de fumaça líquida elimina também a presença de altos níveis de elementos cancerígenos nos produtos defumados (ADICON, 1998).

O pescado salgado defumado e seco é um produto alimentício de grande demanda em diversas partes do mundo, sendo considerado um produto de alto valor agregado.

É possível perceber a importância da utilização de técnicas capazes de conservar os alimentos, principalmente o pescado, que são altamente perecíveis. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os processos combinados de desidratação osmótica e secagem, e defumação e secagem de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade Tailandesa.

## 2.OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi estudar o processo de desidratação osmótica, defumação e secagem de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade Tailandesa.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a influência da temperatura, tempo de imersão e concentração da solução no processo de desidratação osmótica de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade Tailandesa, em soluções binárias de NaCl e ternárias de NaCl e sacarose, utilizando Metodologia de Superfície de Resposta (RSM).
- Determinar os parâmetros ótimos da desidratação osmótica: maior perda de água, menor incorporação de sólidos e menor atividade de água para cada agente osmótico;
- Estudar e modelar a cinética de desidratação osmótica para a melhor condição de desidratação de cada agente osmótico;
- Avaliar a influência da temperatura e da concentração da fumaça líquida no processo de defumação e secagem de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade Tailandesa;
- Estudar e modelar a cinética de secagem do músculo de peixe.
- Caracterizar os produtos finais através de análises físico-químicas, sensorial, textura e microestrutura.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

Esta espécie apresenta requisitos típicos dos peixes preferidos do consumidor, tais como carne branca de textura firme, sabor delicado e fácil filetagem, não tendo espinha em “Y” e nem odor desagradável (SOUZA, 2002). Possui também características que a colocam no pódio das principais espécies cultivadas comercialmente, como: facilidade de reprodução e obtenção de alevinos, a possibilidade de manipulação hormonal do sexo para produção de machos, aceitação de diversos alimentos; excelente crescimento em cultivo intensivo e resistência a doenças (KUBITZA e KUBITZA, 2000).

O estoque inicial de tilápia do Nilo introduzida no Brasil, foi formado por 60 indivíduos provenientes da Estação de Piscicultura de Bouaké, Costa do Marfim, África (NUGENT, 1988), em 1971 por meio do DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), em Pentecostes, Estado do Ceará (CASTAGNOLLI, 1992).

A tilápia do Nilo da linhagem Chitralada teve sua introdução oficial no Brasil no ano de 1996, com 20.800 exemplares importados do Agricultural and Aquatic Systems, do Asian Institute of Technology (AIT), com sede na Tailândia (ZIMMERMANN, 1999). Sua importação foi realizada pela Alevinopar (Associação de produtores de alevinos do Estado do Paraná) e SEAB (Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná).

As linhagens de tilápia do Nilo existentes no Brasil possuem duas origens, a tilápia de Bouaké, originária da Costa do Marfim, região oeste da África e a tilápia tailandesa ou chitralada, originária da Tailândia, onde foi importada do Japão, cujo estoque teve origem no Egito, região leste da África (MOREIRA, 1999).

Cultivada em mais de 100 países, a tilápia, originária do Rio Nilo, África, é um dos peixes mais expressivos, em relação aos aspectos econômicos, na aquicultura mundial. Depois das carpas, a tilápia é o peixe mais cultivado no mundo, sendo produzido principalmente, na China, Indonésia, Tailândia, Filipinas, Equador e Brasil. (PACHECO, 2004).

Os principais exportadores de tilápia inteira e na forma de filés congelados são os países asiáticos, como a Tailândia, Taiwan e Indonésia; e de filés frescos, países latino-

americanos como a Costa Rica, o Equador e Honduras (JORY *et al.*, 2000). O Brasil tem uma pequena participação na América Latina como exportador de Tilápia.

A Tabela 3.1 mostra a exportação Brasileira de Tilápia de 2003 a 2005, sendo que o principal importador de Tilápia são os Estados Unidos.

Tabela 3.1 – Exportação de Tilápia peixes frescos e congelados.

	Tilápias, peixes congelados, exc.filés,outros carnes,etc.		Tilápias, peixes frescos, refrig.exc.filés		Filés de tilápia, congelados	
	US\$ FOB	Peso Líquido (kg)	US\$ FOB	Peso Líquido (kg)	US\$ FOB	Peso Líquido (kg)
2003	24.578	17.016	0	0	203.990	62.885
2004	382.807	242.286	22.308	17.932	54.990	9.892
2005	482.101	284.994	9.469	4.644	41.469	25.173

Fonte: Sistema Aliceweb/MDCI/SECEX (2006) / FOB: Free on Board

A tilápia é considerada um pescado com baixo teor de gordura e alto conteúdo de proteína. A Tabela 3.2 mostra a composição centesimal do filé de tilápia.

Tabela 3.2-Composição centesimal do filé de Tilápia.

Fonte	Umidade (%)	Proteínas (%)	Gorduras (%)	Cinzas (%)
SALES (1995)	76,62	17,07	3,57	2,33
CLEMENT e LOVELL (1994)	75,30	20,30	5,70	2,30
MEDINA -VIVANCO (1998)	82,60	17,10	0,77	0,98
CODOBELLA <i>et al.</i> (2002)	78,21	16,05	2,07	0,71
MINOZZO <i>et al.</i> (2002)	78,92	12,88	3,06	2,13
VISENTAINER <i>et al.</i> (2003)	73,20	18,10	7,00	1,00
YANAR <i>et al.</i> (2006)	76,87	18,23	2,64	1,09

Observando a Tabela 3.2, verifica-se que o teor de gordura da tilápia variou muito entre os autores, de 0,77 a 7,00%, mostrando que existe uma grande variação do teor de gordura mesmo em oxeixes de mesma espécie.

A Tabela 3.3 apresenta a classificação de peixes quanto ao teor de gordura e proteína, de acordo com SANCHES (1989) e a classificação quanto ao teor de gordura, de acordo com ACKMAN (1989).

Tabela 3.3– Classificação de peixes quanto ao teor de gordura e proteína

SANCHES (1989)			
Categoria	Classe	Gordura (%)	Proteína (%)
A	Gordura baixa, proteína alta	<5	15-20
B	Gordura média, proteína alta	5-10	15-20
C	Gordura alta, proteína baixa	>15	15
D	Gordura baixa, proteína muito alta	<5	>20
E	Gordura baixa, proteína baixa	<5	<15
ACKMAN (1989)			
	Classe	Gordura (%)	
	magro	<2	
	baixo teor de gordura	2-4	
	medianamente gordo	4-8	
	altamente gordo	>8	

## 3.2 PESCADO

### 3.2.1 Situação Nacional e Internacional do Pescado

A Tabela 3.4 mostra a produção pesqueira mundial de 1999 a 2003 e de que forma este pescado foi consumido. Verifica-se que o pescado curado não teve grandes variações de consumo neste período.

Tabela 3.4–Utilização da produção pesqueira mundial ( $\times 10^3$ t)

Utilização	1999	2000	2001	2002	2003
Total mundial da produção pesqueira	127.110	130.957	130.627	132.993	132.524
<b>Para o consumo humano</b>	95.295	96.716	99.521	100.639	104.247
Fresco	49.969	50.819	52.300	52.491	54.345
Congelado	24.837	25.215	26.214	26.974	28.076
Curado	9.700	9.646	9.917	9.686	9.832
Em conserva	10.778	11.036	11.091	11.487	11.994
<b>Para outros fins</b>	31.815	34.241	31.106	32.354	28.277

Fonte: FAO (2006)

A partir dos dados da produção de pescado estimados em 2004 apresentados na Tabela 3.5, neste ano a produção foi de 1.015.914,0 toneladas (IBAMA, 2006) pode-se

fazer uma análise comparativa do desempenho do Setor Pesqueiro Nacional em relação ao ano de 2003.

Tabela 3.5-Desempenho do setor pesqueiro no Brasil.

<b>Produção ( t )</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>
Pesca extrativa marinha	484.592,5	500.116
Pesca extrativa continental	227.551,0	246.100,5
Maricultura	101.003,0	88.967,0
Aqüicultura continental	177.125,5	180.730,5
<b>Total</b>	<b>990.272,0</b>	<b>1.015.914,0</b>

Fonte: IBAMA (2006)

Observa-se um acréscimo na produção total, na ordem de 2,6%, determinado principalmente, pelos desempenhos da pesca extrativa marinha e continental que apresentaram um crescimento de 3,2% e 8,2%, respectivamente. A aqüicultura continental, também, apresentou um crescimento de 2% em 2004, entretanto a maricultura em 2004, apresentou um decréscimo de 11,9%, quando comparado ao ano de 2003.

A Tabela 3.6 apresenta a produção brasileira estimada de peixes em 2004 por região. A região brasileira que mais produz peixe é a região sul, com 34,07% do total.

Tabela 3.6-Produção estimada de peixes da aqüicultura continental em 2004.

<b>Região</b>	<b>Produção peixes (t)</b>
Norte	17.495,5
Nordeste	39.088,5
Sul	61.252,0
Sudeste	30.017,0
<b>Brasil</b>	<b>179.737,5</b>

Fonte: IBAMA (2006)

Dos peixes produzidos no Brasil em 2004, a maior produção foi de tilápia com 69.078t seguida da carpa (45.69,5t) e do tambaqui (25.272t). O maior produtor de tilápia do Brasil foi o estado do Ceará (18.000t), seguido pelo estado do Paraná (11.921,5t) (IBAMA, 2006).

A Tabela 3.7 apresenta os dados de importação de peixe no Brasil em 2001, 2003 e 2005 em 10<sup>6</sup> US\$ FOB, e em 1000t. Considerando-se os peixes salgados secos, os bacalhaus polares, lings e zarbos alcançam os maiores valores. Dos peixes frescos, congelados a merluza congelada foi o pescado mais importado em 2001, 2003 e 2005

foram as sardinhas, sardinelas, etc. congeladas, exceto filés. A Noruega é o principal fornecedor de pescado para o Brasil. Estes dados mostram que o peixe salgado e seco possui mercado no Brasil.

Tabela 3.7– Importação de pescado pelo Brasil.

	2 001		2 003		2005	
	10 <sup>6</sup> US\$ FOB*	Peso (10 <sup>3</sup> t)	10 <sup>6</sup> US\$ FOB*	Peso (10 <sup>3</sup> t)	10 <sup>6</sup> US\$ FOB*	Peso (10 <sup>3</sup> t)
<b>Peixe seco, salgado</b>						
Filés de peixes secos,salgados, em salmoura	0,07	0,01	0,03	0,006	0,04	0,004
Bacalhaus polares, lings, zarbos etc.secos	70,00	19,91	39,96	13,27	74,96	19,64
Bacalhaus ( <i>gadus</i> ) secos,mesmo salgados	43,57	5,53	35,18	5,58	62,65	7,77
<b>Peixe fresco, congelado</b>						
Filés de Merluza congelado	26,71	15,54	27,04	19,84	40,99	23,17
Salmões-do-Pacífico,etc.frescos,refrig.exc.filés,etc.	17,98	7,29	20,61	7,23	32,94	10,52
Sardinhas,sardinelas,etc.congeladas, exc.files,etc.	22,70	5,15	19,81	51,73	13,05	33,04
Filés de outros peixes,congelados	29,80	14,18	20,32	10,27	2.5,68	10,56

\* FOB: Free on Board

Fonte: Sistema Aliceweb/MDCI/SECEX (2006)

A importação do pescado defumado entre 2001 e 2006 (Tabela 3.8) revela que existe mercado no Brasil para este tipo de produto.

Tabela 3.8– Importação de pescado defumado pelo Brasil.

	Importação de pescado defumado					
	Arenques defumados,mesmo em filés		Bacalhaus ( <i>Gadus</i> ) defumados,mesmo em filés		Outros peixes defumados,mesmo em filés	
	US\$ FOB	Peso (t)	US\$ FOB	Peso (t)	US\$ FOB	Peso (t)
2001	12.189	5,20	300.952	36,94	47.392	5,23
2002	15.104	5,60	205.521	22,10	14.141	1,90
2003	20.157	5,74	183.175	19,93	28.831	2,99
2004	0	0	157.993	17,64	44.784	7,74
2005	0	0	229.489	18,23	11.330	1,46
2006	0	0	241.211	20,26	7,50	0,880

Fonte: Sistema Aliceweb/MDCI/SECEX (2006)

### **3.2.2 Aqüicultura**

Caro e sem uma produção em larga escala, o pescado ainda está distante da mesa dos brasileiros. Enquanto que o consumo per capita da carne bovina ultrapassa os 35kg/ano, o do peixe é, em média, 7,5kg/ano. A Organização Mundial da Saúde (OMS), sugere um consumo de 20kg/ano (BELCHIOR, 2003). O consumo de pescado é bem superior na região amazônica (55kg/habitante/ano) e nas regiões litorâneas habitadas (VIEGAS, 2000).

Vários são os fatores responsáveis pelo baixo consumo de pescados de água doce, entre eles podemos citar (VIEGAS, 2000):

- Baixa aceitação devido ao gosto, cheiro e sabor;
- Má qualidade do pescado fresco e falta de padronização dos produtos;
- Irregularidade de abastecimento;
- Dificuldade de distribuição e preparo;
- Hábito alimentar (preferência por carne bovina);

Agregar valor aos produtos oriundos da aqüicultura através do beneficiamento e processamento é uma prática recente no Brasil. Tal prática começou com a filetagem de tilápias no Paraná na década de 90. Nos dias atuais, dezenas de empresas têm no pescado de água doce sua atividade principal, basicamente com produtos refrigerados, congelados e defumados. Alguns fatores dificultam a industrialização do pescado de água doce no Brasil, sendo um deles o crescimento da pesca esportiva. Os pesque-pagues se apresentam como uma boa fonte de renda para os piscicultores. Neste caso o valor do peixe pode chegar a 50% a mais em relação à indústria de processamento. Desta forma, a venda de pescado não é uma boa alternativa para o produtor, mas poderá ser no momento em que o mercado de pesque-pague encontrar seu ponto de equilíbrio (VIEGAS, 2000).

### **3.2.3 Microbiologia do Pescado**

Enquanto o peixe está vivo, sua pele atua como uma barreira mecânica à penetração de bactérias, razão pela qual seu músculo, quando recentemente capturado, é considerado estéril. Logo após a morte, o peixe perde suas defesas tornando-se vulnerável ao ataque microbiano. O tipo de deterioração observado pode ser, em grande parte, atribuído à

alteração dos tecidos dos peixes, causadas pelo ataque de tipos específicos de bactérias e produtos gerados por elas. A extensão da deterioração é determinada pela carga microbiana inicial, pela temperatura do músculo do peixe, pelo tempo decorrido depois de sua morte e pelas práticas sanitárias adotadas (LEITÃO, 1977).

A decomposição do pescado é causada por bactérias. Uma das maneiras de retardar essa decomposição é diminuir a temperatura até um nível em que as bactérias não cresçam ou o façam muito lentamente. A entrada de microrganismos na carne de pescado e a decomposição gradual das substâncias nitrogenadas começam quase que simultaneamente à autólise. Se o pescado é mantido sob gelo, ocorre inibição da atividade bacteriana e o processo de autólise é mais intenso que a decomposição bacteriana. Quando a temperatura é maior, a decomposição bacteriana predomina (BEIRÃO *et al.* 2000).

Os microrganismos se encontram no intestino, guelras e sobre a pele dos peixes. WARD (1994) afirma que os baixos índices de contaminantes encontrados nas guelras e na pele são comumente associados a águas limpas e frias, e os índices mais elevados às águas tropicais e áreas poluídas. No intestino de peixes alimentados, o índice de microrganismos contaminantes é alto.

O habitat da *Salmonella* é o trato intestinal, e a sua presença indica provável contaminação fecal de fontes humanas ou animais. Peixes capturados em águas não poluídas estão isentos de *Salmonella* pelo fato desta não fazer parte da microbiota natural do pescado, sendo que sua presença neste alimento origina-se normalmente do manuseio ou contato com superfícies higienizadas inadequadamente. A presença de *Salmonella* é razão suficiente para que o mesmo seja condenado (LEITÃO, 1977). No Brasil, sua ocorrência foi observada em todos os tipos de alimentos, principalmente os de origem animal (BONILHA e FALCÃO, 1994; FUZIHARA e FRANCO, 1993).

O gênero *Staphylococcus* é o agente responsável por aproximadamente 45% das toxinfecções do mundo. O *Staphylococcus aureus* é um dos agentes patogênicos mais comuns, responsáveis por surtos de origem alimentar, sendo normalmente transmitido aos alimentos por manipuladores (CUNHA NETO, SILVA e STAMFORD, 2002). No Brasil pesquisas realizadas em diferentes regiões do país, mostraram a ocorrência de *S. aureus* em pescado (DAMS, BEIRÃO e TEIXEIRA 1996; HYLUY *et al.* 1996). Tilápias (*Oreochromis niloticus*) recém capturadas foram analisadas quanto à presença de *S. aureus*

por VIEIRA *et al.* (2000) e todas as amostras apresentaram valores que variaram de <10 a  $10,6 \cdot 10^2$  UFC/g.

A presença do *Clostridium botulinum* nos alimentos tem muita importância sanitária, devido à alta periculosidade da toxina produzida por estes microorganismos, provavelmente a mais potente de todas as toxinas produzidas pelas bactérias. A atividade de água ( $a_w$ ) mínima para o crescimento do *Clostridium botulinum* tipos A, B, e E seria 0,95, 0,94 e 0,97 respectivamente, o que corresponde a concentrações salinas que variam entre 6,5% e 11% (TROLLER, 1989).

O indicador microbiológico de contaminação fecal mais empregado é o grupo coliforme. Os coliformes são bactérias Gram-negativas, não esporuladas, na forma de bastonetes, e que fermentam a lactose com formação de gás a 35°C. *Escherichia coli* é o indicador clássico da possível presença de patógenos entéricos na água, nos moluscos, em produtos lácteos e outros alimentos. *Escherichia coli* é um microorganismo cujo habitat natural é o trato entérico do homem e do animal. Por isso, a sua presença em um alimento, sugere uma falta geral de higiene no manuseio do mesmo e um armazenamento inadequado (OGAWA e MAIA, 1999).

### 3.2.4 Salga

A salga é uma das técnicas mais antigas e fáceis de conservar o peixe. Apenas a adição de quantidade adequada de sal no peixe garante a obtenção de um produto de boa qualidade. É uma técnica que quase não sofreu modificação no decorrer dos séculos (LESSI, 1995).

O efeito mais importante do sal é a remoção da água dos tecidos do peixe, retardando as atividades microbianas e enzimáticas. Algumas bactérias deteriorantes não podem viver em condições de alta salinidade. Concentrações salinas entre 6-10%, nos tecidos do peixe, poderá impedir a atividade bacteriana. No entanto existe um grupo de microorganismos que deterioram o peixe salgado; são as bactérias halófilas (UNIFEM, 1989).

O sal a ser usado não deve apresentar alto conteúdo de sais de magnésio e de cálcio, para evitar o sabor amargo. O próprio sal pode transportar bactérias halófilas e estas podem contaminar o peixe processado com esse sal (UNIFEM,1989).

O processo de salga, por mais empírico que pareça, é complexo devido a vários fatores físico-químicos, bioquímicos e microbiológicos, que devem ser levados em consideração para obter o processo desejado. Pode-se obter produtos curados que chegam a durar semanas, meses ou anos, e para isso é necessário levar em consideração vários fatores como: tipo e qualidade do pescado, manuseio, temperatura de conservação, embalagem, dentre outros (PINHEIRO, 1995).

Existem basicamente três métodos de salga de pescado, a salga a seco, a salga úmida e a salga mista (PIGOTT e TUCKER, 1990):

- **Salga a seco**

Caracteriza-se pelo uso de sal cristalizado, que se aplica diretamente sobre a superfície do pescado, em quantidade suficiente para que as peças fiquem cobertas pelo sal.

BOERI, MOSHIAR e LUPIN (1982), encontraram uma maior incidência na rancidez oxidativa por este método, em comparação com a salga úmida, quando trabalharam com merluza. Provavelmente isto se deva ao fato de, em termos gerais, os halogênios catalisarem este tipo de reações, sobretudo considerando que neste caso o produto está mais exposto ao oxigênio do que no método úmido. O método a seco é usado normalmente na salga de arenques em barris e bacalhau.

- **Salga úmida**

Neste processo coloca-se o pescado em uma solução de salmoura preparada previamente. Usa-se fundamentalmente em produtos que necessitam de uma salga bem baixa ou ligeira. Uma desvantagem deste método é a diminuição da concentração original da salmoura, como consequência da difusão de água do produto, diluindo a salmoura. O propósito deste tipo de salga, por imersão, para salgar o peixe é manter o produto fora do contato com o ar atmosférico, devido às limitações da quantidade de rancificação que poderia desenvolver. Este é um método seria o mais indicado para a salga de peixes gordurosos (REGENSTEIN e REGENSTEIN, 1991).

▪ **Sistema misto**

Este método consiste em usar primeiro uma técnica de salga a seco e posteriormente introduzir o produto em salmoura. Desta maneira, o sal fica aderido à superfície do pescado e previne a diluição da salmoura; dissolve-se na água proveniente do pescado, formando-se uma quantidade adicional de salmoura, sem provocar a diluição.

O processo de salga também pode ocorrer a diferentes temperaturas:

**1) Salga a temperatura ambiente**

Com este sistema não se efetua um resfriamento artificial do pescado. Aplica-se fundamentalmente durante os meses frios do ano.

**2) Salga com resfriamento**

Neste caso o pescado é salgado depois de ser submetido a um resfriamento, em temperaturas entre 0° C e 5°C. Este resfriamento aplica-se para deter os processos de autólise e decomposição bacteriana no tecido muscular do pescado. Desta maneira, mantém-se uma boa qualidade da matéria-prima durante a preservação com sal. Este processo é usado especialmente em regiões com temperaturas altas, o que normalmente implica também altas temperaturas de água nos lugares de captura (VIVANCO-PEZANTES, 2006).

**3) Salga a frio**

Neste método o pescado é congelado previamente, com a finalidade de prevenir a contaminação na camada interior do músculo. Desta forma, pode-se processar lentamente pescados gordurosos de grande tamanho. O pescado congelado é embalado em caixas e a salga realiza-se pelo método a seco, ou uma mistura dos métodos anteriormente descritos. Este método atua mais rapidamente do que a salga simples, já que o sal penetra gradualmente no tecido muscular, em função do grau de descongelamento do músculo. Este método este método tem sido utilizado na salga de arenques de grande tamanho, de 1,5kg de peso médio e com 20% de gordura (VIVANCO-PEZANTES, 2006).

### 3.2.4.1 Efeito da salga no pescado

Diversos autores (FENNEMA, 1990; OFFER e TRINICK, 1983, SIGURGISLADOTTIR *et al.*, 2000 e THORARINSDOTTIR *et al.*, 2002, 2004) observaram que em baixas concentrações de sal, o músculo incha. Um mínimo intumescimento é observado a 0,1M e um máximo intumescimento e máxima capacidade de retenção de água ocorre a 1M ( $\cong$ 5,8% de sal). Portanto, em altas concentrações de sal, acima de 9-10%, as proteínas devem ter uma forte ligação proteína-proteína, resultando em encolhimento do músculo e desidratação (SIGURGILADITTIR *et al.*, 2000).

GALLART-JORNET *et al.* (2007) estudaram a influência da concentração da salga em salmão do atlântico. Foram verificadas concentrações de 4,10,15,18 e 25% p/p de NaCl a 4°C por 14 dias e verificaram que os filés aumentavam de peso com a diminuição da concentração de sal, isto é, ocorria o intumescimento do músculo, e que só houve diminuição de peso na concentração de 25% p/p.

### 3.3 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A desidratação osmótica consiste na imersão do alimento, inteiro ou em pedaços, em soluções aquosas (sais/e ou açúcar) de alta pressão osmótica provocando a remoção parcial da água presente no alimento (TORREGGIANI, 1993). Alimentos de origem animal, como peixes, freqüentemente são processados em soluções aquosas, tendo o sal como principal agente desidratante.

Durante o processo de desidratação por osmose observam-se dois tipos básicos de transferência de massa, que ocorrem simultaneamente (RAOULT-WACK *et al.*, 1994): uma saída de água do produto para a solução hipertônica e a migração de solutos da solução para o alimento. Através do último fluxo mencionado, é possível se introduzir uma quantidade desejada de princípio ativo, agente conservante, qualquer outro soluto de interesse nutricional ou um que seja capaz de conferir ao produto uma melhor qualidade sensorial. Há um terceiro fluxo envolvido no processo que consiste na perda de alguns sólidos naturais do produto, tais como açúcares, ácidos orgânicos, sais minerais e

vitaminas. Embora seja insignificante em relação aos outros dois fluxos principais, exerce uma importante influência com relação à composição final do produto.

POLIGNÉ e COLLIGNAN (2000) estudaram a desidratação osmótica com filés de anchoveta, submetendo-os, simultaneamente a salga e imersão em ácido acético, glucônico e uma mistura de ácido acético e glucônico. O processo foi otimizado para obter as mesmas características em termos de conteúdo de sal e pH. Também avaliaram a influência do tipo de ácido sobre a qualidade microbiológica e físico-química do produto, depois de condimentado e ao longo da estocagem.

### **3.3.1 Agentes Desidratantes**

As alterações nos valores nutritivos e nas propriedades sensoriais do produto final, além do custo do processo, são os indicadores básicos para a avaliação do uso de cada solução osmótica (LENART, 1996). A solução osmótica deve apresentar uma baixa atividade de água e os solutos devem ser inofensivos à qualidade do produto, além de conferirem um sabor agradável ao mesmo (UDDIN, AINSWORTH e IBANOGLU, 2004).

Soluções binárias de NaCl são comumente usadas na desidratação osmótica ou salga de peixes. CORZO e BRACHO (2004) trabalharam com desidratação osmótica de sardinhas em placa, MEDINA-VIVANCO (1998), com desidratação osmótica de tilápias, RIBEIRO (2005) com desidratação osmótica de Mapará e VIVANCO-PEZANTES (2006) com desidratação osmótica de Bonito.

O sal não possui nenhuma ação específica antimicrobiana. Seus efeitos sobre os microrganismos estão em função da concentração. O sal em concentrações suficientemente elevadas, atrai osmoticamente a água, fazendo com que esta não possa ser aproveitada pelos microrganismos. Esta falta de água provoca a redução ou interrupção total dos processos vitais. Em concentrações suficientemente elevadas de sal, os íons do mesmo penetram no líquido intracelular, alterando o metabolismo celular pelo que se pode supor, e que também prejudica as células bacterianas por este efeito. A sensibilidade dos microrganismos ao sal é muito variada (PRANDL *et al.*, 1994).

Com exceção dos países nórdicos, nos quais os filés de arenque são tradicionalmente curados para obter um peixe salgado adocicado (MAGNULSON e

MÖLLER, 1985; GUDMUNSDOTTIR e STEVENSON, 1997), muito poucos estudos têm sido realizados utilizando salga e secagem de produtos cárneos com soluções aquosas contendo sal e açúcar (COLLIGNAN *et al.*, 2001). Entre eles podemos citar: COLLIGNAN e RAOULT-WACK (1994) na salga de bacalhau, MEDINA-VIVANCO (2003) na desidratação de tilápia e RIBEIRO (2005) na desidratação osmótica de Mapará usando solução de NaCl + sacarose e solução de NaCl + xarope de milho.

A incorporação de sal é especialmente limitada pela presença do açúcar. O efeito do açúcar associado ao sal, impedindo uma maior penetração do último, tem sido demonstrado em pesquisas com frutas, vegetais, carnes e peixes (BOLIN, HUXSOLL e JACKSON (1983), LENART e FLINK (1984); BOHUON *et al.* (1998) e COLLIGNAN e RAOULT-WACK (1994)). Este fenômeno ocorre devido à formação de uma cobertura concentrada de açúcar no alimento. Esta cobertura reduz substancialmente o coeficiente de difusão do sal para o interior do material (BOHUON *et al.*, 1998).

O tipo de açúcar utilizado na solução afeta a cinética do processo. O uso de solutos de alto peso molecular favorece a perda de água e a diminuição do ganho de sólidos, promovendo uma maior perda de peso do material. Açúcares de baixo peso molecular (glicose e frutose) favorecem a incorporação de sólidos, devido à alta velocidade de penetração das moléculas (CONTRERAS e SMYRL, 1981)

O uso de misturas de solutos pode apresentar algumas vantagens. Segundo BOHUON *et al.* (1998), a desidratação osmótica em soluções ternárias de sacarose/sal/água resulta em níveis mais altos de perda de água, com uma pequena incorporação de sólidos.

BARONI e HUBINGER (2000), desidratando osmoticamente tomates em soluções binárias e ternárias de sal e açúcar (utilizando concentrações de 5, 10 e 15% p/p de sal e 40, 50 e 60%p/p de açúcar), concluíram que as últimas foram mais eficientes no processo de desidratação osmótica do que as primeiras. Verificaram que as soluções de 60°Brix/10% p/pNaCl, 60°Brix/5%p/pNaCl, 50°Brix/5%p/pNaCl e 60°Brix/15%p/pNaCl foram as que apresentaram maior índice (perda de água/ganho de sólidos), condição geralmente desejada na desidratação osmótica, principalmente quando se trata de um tratamento preliminar à secagem.

TELIS *et al.* (2004), desidratando tomate em soluções ternárias de sacarose/NaCl/água, verificaram que concentrações mais altas de sacarose levaram a

menores difusividades do sal, enquanto que concentrações mais altas de sal causaram uma redução da difusividade da sacarose.

### 3.3.2 Temperatura

A temperatura é um fator de grande importância no processo de desidratação osmótica. A velocidade de transferência de massa aumenta com a temperatura, porém acima de um certo valor limite, pode induzir à destruição celular. (YANG e LE MAGUER, 1992). Por esta razão, o efeito deste fator na cinética do processo de desidratação osmótica é um dos aspectos mais estudados (BETORET *et al.*, 2004).

De acordo com VIAL *et al.* (1991), que desidrataram osmoticamente fatias de kiwi, quando se eleva a temperatura, há uma aceleração da perda de água, enquanto que a incorporação de sólidos não sofre grandes alterações. Além disso, a temperaturas muito altas, ocorrem alterações indesejáveis na cor do produto e há uma perda significativa de ácido ascórbico.

BARRERA *et al.* (2004), investigaram a desidratação osmótica de pedaços de abacaxi em soluções de sacarose e glicose a 50%, nas temperaturas de 30, 40 e 50°C, com ou sem aplicação de pulso de vácuo, observaram que a perda de água e o ganho de sólidos aumentaram com o aumento da temperatura e associaram este fenômeno à redução da viscosidade da solução e ao aumento da permeabilidade da membrana celular.

Altas temperaturas ativam os mecanismos de autólise, que deterioram o alimento de origem animal (MEDINA-VIVANCO, 2003). PONTING *et al.* (1996) relatam que, para produtos de origem vegetal, o escurecimento não enzimático, o amolecimento da parede vegetal e a deterioração de sabor se inicia a partir de 50°C, limitam o processo.

### 3.3.3 Agitação

A taxa de desidratação aumenta à medida que o nível de agitação aumenta (RASTOGI *et al.*, 2002). Porém, deve-se fazer um controle para que não haja danos ao produto, além de se levar em consideração os custos relacionados com equipamentos, energia, entre outros.

ERTEKIN e CAKALUZ (1996) verificaram que as taxas de perda de água e ganho de sólidos na desidratação osmótica de ervilhas, em solução de 40% de sacarose e 20% de citrato (proporção amostra/solução de 1:4), aumentaram com a agitação (200 rpm), observando, ainda, que a difusividade aparente para o sistema agitado é quatro vezes maior que o sistema não agitado e que o tempo para atingir o equilíbrio decresceu significativamente.

MOREIRA e SERENO (2003), estudaram a desidratação osmótica de cilindros de maçã sem agitação e com circulação da solução osmótica, verificaram que as últimas levaram a um aumento na taxa de perda de água, em relação às primeiras. O ganho de sólidos, no entanto, permaneceu praticamente o mesmo.

TONON, BARONI e HUBINGER (2007) estudaram a influência da temperatura, da composição da solução e do nível de agitação na cinética de desidratação osmótica de metades de tomate e verificaram que a agitação apresentou influência significativa sobre o coeficiente global de transferência de massa da água, mas não sobre o do sal e da sacarose. De acordo com os autores, isso indica que no caso da água, a transferência de massa não é governada apenas por um mecanismo interno de difusão, ao contrário do que parece acontecer com os solutos.

### 3.3.4 Cinética de Desidratação Osmótica

De acordo com estudos que investigam o efeito da temperatura e concentração de solutos na desidratação osmótica, o transporte de água e soluto pode ser acompanhado pela determinação do grau de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) (LERENCI *et al.*, 1985) os quais podem ser calculados de acordo com as seguintes equações:

$$PA = 100 \frac{(Mw_0 - M_t)}{M_0} \quad (3.1)$$

$$GS = 100 \frac{(Ms_t - Ms_0)}{M_0} \quad (3.2)$$

sendo que:

PA = perda de água em relação à massa inicial (%);

Mw<sub>0</sub> = massa de água inicial do produto (g);

M<sub>t</sub> = massa de água do produto a um tempo t (g);

M<sub>0</sub> = massa inicial de produto (g);

GS = ganho de sólidos em relação à massa inicial de produto (%);

Ms<sub>0</sub> = massa seca inicial (g);

Ms<sub>t</sub> = massa seca em um tempo t (g).

Para descrever a cinética de desidratação osmótica, diversos autores (PARK *et al*, 2002; TELIS *et al.*, 2004; ANTONIO, 2006) utilizaram a segunda lei de Fick, na qual o fluxo de massa é proporcional ao gradiente da concentração dentro do sólido.

Considerando uma placa plana infinita com espessura 2L, possuindo uma distribuição inicial uniforme de água ou sólidos (QM), submetida a uma desidratação osmótica sob condições constantes. Este fenômeno pode ser representado pela equação de difusão unidirecional de Fick (CRANK, 1975), conforme descrito a seguir:

$$\frac{\partial QM(t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{ef} \frac{\partial QM(t)}{\partial z} \right) \quad (3.3)$$

Utilizando a seguinte condição inicial e condições de contorno, tem-se:

- Distribuição inicial de umidade uniforme:  $QM(z,0) = QM_0$  ;
- Simetria de concentração:  $\left. \frac{\partial QM(t)}{\partial z} \right|_{z=0} = 0$  ;
- Condição de equilíbrio na superfície:  $QM(L,t) = QM_e$  .

Aplicando a média do centro do material à superfície,

$$\overline{QM(t)} = \frac{1}{L} \int_0^L QM(z, t) dz \quad (3.4)$$

A solução analítica deste problema é dada pela seguinte equação:

$$\frac{\overline{QM(t)} - QM_e}{QM_0 - QM_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left[-(2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right] \quad (3.5)$$

Em alguns casos não é possível atingir o equilíbrio do processo osmótico devido à fragilidade da estrutura celular do material em função do tempo de exposição ao processo.

Um modelo empírico bastante utilizado para prever a desidratação de materiais biológicos é o modelo de PELEG (PELEG, 1988). Este modelo relaciona a quantidade de matéria que flui ao longo do tempo, no processo osmótico, com a quantidade inicial de matéria através de dois parâmetros de processo (Equação 3.6).

$$QM(t) = QM_0 \pm \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (3.6)$$

O sinal  $\pm$  está relacionado ao sentido dos fluxos envolvidos no processo osmótico. Para a perda de água, convencionou-se o sinal -, enquanto que, para o ganho de sólidos, o sinal +.

De acordo com PARK *et al.* (2002), é possível determinar a quantidade de matéria que flui através do produto na condição de equilíbrio através da seguinte análise:

$$QM_e - QM_0 = \lim_{t \rightarrow \infty} \left( \frac{t}{a + b t} \right) = \frac{1}{b} \quad (3.7)$$

Desta forma, é possível prever o valor da perda de água ou sólidos na condição de equilíbrio sem, de fato, ser necessário conduzir o processo até esta condição.

CORZO e BRACHO (2006b) aplicaram a equação de Peleg para estudar a transferência de massa durante a desidratação osmótica de sardinha em placa a diferentes concentrações (0,15-0,27gNaCl/g) e temperatura de (32-38°C) e encontraram  $R^2$  superior a 0,92, indicando alta aceitabilidade deste modelo para prever a perda de água e o ganho de sólidos em sardinha.

AZUARA *et al.* (1992) apresentaram uma equação com dois parâmetros a partir de um balanço de massa a fim de prever a cinética de desidratação osmótica para uma placa infinita:

$$Def = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{S_1 \cdot L}{1 + S_1} \right) \cdot \left( \frac{PA_{\infty}^{mod}}{PA_{\infty}^{exp}} \right) \right]^2 \quad (3.8)$$

$$Def = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{S_2 \cdot L}{1 + S_2} \right) \cdot \left( \frac{GS_{\infty}^{mod}}{GS_{\infty}^{exp}} \right) \right]^2 \quad (3.9)$$

Onde:

Def= difusividade efetiva no tempo t;

$PA_{\infty}^{mod}$  = quantidade de água deixando o sólido no equilíbrio, predito pelo modelo;

$PA_{\infty}^{exp}$  = quantidade de água deixando o sólido no equilíbrio, obtido experimentalmente;

$GS_{\infty}^{mod}$  = ganho de sólidos no equilíbrio predito pelo modelo;

$GS_{\infty}^{exp}$  = ganho de sólidos no equilíbrio, obtido experimentalmente;

$S_i$  = constante relacionada com a perda de água ( $S_1$ ) e com o ganho de sólidos ( $S_2$ ), calculada através das seguintes regressões lineares:

$$\frac{t}{PA} = \frac{1}{S_1 PA_e} + \frac{t}{PA_e} \quad (3.10)$$

$$\frac{t}{GS} = \frac{1}{S_2 GS_e} + \frac{t}{GS_e} \quad (3.11)$$

Caso  $PA_e^{\text{exp}}$  e  $GS_e^{\text{exp}}$  sejam desconhecidos, assume-se que seus valores sejam iguais a  $PA_e^{\text{mod}}$  e  $GS_e^{\text{mod}}$ , e as equações (3.8) e (3.9) podem ser usadas para se obter boas estimativas para  $D_{ef}$ , desde que os dados da cinética sejam adequadamente ajustados pelas equações (3.10) e (3.11).

A difusividade média pode ser calculada de acordo com a seguinte equação:

$$Def = \frac{\sum_{i=1}^n (\overline{Def})_i}{N} \quad (3.12)$$

EL-AOUAR (2001 e 2005), AZOUBEL (1999) e ANTONIO (2006) utilizaram o modelo de AZUARA para calcular a difusividade na desidratação osmótica de mamão, tomate cereja e batata doce, respectivamente, e verificaram que o modelo ajustou bem aos dados experimentais, apresentando valores de erro relativo médio satisfatórios.

Dentre os vários modelos utilizados, encontra-se o modelo empírico de Page que foi proposto originalmente para descrever a cinética de secagem de milho (PAGE, 1949) e tem sido utilizada por alguns pesquisadores para descrever a cinética de desidratação osmótica de outros produtos alimentícios (PARK, *et al.* (2002), EL-AOUAR (2005), RIBEIRO (2005) e ANTONIO, (2006)).

$$\frac{QM(t) - QM_e}{QM_0 - QM_e} = \exp(-K t^b) \quad (3.13)$$

CORZO e BRACHO (2006a) determinaram experimentalmente as constantes de equilíbrio para a água e para os sólidos e compararam com os modelos de Zugarramurdi e Lupin (1980), e AZUARA *et al.* (1992) para a desidratação osmótica de sardinhas em placa usando soluções de NaCl de (0,15-0,27gNaCl/g) e temperaturas de (32-38°C) e obtiveram um coeficiente de determinação acima de 0,92, indicando a aceitabilidade de ambos os modelos para determinar a constante de equilíbrio.

A desidratação osmótica é um processo que geralmente envolve uma significativa remoção de água (40-70g de água é perdida por 100g da massa inicial do produto) com uma

limitada e controlada incorporação de sólidos (5-25g de soluto ganho em 100g da massa inicial) (RAOULT- WACK, 1994).

Vários autores como LAZARIDES *et al.* (1995), RAVINDRA e CHATTOPADHYAY (2000), AZOUBEL (2002), BARBOZA JÚNIOR (2002), ANTONIO (2006), RIBEIRO (2005) utilizaram a razão ganho de sólidos/perda de água (GS/PA) como indicador para otimizar o processo de desidratação osmótica.

### 3.4 DEFUMAÇÃO

Inicialmente, o cozimento de alimentos era feito utilizando o fogo da madeira. Essa foi à base para a proteção da carne por cozimento parcial e defumação contra os problemas de desperdícios ocasionados pela putrefação do alimento. A partir de 1915 foram realizados estudos sobre a utilização de fumaça para conservação de produtos alimentícios. Nesta data, pela primeira vez, relatou-se as propriedades bacteriostáticas da fumaça da madeira quando testadas com *Proteus* e *Staphylococcus sp.* Em 1944 foi demonstrado o efeito bacteriostático da fumaça quando se avaliou a vida de prateleira de bacon Wilshire defumado e não defumado. Em 1954 demonstraram o efeito bacteriano da fumaça em peixes obtendo bons resultados sobre culturas puras de *Staphylococcus aureos*, *Bacillus subtilis* e *Proteus vulgaris* (LOHMEYER, 1999).

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. O produto estocado sob refrigeração apresentou validade de 12 dias.

#### 3.4.1 Composição da Fumaça

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 (REVISTA NACIONAL DA CARNE, 1995)

As possíveis reações que acontecem durante a combustão dos três principais componentes da madeira (celulose, hemicelulose e lignina) resultam em mais de 200 compostos. Estes podem ser divididos em quatro grupos principais: compostos ácidos, fenólicos, carbonílicos e os hidrocarbonetos (SCHINDLER, 1996).

- a) *ácidos*: Os componentes ácidos proporcionam sabor de defumado;
- b) *fenólicos*: Além do sabor defumado, conferem brilho ao produto ao reagirem com compostos carbonílicos. A quantidade e natureza dos fenóis presentes na fumaça estão diretamente relacionadas com a temperatura de pirólise da madeira. A presença de fenóis e ácidos confere à fumaça propriedades bacteriostáticas e bactericidas (YAMADA e GALVÃO, 1991). Compostos fenólicos possuem ação antioxidante, o que permite atuar na conservação do produto tratado. SÉROT e LAFFICHER (2003) identificaram os 10 compostos fenólicos mais importantes presentes no peixe defumado, como sendo, fenol, p-cresol, o-cresol, guaicol, 4-metil guaicol, 4-etil guaiacol, siringol, eugenol, 4 propil- guaicol e isoeugenol.
- c) *Carbonílicos*: Os compostos carbonílicos são responsáveis pela cor característica do produto (marrom dourado). Atuam de forma mais efetiva sobre a coloração do que no sabor dos produtos defumados (ADICON, 1998)
- d) *Hidrocarbonetos*: Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, (3-4 benzopireno) não são desejáveis por serem carcinogênicos (SCHINDLER, 1996). O 3,4 benzopireno tem sido considerado um indicador contaminante nos produtos alimentares. Sua quantidade pode variar desde várias centenas de ppb ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) a traços não quantificados. As quantidades de 3,4 benzopireno dependem, entre outros, da tecnologia da defumação (ADICON, 1998).

### **3.4.2 Técnicas de Defumação**

#### **3.4.2.1 Defumação a quente**

Na defumação a quente o produto é exposto a uma temperatura acima de 80°C, ocorrendo a desnaturação enzimática e uma breve esterilização, resultando em um grau

maior de preservação, podendo ser consumido sem cozimento prévio algum (SUBASINHE, 1993).

O produto obtido pela defumação a quente destina-se ao consumo imediato, sendo necessário somente um reaquecimento antes da ingestão. Neste processo, o pescado pode ser total ou parcialmente cozido, sendo o teor de sal baixo, de modo que não seja necessária uma operação de dessalga (BERAQUET, 1984).

SOUZA *et al.* (2004) estudaram o efeito da defumação a quente em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) inteiras evisceradas e filés, nas características sensoriais (aparência, aroma, sabor, textura, teor de sal e aceitação global). Antes da defumação a quente, que foi realizada de 50 a 90°C por cerca de 5 horas para o peixe inteiro e 4 horas para o filé, os peixes foram salgados a uma concentração de 30% por 45 minutos, lavados, drenados por 60 minutos e pré-secados a 40°C por 50 minutos. O filé defumado teve maior aceitação geral, principalmente quanto à aparência, e o peixe inteiro defumado teve maior aceitação quanto ao sabor e teor de sal quando comparado aos atributos cor, textura, aparência e aroma.

SANTOS *et al.* (2007) utilizando uma câmara de defumação com aquecimento a gás, avaliaram os efeitos das formas de processamento e do alecrim na defumação dos troncos e filés sem pele de tilápia do Nilo sobre o rendimento e as características sensoriais. Independente da forma de processamento aplicada, os filés defumados na presença do alecrim apresentaram menor rendimento. Foi também observado que os filés obtidos a partir dos troncos defumados proporcionaram maiores rendimentos. Analisando a forma de processamento dos filés defumados, os provadores apresentaram maior aceitação para filés defumados em relação aos filés obtidos a partir dos troncos defumados. A presença de alecrim nos filés, independente da forma de obtenção do produto final, não foi significativo para aparência, cor, aroma e aceitação geral. Mesmo sendo um peixe considerado magro pelo baixo teor de lipídios, apenas 5,57% no filé *in natura*, não sendo este indicado para defumação, os filés defumados tiveram boa aceitação pelos provadores.

#### **3.4.2.2 Defumação a frio**

A defumação a frio ocorre em temperaturas moderadas, em torno de 40°C, a fim de se evitar o cozimento do produto.

É um processo bastante comum na Europa, especialmente para defumação de arenque e salmão. Pode ser dividido em duas fases distintas. Na primeira, a temperatura do fumeiro eleva-se a 32°C, facilitando a secagem do peixe. É nesta fase que o fogo queima sem a serragem. Na segunda, a temperatura baixa até 27°C ou 24°C, em consequência do abafamento do fogo com a serragem; é a defumação propriamente dita. Nesta etapa, a circulação do ar no fumeiro tem que ser regulada, assim como a propagação da fumaça. Os produtos resultantes da defumação a frio têm longa duração, pois são expostos à fumaça por tempo prolongado, mas exigem cocção antes de serem consumidos (SANCHEZ, 1989).

O salmão é normalmente preservado por dois tratamentos: o primeiro com sal, por algumas horas, e então defumação à baixa temperatura (15 a 30°C), por cerca de 1 a 3 semanas (RAMACHANDRAN e TERUSHIGUE, 1994).

### **3.4.2.3 Defumação líquida**

A indústria de aditivos e ingredientes iniciou na década de 60 nos Estados Unidos a produção de extratos líquidos empregados no processo de defumação, conhecido como fumaça líquida. A produção desses extratos é realizada pela absorção em água dos componentes gerados na pirólise da serragem da madeira, onde a temperatura do processo, a concentração de oxigênio e a umidade da matéria prima são variáveis controladas. O produto de fundo da coluna de absorção é decantado (processo de envelhecimento), ocorrendo à formação de produtos de condensação ou polimerização, que fornecem uma cor escura ao extrato. O alcatrão e os compostos policíclicos são removidos por filtração (SCHINDLER, 1996).

Os benefícios da fumaça líquida, de acordo com SCHINDLER (1997) são:

- Minimização da poluição do ar (como medida primária) e minimização da carga de serragem lançada no esgoto;
- Processo de defumação realizado sem riscos de fogo e /ou explosão;
- Controle uniforme da cor e sabor do defumado;
- Simplificação da limpeza e manutenção das condições de defumação;
- Fim 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;

GONÇALVES e PRENTICE-HERNÁNDEZ (1998) utilizaram a fumaça líquida em filés de anchova em uma concentração de 20% a qual apresentou grande aceitação sensorial. A utilização de salmoura a 20% por 15 minutos assegurou a estabilidade microbiológica e a utilização de uma pré-secagem de 45 minutos e 49°C antes da aplicação da fumaça líquida favoreceu uma maior aplicação da mesma no músculo de anchova. Obteve-se baixa contagem microbiana e ausência de coliformes fecais e de salmonela, tanto na matéria-prima como no produto final.

RIBEIRO (2000) utilizou fumaça líquida (extrato vegetal da noqueira) para a defumação de filé de matrinhã (*Brycon cephalus*), através da técnica de imersão. Neste trabalho foram variadas as concentrações de fumaça líquida de 20, 25 e 30% p/p, temperatura de 40, 50 e 60°C e tempo de imersão de 20, 25 e 30 segundos. Através da análise sensorial, verificou-se que, a condição de melhor aceitação por parte dos consumidores foi a de maior temperatura, menor concentração da fumaça e maior tempo de imersão.

VIVANCO - PEZANTES (2006) utilizou fumaça líquida para a defumação de filé de bonito, através da técnica de aspersão. Neste trabalho, foi utilizada uma concentração de 40% p/p de fumaça líquida, com um tempo de aplicação de 30 segundos. Para a etapa de pré-secagem utilizou um tempo de 40 min a uma temperatura de 40°C. O produto defumado foi bem aceito sensorialmente

HATTULA *et al.* (2001) estudaram a aplicação de fumaça líquida na defumação de truta de arco-íris em substituição ao método comumente utilizado, a defumação a frio, e verificaram que o processo de defumação líquida diminuiu a emissão de hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH).

## 3.5 SECAGEM

### 3.5.1 Fundamentos e Mecanismos

A secagem é provavelmente o mais antigo processo de conservação de alimentos. Durante muitos séculos, ela foi o único método que possibilitava o aumento de vida de prateleira de frutas e vegetais, juntamente com a salga de produtos cárneos.

De um modo geral, o processo de secagem é uma operação na qual calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de evaporar certa quantidade de umidade deste material, obtendo-se um produto sólido seco. Trata-se de processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase.

O objetivo básico da secagem de produtos alimentícios é a remoção de umidade dos sólidos, até níveis nos quais o crescimento de microrganismos deterioradores é minimizado. O metabolismo de crescimento dos microrganismos demanda a presença de água em uma forma disponível. A água disponível pode ser expressa como atividade de água ( $a_w$ ).

O crescimento da maioria das bactérias e fungos limita-se a uma faixa de atividade de água acima de 0,90. Todavia, um grande número de microrganismos de importância na preservação dos alimentos, são capazes de crescer a níveis muito mais baixos (HUSS e VALDIMARSSON, 1994).

#### 3.5.1.1 Difusividade efetiva

A difusividade efetiva da umidade é uma importante propriedade de transporte, sendo útil na análise das operações de processamento de produtos alimentícios, como a secagem. Porém, devido à complexa composição e a estrutura física dos alimentos, não são obtidas estimativas precisas desta propriedade, sendo assim necessárias medidas experimentais (SARAVACOS *et al.* 1984).

A temperatura e a umidade são as variáveis mais relevantes que afetam a difusividade efetiva, também deve-se destacar a constituição química e física do produto,

forma e tamanho os quais podem adequar-se ao modelo matemático que descreva o processo de difusão (BRENNAN *et al.*, 1980).

As curvas de secagem são utilizadas para estimar as difusividades efetivas. Essa propriedade varia com a umidade, porém em muitos alimentos as curvas representativas sugerem uma difusão bimodal, isto é, valores distintos para a difusividade efetiva, como por exemplo, em músculos de peixe, observado por TOBINAGA e PINTO (1992).

### **3.5.1.2 Período de taxa constante de secagem**

O período de taxa constante de secagem é caracterizado por apresentar um comportamento similar ao de uma superfície líquida livre. Nesta região, estudada por JASON (1958), HANN (1964), MOYNE e DEGIOVANNI (1985), observou-se que a taxa de evaporação de água de superfície durante o período, é expressa como função das condições do ar, da geometria (forma), da área da superfície e da direção da corrente (fluxo) de ar. Este período raramente é observado na secagem de materiais biológicos.

### **3.5.1.3 Período de taxa decrescente de secagem**

Após o período de taxa constante, a velocidade de secagem diminui continuamente ao longo de todo o ciclo de secagem restante. Este comportamento caracteriza uma nova etapa no processo de secagem, denominada período de taxa decrescente, dividida em duas fases (STRUMILLO e KUDRA, 1986):

- (1) Primeira fase: a água livre (fase líquida) presente no interior da matriz sólida é contínua (não há presença de ar) e ocupa os poros do sólido. O movimento de água do interior para a superfície ocorre por capilaridade e esse mecanismo controla a velocidade de secagem. Esta situação é denominada de estado funicular.
- (2) Segunda fase: a remoção de água da superfície de evaporação provoca a admissão de ar no interior da matriz sólida, dando origem à “bolsões” de ar, dispersos na fase líquida dentro dos poros. Esta situação é denominada de estado pendular e o escoamento capilar ocorre apenas em alguns pontos localizados.

Este período é reconhecido como o mais complexo e praticamente o único que se apresenta na secagem da maioria dos produtos de natureza biológica (NOGUEIRA, 1991). Segundo MULET (1994), três formas de modelos são comumente usados no período de taxa decrescente:

- (1) um que se baseia no transporte difusional de água;
- (2) outro baseado essencialmente no transporte capilar;
- (3) e um último baseado na difusão de vapor (causado pelo gradiente de temperatura).

Neste aspecto, cabe ressaltar que, de forma geral, os modelos de difusão líquida tem apresentado bons resultados em aplicações de secagem de cereais, frutas e grãos, provavelmente, devido ao fato destes produtos não apresentarem um período de taxa constante nas curvas características de secagem, o que permite concluir que o processo é totalmente controlado pelas condições internas do material.

LEWIS (1921) e SHERWOOD (1929) foram os primeiros a interpretar a secagem como um fenômeno de difusão interna de água líquida. O período de velocidade decrescente é controlado pelo mecanismo de difusão líquida, podendo ser descrito pela 2ª Lei de Fick:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{ef} \cdot \nabla X) \quad (3.14)$$

CRANK (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a equação de difusão, considerando diferentes condições inicial e de contornos. Em sistemas de coordenadas retangulares (x, y e z), a equação de difusão é expressa como:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial z} \right) \quad (3.15)$$

Assumindo a forma geométrica de uma placa plana infinita, onde a transferência de umidade interna durante a secagem é predominantemente unidirecional, a equação acima se reduz a:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial y} \right) \quad (3.16)$$

Quando o coeficiente de difusão  $D_{ef}$  é considerado constante, o teor de umidade inicial  $X_o$  é distribuído uniformemente no interior do produto, desprezando as resistências externas à transferência de massa. A umidade superficial da amostra permanece constante durante o processo e seu valor corresponde ao termo de umidade de equilíbrio  $X_e$  do produto, a equação fica:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} \quad (3.17)$$

E com as seguintes condições inicial e de contornos:

$$X = X_o \quad \text{em } t = 0 \quad 0 < y < L$$

$$X = X_e \quad \text{em } y = L \quad t > 0$$

$$\frac{\partial X}{\partial y} = 0 \quad \text{em } y = 0 \quad t < 0$$

A média da solução analítica da Lei de Fick para placa plana, dada por CRANK (1975), é:

$$\frac{\bar{X}_t - X_e}{X_i - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[ - (2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \quad (3.18)$$

onde:

$\bar{X}_t$  : é a umidade média no tempo (g água/g matéria seca);

$X_e$  : a umidade de equilíbrio (g água/g matéria seca);

$X_i$  : a umidade inicial da amostra (g água/g matéria seca);

$\frac{\bar{X}_t - X_e}{X_i - X_e}$  : o adimensional de umidade;

$D_{ef}$  : a difusividade efetiva ( $m^2/s$ );

$t$ : o tempo (s)

$L$ : meia espessura (m).

Para as condições em que  $L$  é pequeno e  $t$  é grande, os termos da equação (3.18) correspondentes a  $i > 1$  são desprezíveis. Sob estas condições, tem-se que:

$$\ln\left(\frac{\bar{X}_t - X_e}{X_0 - X_e}\right) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2} \quad (3.19)$$

Desta forma, a difusividade efetiva pode ser obtida através da inclinação da reta do gráfico de  $\ln[(X_t - X_e)/(X_0 - X_e)]$  versus  $t$ .

Modelos empíricos também são usados para descrever a cinética de secagem de vários produtos. LEWIS (1921) apresentou um modelo exponencial que assume que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre no material:

$$\frac{dX}{dt} = -K(X - X_e) \quad (3.20)$$

onde:  $K$  é a constante de secagem.

Essa equação é a expressão da lei de resfriamento de Newton se for levado em conta que toda a resistência ao transporte de umidade encontra-se na camada limite, desconsiderando-se os efeitos no interior do material (PINTO e TOBINAGA, 1996). A equação (3.20) é normalmente utilizada na forma integrada (eq. 3.21).

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-Kt) \quad (3.21)$$

PAGE (1949) propôs a inclusão de um expoente  $b$  no termo do tempo para ampliar a validade do modelo de Lewis (eq. 3.22)

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-Kt^b) \quad (3.22)$$

### 3.5.2 Secagem de Pescado

Nos últimos anos, poucos trabalhos referentes à secagem de pescado foram realizados. PINTO (1996) estudou a secagem de peixe sem salga prévia; RODRIGUES (1996) e RIBEIRO (2000) secaram o peixe com uma leve salga, com a finalidade de dar sabor ao produto defumado; PARK (1998) estudou o encolhimento de filés salgados de tubarão e MEDINA-VIVANCO (2003) estudou a secagem de filés de tilápia desidratadas osmoticamente.

RODRIGUES (1996) realizou um estudo experimental, seguido de um tratamento matemático, da secagem de filés de tambacu previamente salgados e defumados com extrato vegetal de noqueira líquido. O trabalho investigou o processo de secagem, baseando-se no modelo de difusão de Fick, considerando a difusividade efetiva constante e velocidade do ar de 1,5m/s. O modelo difusivo de secagem utilizado, ajustou-se aos dados experimentais com coeficiente de correlação de 0,97, mostrando se adequar bem ao caso estudado.

PARK (1998) acompanhou o processo de secagem de peças salgadas de músculo de tubarão com temperatura variando de 20 a 40°C, umidade relativa de 30 a 40% e velocidade do ar de 0,5 a 3,0m/s. Os valores de difusividades efetiva encontrados foram de  $1,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  e  $2,85 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para o modelo considerado sem encolhimento.

MEDINA-VIVANCO (2003) estudou a secagem de filé de tilápia (*Oreochromis niloticus*) previamente desidratado osmoticamente em soluções binárias de cloreto de sódio e ternárias (NaCl-água-sacarose) em dois diferentes tempos (5 e 10 horas) e observou que as taxas de secagem foram influenciadas pela presença de sacarose, mostrando um aumento exponencial com o aumento desse soluto na solução e uma diminuição no teor de NaCl no filé. O melhor ajuste do modelo aos dados experimentais foi o que considerou a difusividade aparente como função linear da umidade.

### 3.6 ATIVIDADE DE ÁGUA

A atividade de água ( $a_w$ ) é uma das propriedades mais importantes para o processamento, conservação e armazenamento de alimentos. Ela quantifica o grau de ligação com a água contida no produto e conseqüentemente sua disponibilidade para agir

como solvente e participar das transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas (LABUZA, 1977).

A atividade de água é uma função termodinâmica que é definida pela razão entre a fugacidade da água na mistura ( $f_a$ ) e a fugacidade da água pura no estado padrão ( $f_a^0$ ), 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; WALDE, 2002).

Pode ser obtida pela relação entre a pressão parcial da água em uma camada de ar em equilíbrio com o alimento e a pressão de vapor de água pura à mesma temperatura (WOLF *et al.*, 1985) definida pela expressão:

$$a_w = \frac{P_f}{P_0} \quad (3.23)$$

Todos os microrganismos têm uma atividade de água mínima de desenvolvimento. De maneira geral, as bactérias são mais exigentes do que os bolores e as leveduras, só se desenvolvendo em meios com  $a_w$  elevada. Muitas bactérias não se desenvolvem em valores de atividade de água menores que 0,91 e muitos bolores não se multiplicam em valores inferiores a 0,80. Em geral, considera-se 0,60 como o limite mínimo para o desenvolvimento de microrganismos (UBOLDI-EIROA, 1996).

A Tabela 3.9 a seguir mostra que a redução da atividade de água até um valor de 0,91 inibe a grande maioria dos patógenos com exceção do *Staphylococcus aureus* aeróbio. Se, por exemplo, é desejado um valor de atividade de água de 0,93 em um produto, tem-se um grande número de patógenos eliminados e os demais podem ser inibidos usando outros obstáculos como pH, conservadores, potencial redox, tratamento térmico brando em embalagem hermética, dentre outros.

Caso a intenção seja realmente promover um abaixamento significativo da atividade de água do produto, pode-se fazer uso dos chamados depressores de atividade de água.

A utilização dos depressores constitui o princípio básico dos alimentos que possuem a atividade de água como principal ou como um dos obstáculos para a sua preservação. A ação destes agentes baseia-se na formação de ligações químicas (fundamentalmente pontes

de hidrogênio) entre o soluto e a água presente no alimento, tornando-a menos disponível química e biologicamente para reações de deterioração (ERICKSON, 1982).

Existem três classes gerais de compostos químicos usados como depressores de atividade de água em alimentos: polióis (propileno glicol, glicerol, sorbitol); açúcares (sacarose, glicose, frutose) e os sais minerais (cloreto de sódio, cloreto de potássio e lactato de sódio). Os polióis apresentam alta afinidade pela água, são solúveis, têm baixo peso molecular, porém são mais caros que os açúcares, conferem sabor amargo aos produtos e a adição em altas concentrações acarreta aumento de viscosidade (ANTUNES e CANHOS, 1983). Os cloretos de sódio e potássio atuam fortemente no abaixamento da atividade de água.

Tabela 3.9-Valores mínimos de  $a_w$  para o desenvolvimento de alguns microrganismos patogênicos.

Patógeno	$a_w$
<i>Campylobacter jejuni</i>	0,990
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0,970
<i>Clostridium botulinum</i> tipo E	0,970
<i>Shigella</i> spp	0,960
<i>Yersinia enterocolítica</i>	0,960
<i>Clostridium botulinum</i> tipo G	0,965
<i>Clostridium botulinum</i> tipo A, B	0,945
<i>Clostridium perfringens</i>	0,950
<i>Vibrio parahemolyticus</i>	0,940
<i>Salmonella</i> spp	0,940
<i>Escherichia coli</i>	0,935
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,930
<i>Bacillus cereus</i>	0,930
<i>Bacillus subtilis</i>	0,910
<i>Staphylococcus aureus</i> (anaeróbio)	0,910
<i>Staphylococcus aureus</i> (aeróbio)	0,860

FONTE: CHIRIFE e FAVETTO (1992).

### 3.7 TEXTURA

Textura é um dos mais importantes parâmetros de qualidade do pescado. Muitas espécies de peixe não tem um forte aroma, e portanto, torna-se muito importante para a aceitabilidade do consumidor.

Finas membranas de tecido conectivo, conhecidas como miocomata, dividem o músculo esquelético dos peixes em segmentos chamados miotómos. Cada miotómo é composto de fibras musculares paralelas umas às outras ao longo do eixo longitudinal do peixe e apresentando uma arquitetura na forma de W. As fibras musculares são rodeadas por uma membrana chamada sarcolema, a qual contém finas fibrilas de colágeno. Os miotómos são assim conectados uns aos outros pela miocomata. Cada miotómo é constituído por inúmeras fibras musculares (OGAWA e MAIA, 1999).

A fibra muscular é uma organização celular multinucleada, contendo no interior, inúmeras miofibrilas preenchidas pelo sarcoplasma, sendo coberta externamente pelo sarcolema. No sarcoplasma encontram-se mitocôndrias, lipídeos, grânulos de glicogênio, etc. O músculo consiste de dois componentes principais: o tecido conectivo da miocomata e da matriz extracelular e as proteínas contrácteis, principalmente actomiosina. Estes dois componentes apresentam diferentes efeitos na textura como um todo. DUNAJSKI (1979), mostrou que durante o aquecimento, o colágeno se encolhe e então amolece, e o complexo de actomiosina se transforma de um gel pouco consistente, em um complexo desnaturado mais firme. Isto torna difícil relacionar os atributos de textura de peixe *in natura* com atributos do mesmo material após aquecimento.

Muitos fatores afetam a textura de peixes, como por exemplo, espécie, tamanho, idade e estado nutricional do peixe; fatores “Posmortem” como glicólise, pH e rigor mortis; fatores externos incluindo o perfil de temperatura durante a estocagem, temperatura de cozimento, e a presença de NaCl (JOHNSTON, 1999; DUNAJSKI, 1979).

Condições de processo como salga e defumação podem afetar a textura. Por causa da desidratação, estes processos aumentam a firmeza do músculo do peixe. Em *catfish*, um longo tempo de salga antes da defumação resulta em uma textura dura (TOMÉ *et al.*, 1999). A textura do músculo de peixe inteiro é difícil de avaliar devido à falta de estrutura

uniforme. Medidas têm sido realizadas em filés inteiros, diferentes filés cortados, e *minced fish*.

A razão para a variação de resultados obtidos com medidas instrumentais, é em parte atribuída à estrutura heterogênea do músculo do peixe. Filés de salmão tornam-se duros da cabeça à cauda (SIGURGISLADOTTIR *et al.* 1999). Se a localização da medida não está claramente definida, e não é representativa da amostra inteira, a variação dentro do filé pode ser maior que entre os filés.

### 3.7.1 Perfil de Textura (TPA)

A idéia de definir um perfil de textura para alimentos foi inicialmente proposta por FRIEDMAN *et al.* (1963), e foi conduzida utilizando-se um equipamento conhecido como *General Foods Texturometer*. A técnica foi estendida para o texturômetro Instron Universal Testing Machine, no qual uma amostra do alimento é comprimida, duas vezes, geralmente até 75-80% da sua altura inicial.

O teste de TPA é definido como imitativo, ou seja, tenta imitar com o equipamento a percepção humana e as condições sob as quais o alimento é submetido na boca durante a mastigação (ROSENTHAL, 1999).

Entretanto, é preciso que se tenha cuidado ao analisar os resultados obtidos a partir de um ensaio de perfil de textura quando estes são comparados a uma análise sensorial do alimento (ROSENTHAL, 1999). Apesar das boas correlações encontradas entre a análise sensorial e a análise instrumental neste tipo de teste, a percepção humana de textura é complexa, e ainda não existem instrumentos capazes de imitar a mastigação.

A análise da curva força-tempo gerada pelo ensaio permite a obtenção de sete parâmetros de textura (cinco medidos diretamente e dois calculados a partir destes). A definição destes parâmetros é dada pela Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Definição dos parâmetros obtidos em ensaio de TPA

Parâmetro	Definição Instrumental (BOURNE, 1978)	Definição sensorial (ROSENTHAL, 1999)	Termos populares (STEFFE, 1996)
Fraturabilidade	Força na primeira queda significativa da curva	Força sob a qual ocorre fratura do material	Frágil, quebradiço, crocante, esfarelado
Dureza	Pico de força durante o primeiro ciclo de compressão (primeira mordida)	Força requerida para comprimir o alimento entre os molares	Macio, firme, duro
Coesividade	Razão entre a área positiva na segunda compressão e a área positiva na primeira	Força das ligações internas que constituem o alimento	
Adesividade	Área negativa no primeiro ciclo de compressão, representando o trabalho necessário para separar o probe da amostra	Trabalho necessário para separar o alimento de superfície na boca, por exemplo, o palato	Pegajoso, grudento
Elasticidade	Altura que o alimento recupera durante o tempo decorrido entre o final da primeira compressão e o início da segunda	A extensão à qual um alimento comprimido retorna ao seu tamanho original quando a carga é removida	Plástico, elástico, borrachento
Gomosidade	Produto da dureza pela coesividade	Energia necessária para desintegrar um alimento semi-sólido até que este esteja pronto para ser engolido	Pastoso, gomoso
Mastigabilidade	Produto da gomosidade pela elasticidade	Energia para mastigar um alimento sólido até que esteja pronto para ser engolido	Frágil, duro, rígido

### 3.8 MICROSCOPIA

De acordo com WILKINSON, DIJKSTERHUIS e MINEKUS (2000), o estudo da microestrutura pode ser usado para ampliar o conhecimento das mudanças estruturais que ocorrem durante o processamento dos alimentos e a função dos diferentes ingredientes nessas alterações, permitindo um melhor controle da textura dos produtos. Com este propósito, a microscopia e outras técnicas de imagem estão sendo amplamente utilizadas, permitindo que a estrutura do alimento seja visualizada, oferecendo informações valiosas para um melhor entendimento da textura.

SIGURGISLADOTTIR *et al.* (2000) investigou o efeito de diferentes condições no processo de defumação na microestrutura e nas propriedades de textura de filé de salmão do Atlântico (*Salmo salar*) da Islândia, e em dois grupos de salmão do Atlântico, do norte e do oeste da Noruega. As condições foram, a salga úmida, a salga seca e duas diferentes temperaturas no processo de defumação, 20°C e 30°C. Foram utilizadas a defumação eletrostática e a defumação a frio tradicional em três tipos de peixes. Os autores verificaram que a área da seção transversal da fibra do músculo do peixe diminuiu durante a salga e o processo de defumação para os três tipos de peixe testados. Pouca diferença foi relatada

entre a área da seção transversal dos filés defumados por diferentes métodos de salga e defumação.

TAYLOR, FJAERA E SKJERVOLD (2002) estudaram as mudanças estruturais ocorridas no filé de salmão (*Salmo salar*) estocados no gelo por no máximo 14 dias, utilizando microscopia ótica, e verificaram que em um dia já houve perda da ligação dos músculos com a fibra e em 5 dias já houve perda da ligação da miofibrila com o miocomata. Estas mudanças foram associadas também a mudança de textura.

### 3.9 ANÁLISE SENSORIAL

A avaliação sensorial de alimentos é função primária do homem, através da qual ele aceita ou rejeita os alimentos de acordo com a sensação que experimenta ao analisá-los.

Existem diversas aplicações de análise sensorial, como no controle de qualidade de matérias-primas e produtos processados, testes de estocagem, análises de produtos competitivos, desenvolvimento de novos produtos, investigação de fatores que influenciam no odor e *flavor* do alimento e testes de mercado (JELLINEK, 1985).

Existem três métodos estatísticos sensoriais:

- Métodos Discriminativos ou Métodos de Diferença: utilizados para determinar se as amostras que sofreram diferentes tratamentos diferem significativamente ( $p \leq 0,05$ ) entre si. Podem ser: triangular, duo trio, comparação pareada, teste de ordenação, teste de comparação múltipla ou diferença do controle, teste de escalas de intensidade.
- Métodos descritivos: descrevem e avaliam a intensidade dos atributos sensoriais de produtos. Um exemplo é a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ).
- Métodos Afetivos: avaliam a preferência ou aceitação de um produto junto ao mercado consumidor: (Teste de preferência e Teste de aceitação).

Os testes afetivos são utilizados quando necessita conhecer o “status afetivo” dos consumidores com relação ao produto, e para isso, são utilizados escalas hedônicas (FERREIRA, 2000). MIELLGAARD *et al.* (1999) citam que os métodos afetivos avaliam a resposta do indivíduo, sua preferência ou não em relação a um produto ou a uma característica específica. Os testes afetivos medem o grau com que o consumidor gosta ou desgosta de um produto e sua preferência por um produto ao invés de outro.

### **3.10 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL**

A atividade estatística mais importante não é a análise dos dados, e sim o planejamento em que os dados devem ser obtidos. Quando isso não é feito de forma apropriada, o resultado muitas vezes é uma montanha de números, na qual estatístico algum conseguiria arrancar quaisquer conclusões. (BARROS NETO, SCARMÍNIO e BRUNS, 2003).

A essência de um bom planejamento consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que se procura. Para isso, precisa-se saber o que é que está sendo procurado. Pode-se dizer que um bom experimentador é, antes de tudo, uma pessoa que sabe o que quer. Dependendo do que ele queira, algumas técnicas são mais vantajosas que outras, enquanto determinadas técnicas são simplesmente inócuas (BARROS NETO, SCARMÍNIO e BRUNS, 2003).

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

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

Por outro lado, caso a razão  $MQ_R/MQ_r$  seja maior que o valor de F tabelado, pode-se dizer que a equação de regressão é estatisticamente significativa e que os dados experimentais podem ser bem representados pelo modelo obtido. De acordo com BOX e WETZ (1993), para que um modelo seja considerado estatisticamente significativo e

preditivo, é necessário que o valor da razão  $MQ_R/MQ_f$  seja de quatro a cinco vezes superior ao valor de F tabelado.

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

A metodologia de superfície de resposta, do inglês *Response Surface Methodology* (RSM), empregada desde a década de 50, é uma técnica baseada no emprego de planejamentos fatoriais e que até hoje tem sido largamente utilizada com bastante sucesso na modelagem de diversos processos industriais (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978).

A metodologia de superfície de resposta foi amplamente e efetivamente utilizada em investigações industriais e outros processos de melhoria e/ou desenvolvimento nutricional de produtos devido a sua utilidade prática na otimização dos mesmos (RIBEIRO, 2005, EL-AOUAR, 2005, ANTONIO, 2006). Esta metodologia pressupõe o uso de planejamentos experimentais com o objetivo de investigar e estudar sobre a forma funcional dos processos ou sistemas que envolvem uma ou mais respostas que são influenciadas por vários fatores ou variáveis independentes. Um apropriado planejamento experimental é fundamental para habilitar um investigador a explorar o processo em estudo e encontrar através da otimização o máximo e o mínimo, se eles existirem, ou determinar a região dentro do espaço total dos fatores que seja a condição operacional desejável (MYERS, 1971).

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 4.1 mostra o fluxograma dos processos realizados.

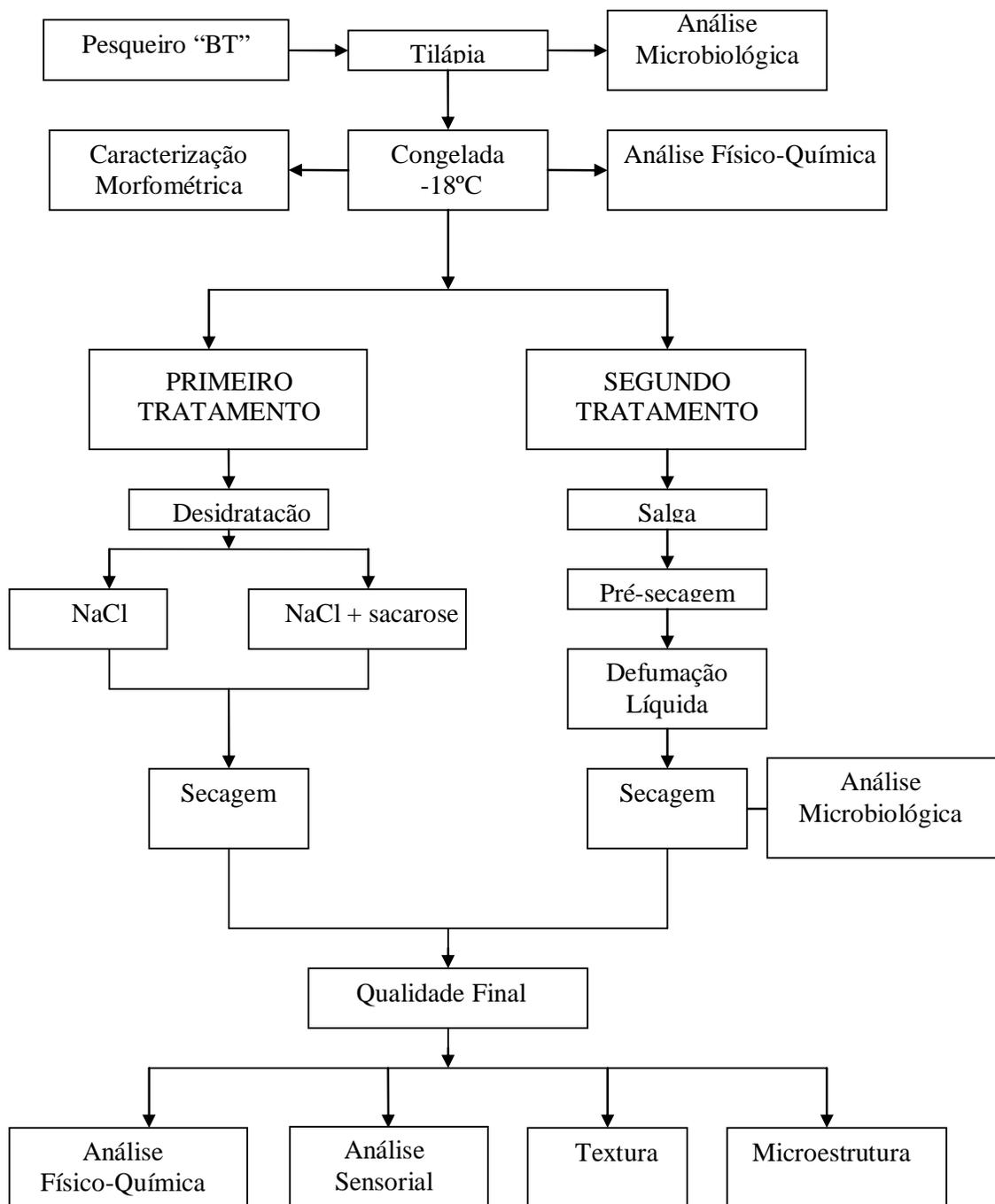


Figura 4.1-Fluxograma do processo.

#### **4.1 MATÉRIA-PRIMA**

Os peixes utilizados no experimento foram exemplares de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de variedade Tailandesa (Figura 4.2) adquiridas no pesqueiro “BT” em Cosmópolis-SP.



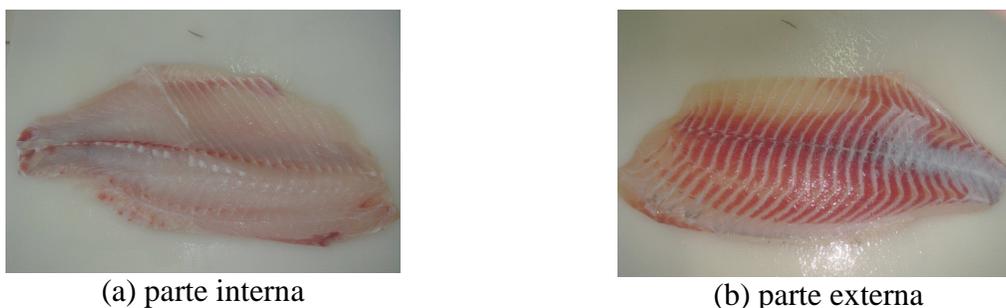
Figura 4.2- Tilápia Tailandesa utilizada nos experimentos

#### **4.2 MÉTODOS**

##### **4.2.1 Preparo da Matéria-Prima**

Os peixes eviscerados (lote de 30kg) foram trazidos do pesqueiro “BT” em isopor com gelo até o laboratório de Medidas Físicas da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP.

Após a chegada ao laboratório, foram pesados para a caracterização física e em seguida, foram lavados em água corrente para retirada do muco superficial e outras impurezas que pudessem estar aderidas a eles. Após lavagem, os peixes foram descamados, com o auxílio de uma faca, abertos ventralmente e lavados novamente com água corrente. Filetados com e sem pele e posteriormente, foi feita outra lavagem com água clorada (20ppm), acondicionando-os em filmes plásticos, e em seguida congelados a  $-18^{\circ}\text{C}$ . A Figura 4.3 mostra os filés antes de serem congelados.



(a) parte interna

(b) parte externa

Figura 4.3-Filé de tilápia Tailandesa.

#### 4.2.2 Análises Microbiológicas

Foram realizadas as análises microbiológicas relacionadas abaixo para o pescado *in natura* de acordo com a Resolução-RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001 da Agência Nacional de Saúde (ANVISA). A Tabela 4.1 apresenta as análises e os parâmetros da legislação.

Tabela 4.1- Análise microbiológica do pescado “in natura”.

Análises	Legislação
<i>Salmonella sp</i> (em 25g)	Ausente
<i>Estafilococos coagulase positiva</i> (*UFC/g)	Max.10 <sup>3</sup> /g

\*UFC/g: unidades formadoras de colônias por grama.

As análises microbiológicas foram feitas no laboratório de Higiene do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP.

### **4.2.3 Análise Físico-Química**

#### **4.2.3.1 Caracterização morfométrica**

Foi realizada com um lote de 19 peixes eviscerados, do Pesqueiro “BT”, em Cosmópolis. Foram verificados o comprimento, a largura e a espessura com o auxílio de trena e paquímetro, e o peso das amostras de peixe em balança analítica.

#### **4.2.3.2 Análise química**

As análises descritas a seguir foram feitas nos filés. Portanto, o valor final corresponde à média das três repetições.

- **Umidade**

Este método baseia-se na evaporação da água presente no alimento em estufa a vácuo a 70°C e 660mmHg, até peso constante (AOAC, 1997).

- **Cinzas**

Determinada por incineração da matéria orgânica, em forno mufla a 550°C, até peso constante, de acordo com a AOAC (1997).

- **Proteínas**

Foi utilizado o método de Kjeldahl para determinar o nitrogênio total. Este método baseia-se no conteúdo de nitrogênio da matéria orgânica, incluindo o nitrogênio protéico propriamente dito e outros compostos nitrogenados não protéicos, tais como aminas, aminoácidos, entre outros. Nesse caso, o resultado foi expresso em proteína bruta ou total, utilizando para o cálculo o fator 6,25 (AOAC ,1997).

- **Lipídeos**

Os lipídeos foram determinados pelo método de BLIGH e DYER (1959), utilizando clorofórmio e metanol como solvente.

- **Cloretos**

Foi determinado através da quantificação de íons Cl<sup>-</sup>, seguindo o método de titulação direta com AgNO<sub>3</sub>, utilizando K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> como indicador segundo Método de Mohr (AOAC, 1997);

- **Atividade de água**

Baseia-se na medida direta a 25°C da amostra acondicionada em cápsula plástica, em equilíbrio com a atmosfera interna do equipamento, através do instrumento Aqualab, modelo CX-2T-Decagon. O valor da atividade de água é registrado quando há a formação da primeira gota de orvalho, em função do equilíbrio alcançado entre a fase líquida, presente na amostra, e a fase gasosa.

- **Açúcares totais:**

De acordo com o método de Munson & Walker (AOAC, 1997), que consiste na redução do cobre presente na solução de Fehling através de açúcar invertido. O conteúdo de açúcar foi estimado pelo volume de solução de açúcar necessário para reduzir completamente a solução de Fehling de volume conhecido. A análise de açúcares totais foi realizado somente para o produto desidratado com solução de NaCl + sacarose e seco.

#### **4.2.4 Corte**

Os filés de tilápia foram cortados em placas de 5cm de comprimento e 3cm de largura com o auxílio de um cortador de aço inox. Após a obtenção das placas, as amostras foram novamente cortadas em 0,5cm de espessura (Figura 4.4b) em outro cortador desenvolvido para este fim.

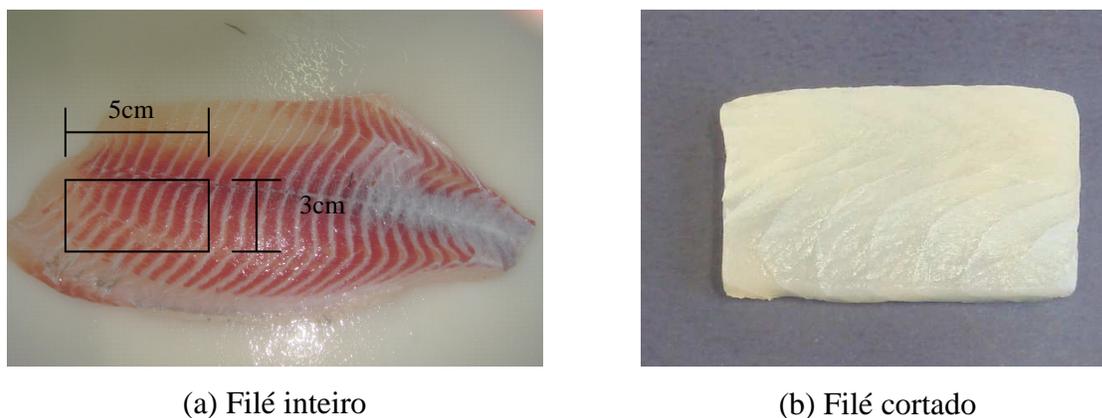


Figura 4.4- Esquema do corte do filé de tilápia Tailandesa

## **4.2.5 PRIMEIRO TRATAMENTO**

### **4.2.5.1 Processo de desidratação osmótica**

As amostras, devidamente cortadas na geometria de placa foram pesadas e colocadas em frascos de 250ml, juntamente com a solução osmótica. Foi utilizada uma proporção peixe:solução de 1:5 para garantir que a concentração da solução permanecesse constante ao longo do processo.

Estes recipientes foram colocados em uma Incubadora da marca TECNAL (modelo TE-421), com agitação (80rpm) e temperatura constante. Após tempos pré-determinados, as amostras foram retiradas da incubadora, lavadas com água destilada para retirar o excesso de solução osmótica, secas em papel absorvente e pesadas.

#### **▪ Preparação das soluções osmóticas**

Foram preparadas soluções binárias de cloreto de sódio (21-25%) e soluções ternárias de cloreto de sódio (10-14%) e sacarose (comercial) (30-40%) em água destilada.

As soluções foram deixadas em repouso até sua estabilização (solução límpida, sem partículas suspensas). A concentração das soluções foi verificada através de um refratômetro.

#### 4.2.5.1.1 Planejamento experimental

##### ▪ Solução binária

O processo de desidratação osmótica de filés de tilápia em solução de NaCl foi estudado mediante planejamento experimental fatorial completo com três variáveis independentes (temperatura, concentração de NaCl e tempo de imersão), avaliadas em dois níveis (- e +) e triplicata nos pontos centrais (0), totalizando 11 experimentos. As variáveis dependentes do planejamento foram a perda de peso (PP), a perda de água (PA) (Eq. 3.1), o ganho de sólidos (GS) (Eq. 3.2) e a atividade de água ( $a_w$ ). A Tabela 4.2 mostra a planilha de planejamento utilizada para o estudo.

Tabela 4.2– Planejamento experimental fatorial  $2^3$  com pontos centrais realizado para avaliar a desidratação osmótica de filés de tilápia em solução de NaCl.

Ensaio	NaCl (%) p/p	Tempo(min)	Temperatura (°C)
1	21(-1)	85(-1)	24(-1)
2	25(+1)	85(-1)	24(-1)
3	21(-1)	245(+1)	24(-1)
4	25(+1)	245(+1)	24(-1)
5	21(-1)	85(-1)	36(+1)
6	25(+1)	85(-1)	36(+1)
7	21(-1)	245(+1)	36(+1)
8	25(+1)	245(+1)	36(+1)
9	23 (0)	165(0)	30(0)
10	23(0)	165(0)	30(0)
11	23(0)	165(0)	30(0)

Através do presente estudo foi possível obter modelos estatísticos capazes de prever o comportamento das variáveis dependentes em função das variáveis independentes, na faixa adotada para a análise.

Assume-se existir uma função matemática  $\varphi$  para cada resposta  $\xi$  (PP, PA, GS e  $a_w$ ) em função das três variáveis independentes (temperatura, concentração de NaCl e tempo de imersão)

$$\xi = \varphi(T, C, t) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_{11} T^2 + \beta_2 C + \beta_{22} C^2 + \beta_3 t + \beta_{33} t^2 + \beta_{12} T.C + \beta_{13} T.t + \beta_{23} C.t + \beta_{123} T.C.t \quad (4.1)$$

Onde  $\beta$  corresponde ao coeficiente da equação e os sub-índices 0, 1, 2, 3, 12, 13, 23, 123 correspondem ao valor médio da função  $\phi$ , temperatura, concentração de NaCl, tempo de imersão, interação entre temperatura e concentração, interação entre temperatura e tempo de imersão e interação entre concentração de NaCl e tempo de imersão, interação entre temperatura, concentração de NaCl e tempo de imersão, respectivamente. A Equação 4.1 corresponde ao modelo codificado das variáveis dependentes avaliadas neste estudo.

▪ **Solução ternária**

O processo de desidratação osmótica de filés de tilápia em solução de NaCl e sacarose foi estudado mediante planejamento experimental fatorial completo com quatro variáveis independentes (temperatura, concentração de NaCl, concentração de sacarose e tempo de imersão), avaliadas em dois níveis (- e +) e seis repetições nos pontos centrais (0), totalizando 22 experimentos. As variáveis dependentes do planejamento foram a perda de peso (PP), a perda de água (PA), o ganho de sólidos (GS) e a atividade de água ( $a_w$ ). A Tabela 4.3 apresenta a planilha de planejamento utilizada para o estudo.

Da mesma forma que para a solução binária, para a solução ternária também foi assumido existir uma função matemática para cada resposta (PP, PA, GS, GS/PA e  $a_w$ ) em função das quatro variáveis.

$$\xi = \phi(T, C, Cs, t) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 C + \beta_3 Cs + \beta_4 t + \beta_{12} T.C + \beta_{13} T.Cs + \beta_{14} T.t + \beta_{23} C.Cs + \beta_{24} C.t + \beta_{34} Cs.t \quad (4.2)$$

Onde  $\beta$  corresponde ao coeficiente da equação e os sub-índices 0, 1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 23, 24 e 34 correspondem ao valor médio da função  $\phi$ , temperatura, concentração de NaCl, concentração de sacarose e tempo de imersão, interação entre temperatura e concentração de NaCl, interação entre temperatura e concentração de sacarose, interação entre temperatura e tempo de imersão, interação entre concentração de NaCl e concentração de sacarose e concentração de sacarose e tempo de imersão, respectivamente. A Equação 4.2 corresponde ao modelo codificado das variáveis dependentes avaliadas neste estudo.

Tabela 4.3– Planejamento experimental fatorial  $2^4$  com pontos centrais realizado para avaliar a desidratação osmótica de filés de tilápia em solução ternária de NaCl e sacarose.

Ensaio	Sacarose (% p/p)	NaCl (% p/p)	T (°C)	t (min)
1	30(-1)	10(-1)	25(-1)	98(-1)
2	40(+1)	10(-1)	25(-1)	98(-1)
3	30(-1)	14(+1)	25(-1)	98(-1)
4	40(+1)	14(+1)	25(-1)	98(-1)
5	30(-1)	10(-1)	35(+1)	98(-1)
6	40(+1)	10(-1)	35(+1)	98(-1)
7	30(-1)	14(+1)	35(+1)	98(-1)
8	40(+1)	14(+1)	35(+1)	98(-1)
9	30(-1)	10(-1)	25(-1)	233(+1)
10	40(+1)	10(-1)	25(-1)	233(+1)
11	30(-1)	14(+1)	25(-1)	233(+1)
12	40(+1)	14(+1)	25(-1)	233(+1)
13	30(-1)	10(-1)	35(+1)	233(+1)
14	40(+1)	10(-1)	35(+1)	233(+1)
15	30(-1)	14(+1)	35(+1)	233(+1)
16	40(+1)	14(+1)	35(+1)	233(+1)
17	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)
18	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)
19	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)
20	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)
21	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)
22	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)

#### 4.2.5.1.2 Otimização

O objetivo do estudo foi obter uma maximização da perda de água, juntamente com uma minimização do ganho de sólidos e da atividade de água do produto. Para tal, foi realizada uma análise conjunta entre as superfícies de resposta obtidas para a razão PA/GS e  $a_w$ , a fim de se encontrar a região que melhor atendesse aos objetivos do presente estudo, para cada agente osmótico.

#### 4.2.5.1.3 Secagem

As amostras “*in natura*” e a melhor condição de desidratação osmótica, para as duas soluções osmóticas (NaCl e NaCl + sacarose), foram submetidas ao processo de secagem até alcançar massa constante. As variáveis de processo de secagem foram, temperatura (40, 50 e 60°C), medida através de termopares, as quais foram registradas no indicador de

temperatura Testo (Modelo 635) e velocidade do ar de secagem de 1,5m/s foi medida através de anemômetro digital TSI (Modelo 8330-M). Foi utilizada apenas uma bandeja com uma amostra de filé de tilápia A Figura 4.5 mostra o esquema do secador convectivo utilizado no processo.

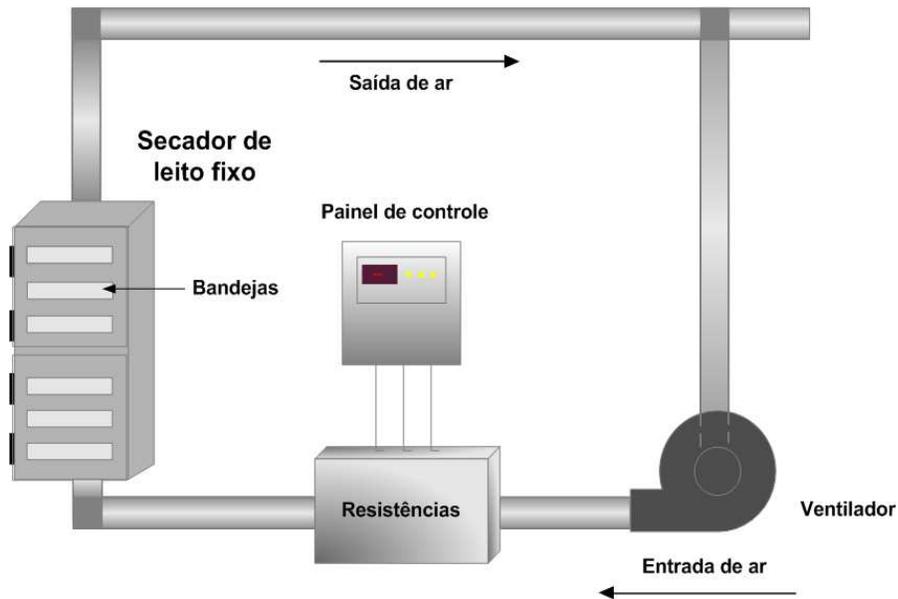


Figura 4.5 - Esquema do secador convectivo utilizado no experimento.

#### 4.2.5.1.4 Análise sensorial

Os produtos resultantes da secagem a 50°C do filé de tilápia até 40% de umidade foram avaliados sensorialmente através do Teste de Aceitabilidade. Estes pescados foram imersos em água à temperatura ambiente por 2 horas antes do processamento.

Foram elaborados bolinhos de peixe com as amostras desidratadas e secas, e também com a amostra “*in natura*”, com o mínimo de ingredientes possíveis, tendo como objetivo não mascarar o sabor do peixe. Optou-se por trabalhar com este produto, depois de verificar que o bolinho de peixe era um produto que, além de não sofrer muita interferência no sabor, tinha uma boa aceitação pelos consumidores.

Os ingredientes utilizados na formulação do bolinho de tilápia estão descritos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4- Ingredientes utilizados na formulação do bolinho de peixe de tilápia.

<b>Ingredientes</b>	<b>(%)</b>
Carne de pescado	49,7
Batata cozida amassada	49,7
Cebola desidratada	0,4
Cebolinha desidratada	0,2

\*Nas amostras “in natura” foi adicionado 4% de NaCl (p/p)

As amostras foram envolvidas em camadas de farinha de rosca, clara de ovo e novamente farinha de rosca e, posteriormente, foram embaladas em filme plástico e refrigeradas até o momento da análise.

Os bolinhos foram fritos à 180°C, em uma fritadeira marca FRITANELLA WALITTA com registrador de temperatura por 2,30 minutos (tempo e temperatura determinados a partir de testes preliminares).

A análise foi realizada por uma equipe de 30 provadores não treinados, onde foram avaliadas as características sensoriais do produto. O método de aceitabilidade consiste de uma escala hedônica não estruturada de 9cm (Apêndice A). Cada julgador tinha que avaliar, para cada amostra, os atributos aparência, aroma, sabor, textura e impressão global. De acordo com o procedimento experimental, cada provador recebeu uma amostra codificada de cada vez (apresentação monádica) juntamente com a ficha de avaliação. As amostras foram servidas em pratos brancos de plástico, à temperatura de aproximadamente 40-45°C.

#### **4.2.5.1.5 Análises físico-químicas do produto desidratado e seco**

Foram realizadas análises de: cloretos, atividade de água e açúcares totais, conforme o item 4.2.3.2.

## **4.2.6 SEGUNDO TRATAMENTO**

### **4.2.6.1 Processamentos**

- **Salga**

As amostras foram imersas em solução de salmoura a 21% de NaCl. Foram realizados alguns testes em diferentes períodos de salga, com o objetivo de obter um produto final com teor de NaCl de aproximadamente 4% (p/p), agradável sensorialmente para o pescado seco e defumado. A razão entre a massa de amostra e solução de salmoura foi mantida em 1:4 segundo RIBEIRO (2000).

- **Pré-secagem**

A pré-secagem foi realizada à temperatura de 40°C por 30 minutos. Este processo é importante para que ocorra a formação de uma camada insaturada, possibilitando maior velocidade de difusão da fumaça líquida no músculo (RIBEIRO, 2000).

- **Defumação líquida**

O processo de defumação foi realizado por imersão do filé em solução do extrato vegetal de noqueira, variando a concentração da fumaça e com tempo de imersão de 25s, de acordo com o planejamento fatorial apresentado na Tabela 4.5.

- **Secagem**

As amostras defumadas foram secas em secador de fluxo contínuo (Figura 4.5) para verificar a influência dos fatores: temperatura de secagem e concentração da fumaça líquida com tempo de imersão de 25s sobre as respostas da análise sensorial (aparência global, cor, aroma, sabor e textura) e difusividade efetiva, com velocidade do ar de 1,5m/s. Na primeira hora do experimento, as amostras foram pesadas de 15 em 15 minutos. A partir da segunda hora, as amostras foram pesadas de hora em hora até que a variação do peso fosse desprezível.

A Tabela 4.5 mostra os níveis das variáveis do planejamento fatorial  $2^2$  com três pontos centrais para a defumação e secagem, tendo como respostas, difusividade efetiva, aparência, sabor, textura, teor de sal, e impressão global, totalizando 7 experimentos.

Tabela 4.5– Planejamento experimental fatorial  $2^2$  com pontos centrais realizado para avaliar a defumação e a secagem de filés de tilápia.

Ensaio	Fumaça líquida (% p/p)	Temperatura de secagem (°C)
1	15(-1)	40(-1)
2	25(+1)	40(-1)
3	15(-1)	60(+1)
4	25(+1)	60(+1)
5	20(0)	50(0)
6	20(0)	50(0)
7	20(0)	50(0)

#### 4.2.6.2 Análise sensorial

A análise sensorial do filé defumado e seco foi realizada por uma equipe de 30 provadores não treinados, de ambos os sexos, nas quais foram avaliadas as características sensoriais do produto. O método de aceitabilidade empregado consiste de uma escala hedônica não estruturada de 9cm de acordo com a ficha (Apêndice B). Cada julgador tinha que avaliar, para cada amostra, os atributos aparência, aroma, sabor, teor de sal, textura e impressão global.

De acordo com o procedimento experimental, cada provador recebeu uma amostra de 2,5×3,0×0,5cm codificada (apresentação monádica), que foi preparada no dia anterior e embalada em filme plástico e guardada em geladeira até o momento da análise. As amostras foram aquecidas em forno de microondas por 10s e servidas em pratos brancos de plástico juntamente com a ficha de avaliação. Foram servidas 4 amostras em um dia e 3 no outro, para não causar fadiga no provador. Os provadores foram os mesmos.

#### 4.2.6.3 Análises físico-químicas do produto defumado e seco

Foram realizadas análises de: umidade, lipídeos, proteína e cinzas de acordo com o item 4.2.3.2.

#### 4.2.6.4 Análise microbiológica

Foram realizadas as seguintes análises microbiológicas para o pescado salgado, defumado e seco, de acordo com a Resolução-RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001 da Agência Nacional de Saúde (ANVISA). Na Tabela 4.6 estão apresentados as análises realizadas e os parâmetros da legislação utilizada.

Tabela 4.6- Análises microbiológicas para o pescado salgado, defumado e seco.

Análises	Legislação
<i>Salmonella</i> (em 25g)	Ausente
<i>Coliformes Totais</i> (NMP/g)	Max. $10^2$ /g
<i>Clostrídios Sulfito-redutores</i> (UFC/g)	Max. $5 \times 10^2$ /g
<i>Staphylococcus coagulase positiva</i> (UFC/g)	Max. $10^3$ /g

As análises foram realizadas no laboratório de Higiene da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP.

#### 4.2.7 Análise Estatística dos Dados Experimentais

Para a análise dos dados obtidos no processo de desidratação osmótica, bem como a determinação dos coeficientes das Equações 4.1 e 4.2, realizou-se uma Análise de Variância (ANOVA), utilizando o pacote estatístico MINITAB 14.0.

O critério de análise dos ajustes foi o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (BARROS NETO *et al.*, 2003) e o desvio relativo médio  $E$ , cuja definição encontra-se descrita pela Equação 4.3 (LOMAURO *et al.*, 1985):

$$E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|VP - VO|}{VO} \quad (4.3)$$

Em que:

N: é o número de experimentos;

VP: é o valor predito pelo modelo;

VO: é o valor observado experimentalmente.

Os ajustes dos modelos das curvas de cinética de secagem foram realizados através de regressão não linear, utilizando software (STATISTICA 5.0). Para a escolha dos melhores ajustes foram utilizados como critério, os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os valores experimentais e os valores preditos pelos modelos e o módulo do desvio relativo médio (E)

Para os resultados da análise sensorial foi realizada uma análise de variância (ANOVA), utilizando o software SAS 8.0, com o objetivo de verificar se houve diferença significativa entre as amostras em relação aos atributos, com 95% de confiança.

#### **4.2.8 Textura (TPA)**

O ensaio de TPA foi realizado com o auxílio do texturômetro Universal Testing Machine (TA.XT2i Texture Analyzer, Stable Micro Systems, Surrey, England) utilizando-se a sonda P6 cilíndrica com 0,6cm de diâmetro. A deformação máxima foi de 75%, a velocidade de compressão foi de 1mm/s e o tempo de espera entre a primeira e a segunda compressão foi de 5s. As análises foram realizadas em 6 amostras com 3×2,5×0,5cm e todos os parâmetros foram calculados pelo software “Texture Experts”.

#### **4.2.9 Microscopia Ótica**

Amostras, medindo aproximadamente 1x3x5mm, retiradas da região dorsal do filé de Tilápia, foram fixadas em solução de formalina neutra tamponada. Após esse

procedimento, realizou-se a desidratação em série alcoólico-etúlica até álcool 100%, utilizando soluções alcoólicas a 10%, 30%, 50% e 70%.

As amostras desidratadas (série alcoólica-etúlica) foram infiltradas em resina hidroxietil metacrilato (HistoResin, Leica Microsystems-Jung, Heidelberg, Alemanha), seccionadas a 14µm de espessura, utilizando micrótomo rotativo (820 Spencer Microtome, American Optical Corporation, New York, USA), montadas em lâminas e coradas com Hematoxilina Eosina (HE) e Xylidine Ponceau (XP). Para a coloração com Hematoxilina Eosina (HE) o material foi hidratado, mergulhado 25 min em Hematoxilina (HE), lavado abundantemente por 20min, mergulhado por 1min em Eosina, banhado em álcool 80%, desidratado, diafanizado (colocado em xilol) e as lâminas foram montadas em bálsamo do Canadá. Para coloração Xylidine Ponceau (XP) o material foi hidratado, mergulhado por 25 min em XP, lavado rapidamente em ácido acético (2%) e 5 vezes em água, desidratado em álcool, diafanizado (colocado em xilol) e as lâminas foram montadas em bálsamo do Canadá. (MELLO e VIDAL,1980)

As amostras foram observadas em microscópio ótico Olympus, modelo BX 51 (Olympus Optical CO., Tokyo, Japão) (BRON, 2001).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DA MATÉRIA-PRIMA

As análises microbiológicas exigidas pela resolução –RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência de Vigilância Sanitária –ANVISA estão apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1– Análise microbiológica da Tilápia *in natura*

Análises	Tilápia <i>in natura</i>	Legislação
<i>Salmonella</i>	Ausência em 25g	Ausência em 25g
<i>Staphylococcus coagulase positiva</i>	<10 <sup>2</sup> UFC/g	Max. 10 <sup>3</sup> /g

Os dados da Tabela 5.1 indicam que a matéria-prima *in natura* estava dentro dos limites exigidos pela Legislação Brasileira, portanto, apta para o processamento e/ou consumo.

As ausências de *Staphylococcus coagulase positiva* e *Salmonella*, confirmam que os procedimentos sanitários e higiênicos foram corretamente seguidos desde a captura até a preparação da matéria prima. Caso fosse confirmada a presença destas bactérias, a matéria-prima deveria ser descartada para impedir qualquer tipo de contaminação.

### 5.2 ANÁLISES MORFOMÉTRICA E QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA

Um lote de aproximadamente 30 kg de tilápia eviscerada, obtido no pesqueiro BT (Cosmópolis –SP), apresentou as seguintes características morfométricas, como mostra Tabela 5.2.

Tabela 5.2– Caracterização morfométrica de 19 exemplares de tilápia.

Características	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Peso total (g)	447,9	1369,6	989,6	326,0
Comprimento (cm)	28,0	43,0	38,9	9,4
Largura (cm)	12,0	18,0	16,20	4,0
Espessura (cm)	3,0	4,9	3,8	1,0
Filé com pele (g)	91,0	306,5	214,1	73,9
Filé sem pele(g)	64,5	261,6	172,0	63,8
Pele (g)	17,8	56,2	36,4	11,9
Cabeça (g)	159,4	287,0	288,4	92,0
Espinha (g)	99,7	459,6	264,4	96,7

A relação entre a largura e o peso total da tilápia está representada na Figura 5.1.

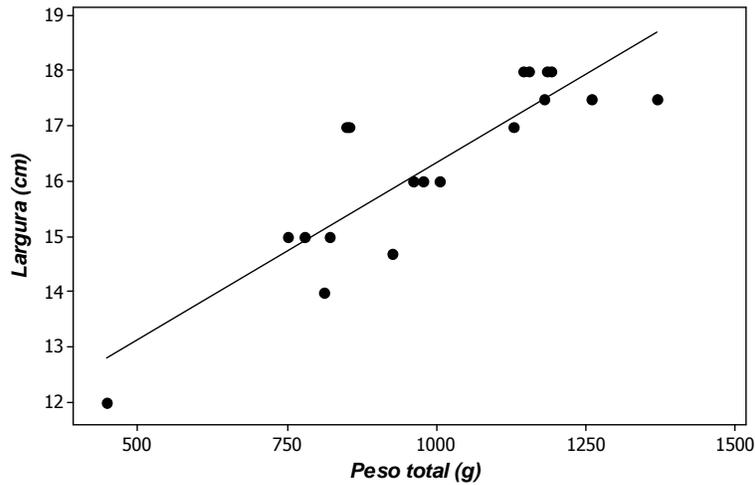


Figura 5.1 - Relação entre a largura e o peso total da tilápia.

A largura variou desde 12,0 até 18,0cm com uma média de  $16,2 \pm 4,0$ cm e o peso da tilápia desde 447,9 até 1369,6g com a média de  $989,6g \pm 326,0$ . A relação entre o peso total e o peso do filé da tilápia está apresentada na Figura 5.2.

O peso do filé com pele variou de 91,0 até 306,5g, com média de  $214,1 \pm 73,9$ g e o filé sem pele variou de 64,5 até 261,6g, com média de  $172,0 \pm 63,8$ g. Os resíduos foram definidos como a somatória da cabeça e coluna vertebral gerada no processamento da tilápia, e sua relação com o peso total está apresentada na Figura 5.3.

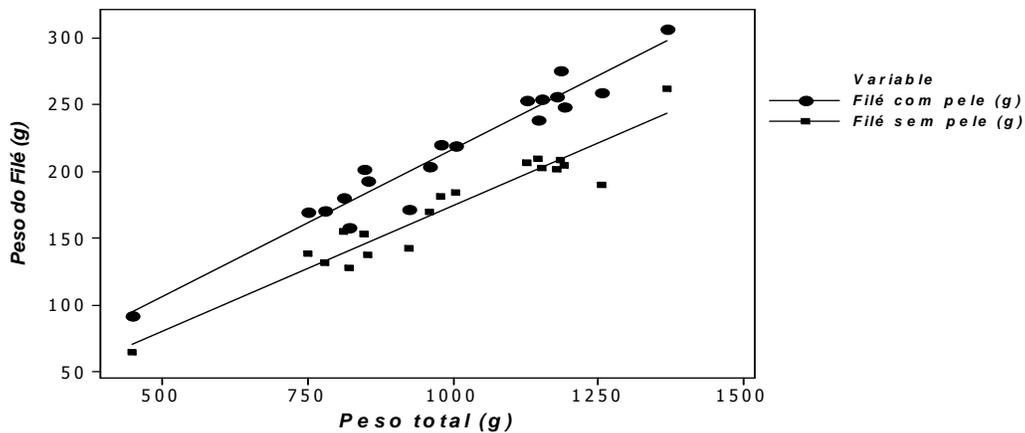


Figura 5.2- Relação entre o peso total e o peso do filé de tilápia com pele e sem pele.

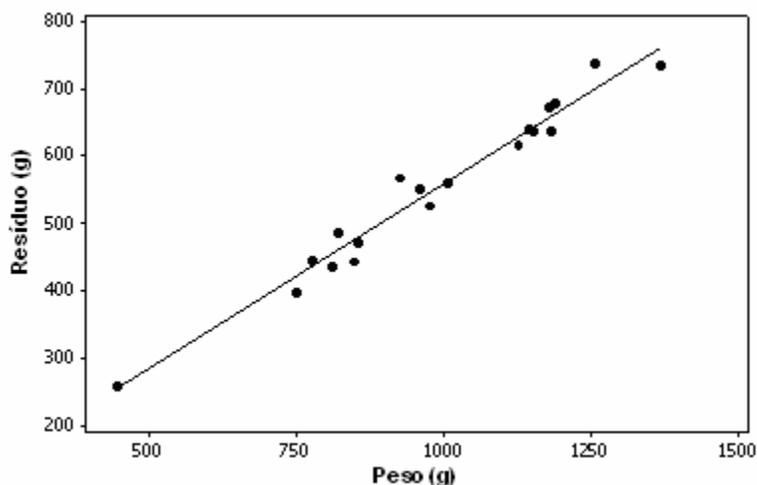


Figura 5.3 - Relação entre o peso total e os resíduos de tilápia.

O valor dos resíduos variou de 259,1g até 738,4g com média de  $552,5g \pm 125,6g$ .

A Tabela 5.3 mostra os modelos de regressão linear obtidos para as Figura 5.1 a Figura 5.3 e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ). A regressão foi significativa ao nível de 5% para todos os modelos propostos. A relação entre largura e peso apresentou o menor coeficiente de determinação 75,7 %.

Tabela 5.3–Modelos de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ )

Equações de Regressão	$R^2$ (%)
Largura = $9,92 + 0,00642$ Peso (g)	75,7
Filé com Pele = $-4,4 + 0,221$ Peso (g)	94,1
Filé sem Pele = $-12,8 + 0,187$ Peso (g)	91,6
Resíduo = $6 + 0,552$ Peso (g)	98,0

SANTOS (2004) trabalhando com duas variedades de tilápia do Nilo, a Tailandesa e a Suprema, utilizou uma equação logística para descrever a idade da tilápia em função do peso. Utilizando esta equação para os pesos obtidos neste trabalho, a idade da tilápia deste estudo encontra-se entre 281 a 407 dias, sendo portanto, tilápias adultas.

Os valores médios da filetagem de carcaça, filés e subprodutos da filetagem da tilápia do Nilo estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4-Valores médios de rendimento de carcaça, filé e subprodutos da filetagem da tilápia.

<b>Rendimento</b>	<b>(%)</b>
Carcaça sem Cabeça	70,85
Filé	17,38
Filé com pele	21,63
<b>Subprodutos</b>	
Pele bruta	3,68
Cabeça	29,14
Espinha	26,71

Considerando o rendimento da carcaça sem cabeça, SOUZA e MARANHÃO (2001) obtiveram um rendimento de 75,61% e 78,18% para pesos de tilápia do Nilo variando de 300-400g e 401-500g, valores levemente superiores ao encontrado neste experimento que foi de 70,85%. SOUZA *et al.* (2000), relatam rendimentos inferiores, de 57,13% a 61,91% em função da categoria de peso de 250-400g e 401-550g respectivamente.

Os valores obtidos de rendimento do filé, 17,38% (filé sem pele) e 21,63 (filé com pele) foram inferiores aos encontrados na literatura que variam de 25,4% a 42% (CLEMENT e LOVELL, 1994). Neste trabalho a filetagem foi executada por pessoas não treinadas, o que pode ter contribuído para o baixo rendimento do filé.

A pele é importante, porque várias espécies são comercializadas sob a forma de filé com pele, no entanto a tilápia não é comercializada desta forma. Segundo CONTRERAS-GUSMÁN (1994), a pele corresponde a 7,5% do peso dos peixes ósseos. A porcentagem de pele bruta obtida nesse experimento foi de 3,68%, que foi inferior as relatadas na literatura por MACEDO-VIEGAS, SOUZA, KRONKA (1997), SOUZA *et al.* (2000) , SOUZA e MARANHÃO (2001), PINHEIRO *et al.* (2006) cujas porcentagens variaram, respectivamente, de 4,77 a 5,71%, 6,54 a 5,65% , 6,16-6,56% e 8%.

O rendimento da cabeça obtido neste experimento foi de 29,14%, valor bem próximo ao encontrado na literatura por MACEDO-VIEGAS, SOUZA e KRONKA (1997) que encontraram valores de no mínimo 25,41% para a categoria de peso de 401-450g e no máximo de 29,02% para tilápias do Nilo pesando entre 301-350g. Estes autores citam que

a categoria de peso não influencia na porcentagem de cabeça. SOUZA *et al.* (2000) relatam que a categoria de peso influencia na porcentagem de cabeça da tilápia do Nilo, sendo a maior porcentagem (30,67%) observada na categoria de 250 a 400g comparada com 27,07% referente a categoria de 401-550g.

Alguns autores (SOUZA *et al.* 1997a; SOUZA *et al.* 1997b e RIBEIRO, LIMA e TURRA, 1998 e SOUZA, 2003) citam que a faixa de peso influencia o rendimento do filé. Por exemplo, encontraram um rendimento mínimo de 26,32% e no máximo de 37,08% para a tilápia vermelha (*Oreochromis sp.*) e observaram que o rendimento do filé aumentou em função do peso do peixe, sendo de 31,49% na menor classe (150-350g) e de 33,67% na maior classe (751-950g). SOUZA, MACEDO-VIEGAS, KRONKA (1997a e 1997b) e SOUZA (2003) relataram diferenças no rendimento de filetagem de acordo com as categorias de peso. Por outro lado, SOUZA e MARANHÃO (2001) não encontraram diferença significativa para o rendimento de filés de tilápia nilótica na faixa de peso estudado que foi de 36,5% para 300-400g e 36,84% para a faixa de peso de 401-500g. Igualmente, PINHEIRO *et al.* (2006) também não encontraram diferença significativa no rendimento de filé de tilápia tailandesa entre as categorias de peso de 300-600g, 601-800g e 801-1000g.

Os resíduos (cabeça + espinha) corresponderam em média a 55,85% do total do pescado, o que torna importante o seu aproveitamento.

A Tabela 5.5 mostra a distribuição de peso da tilápia tailandesa em 3 faixas de peso. Os valores de rendimento dos filés com e sem pele na faixa de peso estudadas não diferiram estatisticamente em si no teste de Tukey ( $p>0,05$ ).

Tabela 5.5-Rendimento médio do filé de tilápia tailandesa com e sem pele em função da distribuição do peso corporal.

<b>Número de exemplares</b>	<b>Faixa de Peso (g)</b>	<b>Rendimento médio do filé sem pele (%)</b>	<b>Rendimento médio do filé com pele (%)</b>
2	440-760	16,43 ± 2,80	21,49 ± 1,50
9	760-1080	17,27 ± 1,36	21,51 ± 1,68
8	1080-1400	17,51 ± 1,20	21,74 ± 0,95

O rendimento de filé, além da eficiência das máquinas filetadoras ou da destreza manual do operário, depende de algumas características intrínsecas à matéria-prima, ou seja, da forma anatômica do corpo, do tamanho da cabeça e dos pesos dos resíduos

(vísceras, pele e nadadeiras) (CONTRERAS –GUZMÁN,1994; EYO,1993; RIBEIRO *et al.* 1998).

Sabe-se que o rendimento depende do tamanho do peixe, tipo de cultivo, variando também com a espécie e principalmente no processamento. SOUZA (2002) encontrou diferenças significativas quando comparou seis métodos de filetagem, em relação ao rendimento de filé e de subprodutos do processamento da tilápia-do-nylo. O melhor método de filetagem foi o que retirou a pele do peixe inteiro e depois removeu o filé.

A Tabela 5.6 contém a caracterização físico-química dos filés de tilápia *in natura*.

Tabela 5.6–Caracterização físico-química dos filés de tilápia *in natura*.

Componentes (base úmida)	Média
Umidade (%)	77,13 ± 0,22
Lipídios (%)	2,60 ± 0,35
Proteínas (%)	19,36 ± 0,49
Cinzas (%)	1,09 ± 0,02
$a_w$	0,983 ± 0,001
pH	6,56 ± 0,05
NaCl (g/100g)	0,44 ± 0,02

Os valores de composição química estão próximos aos encontrados por YANAR, CELIK e AKAMCA (2006) para a tilápia (*Oreochromis niloticus*) que apresentou 76,87% de umidade, 18,23% de proteína, 2,64% de lipídios e 1,09% de cinzas. Estes resultados também estão próximos aos encontrados por SALES e SALES (1990) que encontraram para a tilápia valores 75% de umidade, 18,5% de proteína, 3,60% de lipídios e 2,4% de cinzas.

CONTRERAS-GUZMÁN (1994) relata que a fração de cinzas em peixes de água doce apresenta variações em quantidades que vão de 0,90 a 3,39%. Este valor é compatível ao valor de cinzas encontrado para tilápia neste estudo.

OGAWA (1999) cita que o músculo do pescado pode conter de 60 a 85% de umidade, aproximadamente 20% de proteína, 1 a 2% de cinzas, 0,3 a 1,0% de carboidrato e 0,6 a 36% de lipídeos. Este último componente apresenta uma maior variação em função do tipo de músculo corporal em uma mesma espécie (por exemplo, em atum a carne dorsal apresenta teores de 1 a 2% de lipídeos, enquanto que a carne abdominal pode alcançar até 20%).

Segundo o regulamento da inspeção industrial sanitária de produtos de origem animal –DIPOA do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (aprovado pelo Decreto nº 2.244 de 04-06-97) o artigo 443 (DIPOA, 2006), as determinações físicas e químicas para caracterização do pescado fresco em relação ao valor de pH da carne interna devem ser inferiores a 6,5 (seis e cinco décimos), encontrando-se neste caso a matéria-prima deste estudo, dentro das normas previstas nesse regulamento.

Segundo PIGOTT e TUCKER (1990) uma forma de definir a classificação de peixes gordos está baseada na seguinte relação: menor que 2% de conteúdo de lipídeos é um pescado de baixo conteúdo de gordura, entre 2 e 5% é um pescado moderado em conteúdo de gordura e maior que 5% é considerado um pescado com alto conteúdo de gordura. Os resultados deste estudo classificam a tilápia tailandesa como um pescado com moderado teor de gordura.

### 5.3 PRIMEIRO TRATAMENTO

#### 5.3.1 Desidratação Osmótica em Solução de NaCl

Na Tabela 5.7 estão apresentados os valores de perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), a razão GS/PA e a atividade de água, obtidos experimentalmente do processo de desidratação osmótica do filé de tilápia, seguindo a planilha do planejamento experimental completo  $2^3$  com três pontos centrais.

Tabela 5.7 -Valores experimentais das variáveis dependentes para a desidratação osmótica de filé de tilápia em solução de NaCl.

	Tratamento			Respostas				
	NaCl (% p/p)	t (min)	T (°C)	PP (%)	PA (%)	GS (%)	GS/PA	$a_w$
<b>1</b>	21(-1)	85(-1)	24(-1)	1,368	8,566	7,198	0,840	0,876
<b>2</b>	25(+1)	85(-1)	24(-1)	10,004	19,078	9,497	0,498	0,856
<b>3</b>	21(-1)	245(+1)	24(-1)	0,744	8,528	7,783	0,913	0,864
<b>4</b>	25(+1)	245(+1)	24(-1)	11,488	19,761	8,274	0,419	0,836
<b>5</b>	21(-1)	85(-1)	36(+1)	9,254	16,310	7,055	0,433	0,872
<b>6</b>	25(+1)	85(-1)	36(+1)	15,152	23,725	8,994	0,379	0,856
<b>7</b>	21(-1)	245(+1)	36(+1)	13,546	19,598	6,109	0,312	0,861
<b>8</b>	25(+1)	245(+1)	36(+1)	20,142	28,223	8,081	0,286	0,840
<b>9</b>	23 (0)	165(0)	30(0)	9,312	17,049	7,736	0,454	0,860
<b>10</b>	23(0)	165(0)	30(0)	8,859	17,856	7,792	0,436	0,864
<b>11</b>	23(0)	165(0)	30(0)	8,934	16,715	7,856	0,470	0,860

\*Atividade de água das soluções de NaCl a 25°C: 0,822 (21% p/p), 0,795 (23% p/p), 0,767 (25% p/p).

### 5.3.1.1 Perda de Peso

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de perda de peso (PP) na desidratação osmótica de filés de tilápia em solução de sal foram determinados através do SS residual, e estão apresentados na Tabela 5.8. Os efeitos dos fatores lineares e da interação estão em negrito e são significativos a 5% de significância ( $p \leq 0,05$ ). A média da PP foi de aproximadamente  $9,89 \pm 0,31$  e não ultrapassou 21%.

Tabela 5.8 - Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a perda de peso na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Fatores	Efeito	SS Residual	p
<b>Média global</b>	<b>9,8911</b>	<b>0,3086</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos principais</i>			
<b>NaCl</b>	<b>7,9679</b>	<b>0,7236</b>	<b>0,002</b>
<b>Tempo</b>	<b>2,5356</b>	<b>0,7236</b>	<b>0,039</b>
<b>Temperatura</b>	<b>8,6226</b>	<b>0,7236</b>	<b>0,001</b>
<i>Efeitos de interação</i>			
NaCl × Tempo	0,7015	0,7236	0,404
NaCl × Temperatura	-1,7216	0,7236	0,098
Tempo × Temperatura	2,1055	0,7236	0,062
NaCl × Tempo × Temperatura	-0,3525	0,7236	0,660

O efeito estimado da variável indica quanto esta variável exerce influência sobre a resposta, desta forma, quanto maior for seu valor, maior será a influência sobre a variável resposta. Um efeito positivo sobre a resposta indica que, ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, o valor da resposta aumenta. Já um efeito negativo indica o contrário, ou seja, ao passar de um valor mínimo para um máximo da variável, o valor da resposta diminui.

O valor 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 valores de  $p \leq 0,05$ , a variável é considerada estatisticamente significativa.

Os efeitos de interação não foram significativos a 5% de significância. A concentração de NaCl, o tempo e temperatura de desidratação osmótica apresentaram efeito positivo para a perda de peso, ou seja, um aumento nestes fatores acarreta num aumento da perda de peso. A temperatura e concentração de NaCl apresentaram maior efeito sobre a perda de peso, sendo seus efeitos 3 vezes maior que o efeito do tempo. RIBEIRO (2005) trabalhando com desidratação osmótica de mapará, também verificou que a concentração de sal, a temperatura e o tempo exerceram um efeito positivo na perda de peso.

Após eliminar os efeitos não significativos, foi verificada, através da Análise de Variância (ANOVA), a significância da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância, utilizando um teste F para o planejamento estudado, conforme Tabela 5.9. Este procedimento foi repetido para todas as respostas em estudo.

Tabela 5.9- Análise de Variância (ANOVA) para a perda de peso durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	p	R <sup>2</sup>
Regressão	288,547	3	96,182	35,13	4,35	0,000	0,938
Resíduo	19,168	7	2,738				
Falta de ajuste	19,050	5	3,810	34,63	19,30	0,015	
Erro Puro	0,118	2	0,059				
Total	307,714	10					

Analisando os valores obtidos na Tabela 5.9, observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ( $F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabelado}}$ ), mas o modelo não pode ser considerado preditivo, pois a falta de ajuste também foi significativa. Portanto, os gráficos obtidos só podem ser utilizados como gráficos de tendência para trabalhos futuros devido à falta de ajuste.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido foi de 0,938, indicando que o modelo explicou 93,8% da variação dos dados experimentais.

As superfícies de resposta e as curvas de nível geradas pelo modelo de perda de peso utilizando NaCl como agente osmótico são apresentadas na Figura 5.4. Estas Figuras expressam a interação entre duas variáveis independentes sobre a perda de peso. A terceira variável independente foi mantida no ponto central do planejamento. Este mesmo procedimento foi adotado para as demais respostas em estudo.

Na Figura 5.4(a) observa-se que a maior perda de peso ocorre na temperatura acima de 31°C e na concentração de NaCl acima de 23%. A Figura 5.4(b) mostra um aumento da perda de peso acima de 33°C e com tempo de desidratação acima de 130min. A Figura 5.4(c) mostra que a maior perda de peso ocorre na concentração de NaCl acima de 24%, com pouca influência do tempo utilizado. Os modelos estatísticos estão apresentados no item 5.3.1.6

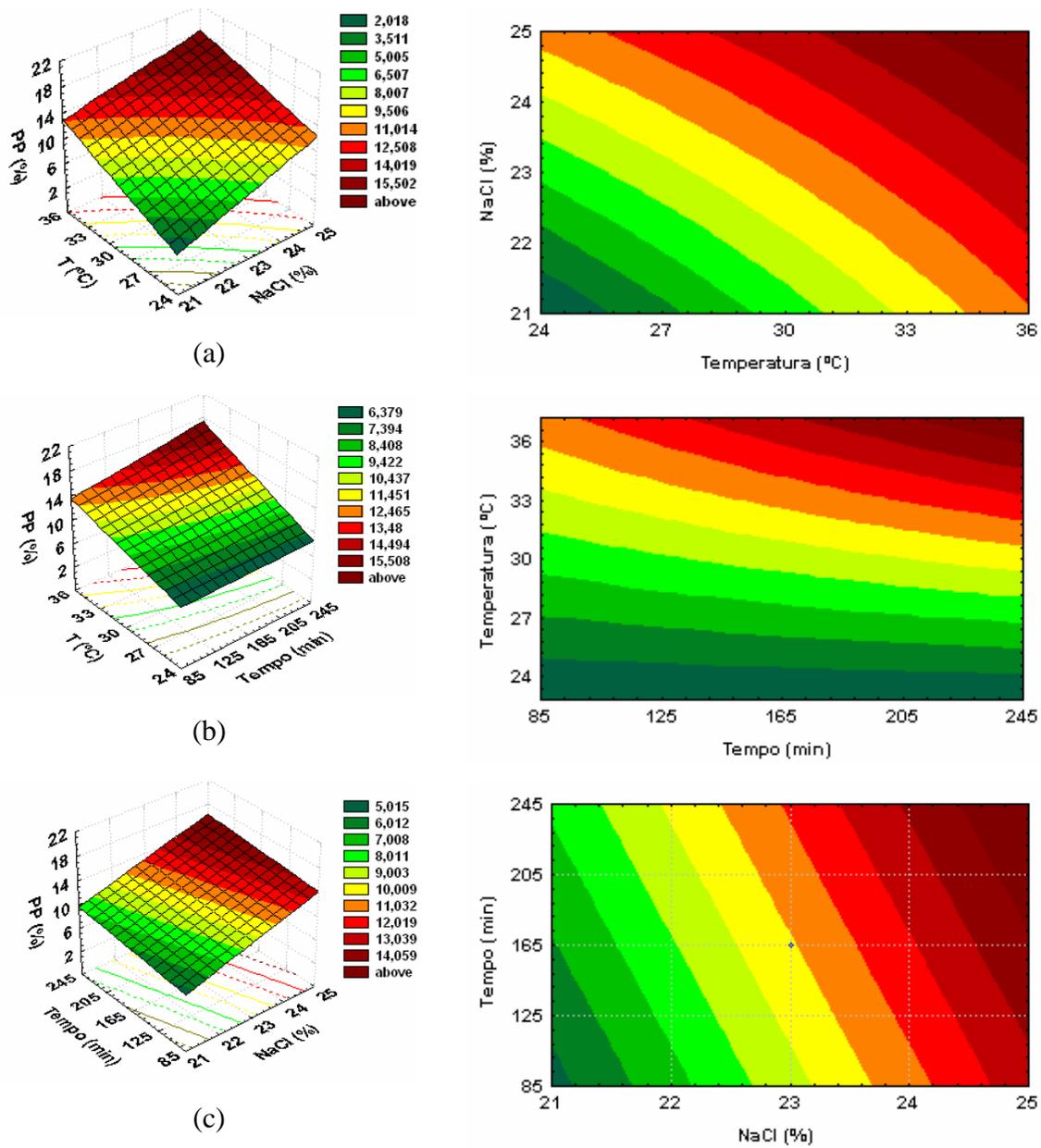


Figura 5.4– Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de peso da desidratação osmótica de tilápia em solução de sal a: tempo=165min (a), concentração= 23% (b) e temperatura = 30°C (c).

### 5.3.1.2 Perda de água

Os valores dos efeitos lineares e interações na perda de água (PA) da desidratação osmótica de filé de tilápia são apresentados na Tabela 5.10, os valores em negrito são significativos a 5% ( $p \leq 0,05$ ). A média da PA foi de aproximadamente  $17,76 \pm 0,25$  e não ultrapassou 29%.

Tabela 5.10 - Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a perda de água na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Variável	Efeito	SS residual	P
<b>Média global</b>	<b>17,7644</b>	<b>0,2464</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos principais</i>			
<b>NaCl</b>	<b>9,4465</b>	<b>0,5732</b>	<b>0,000</b>
<b>Tempo</b>	<b>2,1078</b>	<b>0,5732</b>	<b>0,035</b>
<b>Temperatura</b>	<b>7,9809</b>	<b>0,5732</b>	<b>0,001</b>
<i>Efeitos de interação</i>			
NaCl × Tempo	0,4825	0,5732	0,462
NaCl × Temperatura	-1,4265	0,5732	0,089
Tempo × Temperatura	1,7853	0,5732	0,053
NaCl × Tempo × Temperatura	0,1223	0,5732	0,845

Assim como na perda de peso, os efeitos de interação não foram significativos. Verifica-se que os parâmetros temperatura, concentração de NaCl e tempo apresentam efeito positivo para a perda de água, ou seja, um aumento em qualquer um desses fatores acarreta num aumento da perda de água. A temperatura e concentração de NaCl apresentaram maior efeito sobre a perda de água, sendo seus efeitos cerca de 4 vezes maior que o efeito do tempo. MEDINA-VIVANCO (2003) trabalhando com desidratação osmótica de tilápia, observou a mesma influência do tempo e da concentração de NaCl na perda de água, porém a perda foi maior nas primeiras sete horas de processo. RIBEIRO (2005) verificou que os parâmetros que mais influenciaram a perda de água da desidratação osmótica de mapará foram a temperatura, o tempo e a concentração de sal, sendo a temperatura a variável que exerceu uma maior influência.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste do modelo através da Análise de Variância (ANOVA), conforme apresentado na Tabela 5.11.

Tabela 5.11- Análise de Variância (ANOVA) para a perda de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	p	R <sup>2</sup>
Regressão	314,733	3	104,911	56,88	4,35	0,000	0,961
Resíduo	12,910	7	1,844				
Falta de ajuste	12,222	5	2,444	7,10	19,30	0,128	
Erro Puro	0,6889	2	0,344				
Total	327,643	10					

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,961, indicando que modelo explicou 96,1% da variação dos dados experimentais. Analisando os valores obtidos na Tabela 5.11, observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ( $F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabelado}}$ ), falta de ajuste não significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ), desta forma o modelo foi considerado significativo e preditivo.

Observando a Figura 5.5(a), verifica-se que a maior perda de água ocorre na concentração de NaCl acima de 24,5% e tempo superior a 165min, e na Figura 5.5(b), a maior perda de água ocorreu na temperatura acima de 33°C e na concentração de NaCl acima de 24,5% e na Figura 5.5(c), a maior perda de água ocorreu na temperatura acima de 35°C e no tempo de desidratação superior a 205min.

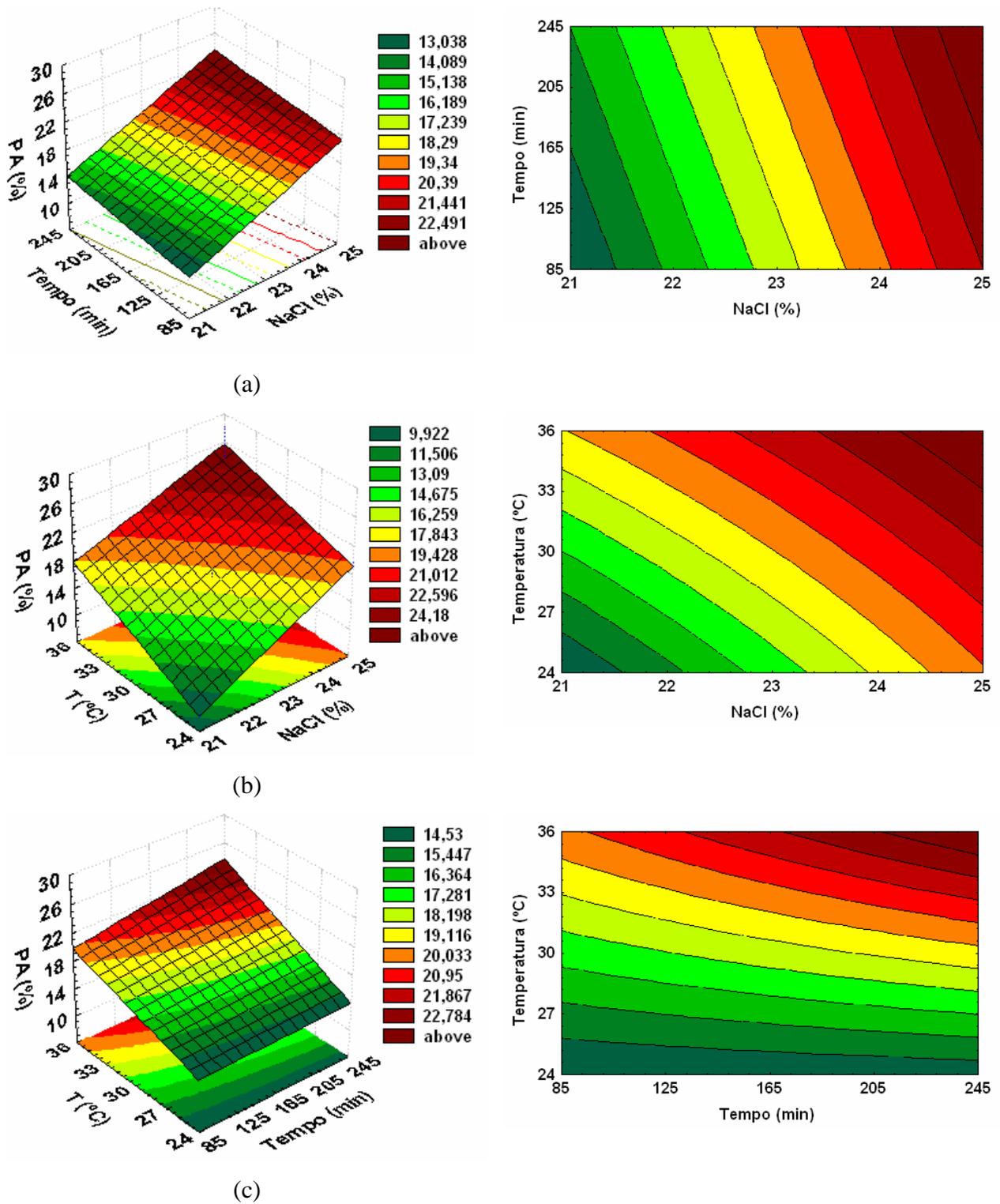


Figura 5.5 – Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de sal a: tempo=165min (a), concentração= 23% (b) e temperatura = 30°C (c).

5.3.1.3 Ganho de sólidos

Os efeitos dos fatores sobre o ganho de sólidos (GS) na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl encontram-se explicitados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12- Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para o ganho de sólidos na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Variáveis	Efeito	SS residual	p
<b>Média global</b>	<b>7,8523</b>	<b>0,0252</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos principais</i>			
<b>NaCl</b>	<b>1,6751</b>	<b>0,0590</b>	<b>0,002</b>
<b>Tempo</b>	<b>-0,6242</b>	<b>0,0590</b>	<b>0,002</b>
<b>Temperatura</b>	<b>-0,6278</b>	<b>0,0590</b>	<b>0,002</b>
<i>Efeitos de interação</i>			
<b>NaCl × Tempo</b>	<b>-0,4440</b>	<b>0,0590</b>	<b>0,005</b>
<b>NaCl × Temperatura</b>	<b>0,2804</b>	<b>0,0590</b>	<b>0,018</b>
<b>Tempo × Temperatura</b>	<b>-0,3054</b>	<b>0,0590</b>	<b>0,014</b>
<b>NaCl × Tempo × Temperatura</b>	<b>0,4603</b>	<b>0,0590</b>	<b>0,004</b>

O efeito de interação NaCl×Tempo×Temperatura foi significativa a 5% de significância, portanto, deve-se analisar como ocorreu esta interação, conforme os gráficos apresentados na Figura 5.6.

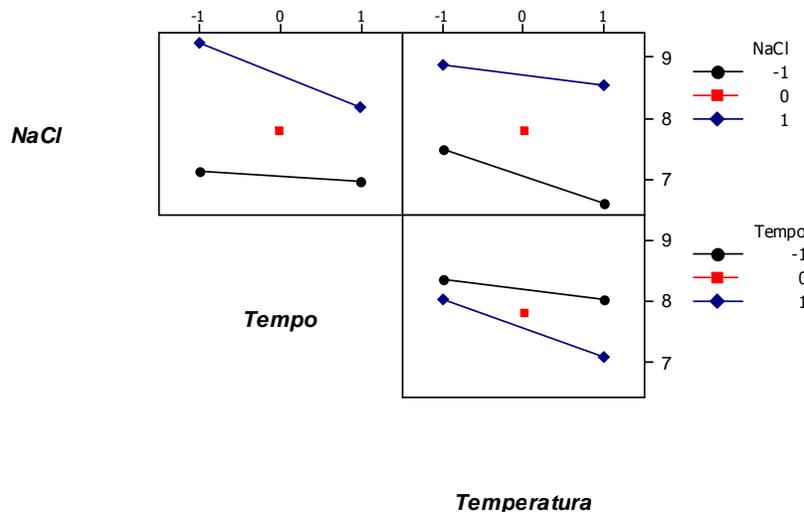


Figura 5.6-Gráfico de interação para o ganho de sólidos na desidratação osmótica de filés de tilápia com solução de NaCl.

Observando a Figura 5.6, verifica-se que quando passa do nível mínimo de concentração de NaCl para o nível máximo, ocorre um aumento do ganho de sólidos, este aumento é bem menor no maior tempo de desidratação osmótica. Quando passa do nível mínimo de concentração de NaCl para o nível máximo, ocorre também um aumento do ganho de sólidos, que é maior no nível máximo de temperatura de desidratação osmótica. Quando passa de um nível mínimo para um nível máximo de tempo de desidratação osmótica, ocorre uma diminuição do ganho de sólidos, que é bem menor na temperatura de nível mínimo.

Uma grande dependência do ganho de sólidos em relação à temperatura foi observada por MEDINA-VIVANCO (1998) e ZAITZEV *et al.* (1969) na desidratação de pescado utilizando cloreto de sódio. RIBEIRO (2005) observou uma diminuição do ganho de sólidos com o aumento da temperatura, no estudo de desidratação osmótica de filés de mapará (*Hypophthalmus edentatus*).

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste do modelo através da Análise de Variância (ANOVA), conforme Tabela 5.13.

Tabela 5.13-Análise de Variância (ANOVA) para o ganho de sólidos durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	p	R <sup>2</sup>
Regressão	8,343	7	1,1918	172,72	8,89	0,000	0,998
Resíduo	0,021	3	0,0069				
Falta de ajuste	0,014	1	0,0137	3,80	19,25	0,191	
Erro Puro	0,007	2	0,0036				
Total	8,385	10					

Analisando a Tabela 5.13, verifica-se que o modelo apresentou regressão significativa ( $F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabelado}}$ ) e falta de ajuste não significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ) a 5% de significância, desta forma o modelo foi considerado significativo e preditivo.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido foi de 0,998, indicando que o modelo explicou 99,8% da variação dos dados experimentais.

Observando a Figura 5.7(a), verifica-se que o menor ganho de sólidos ocorreu na concentração de NaCl de 21% e temperatura acima de 33°C, na Figura 5.7(b) o menor ganho de sólidos ocorreu na concentração de NaCl menores que 21%, independente do tempo utilizado. Na Figura 5.7(c), o menor ganho de sólidos ocorreu no tempo de 245 min e na temperatura de 35°C.

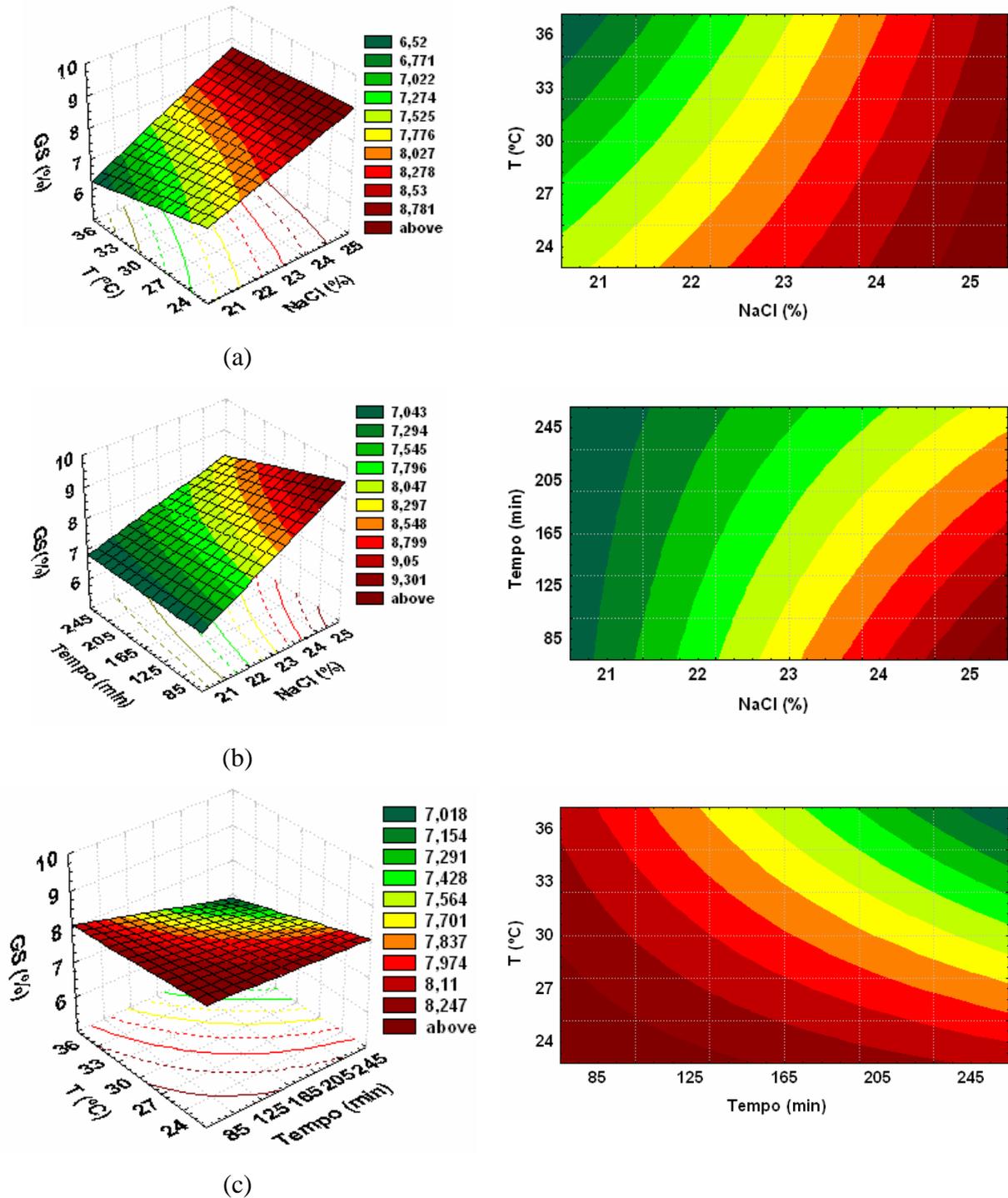


Figura 5.7–Superfícies de resposta e curva de nível do ganho de sólidos da desidratação osmótica de tilápia em solução de sal a: tempo=165 min (a), temperatura = 30 °C (b) e concentração= 23% (c).

## 5.3.1.4 GS/PA

Os efeitos dos fatores sobre a relação GS/PA na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl encontram-se explicitados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a relação GS/PA na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Fatores	Efeito	SS residual	p
Média Global	<b>0,4995</b>	<b>0,01516</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos principais</i>			
NaCl	<b>-0,2289</b>	<b>0,0356</b>	<b>0,008</b>
Tempo	-0,0551	0,0356	0,220
<b>Temperatura</b>	<b>-0,3149</b>	<b>0,0356</b>	<b>0,003</b>
<i>Efeito de interação</i>			
NaCl × Tempo	-0,0309	0,0356	0,447
<b>NaCl × Temperatura</b>	<b>0,1894</b>	<b>0,0356</b>	<b>0,013</b>
Tempo × Temperatura	-0,0517	0,0356	0,240
NaCl × Tempo × Temperatura	0,0405	0,0356	0,295

Para a resposta GS/PA, os efeitos de interação concentração de NaCl e temperatura foram considerados significativos a 5% de significância.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se através da Análise de Variância (ANOVA) a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 5%, utilizando o teste F, conforme a Tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Análise de Variância (ANOVA) para o GS/PA durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F calculado	F tabelado	P	R <sup>2</sup>
Regressão	0,3749	3	0,1250	35,13	4,35	0,000	0,937
Resíduo	0,0249	7	0,0036				
Falta de ajuste	0,0243	5	0,0049	17,19	19,30	0,559	
Erro Puro	0,0006	2	0,0003				
Total	0,3998	10					

O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) para o modelo ajustado foi de 93,7%, indicando que o modelo explicou 93,7% da variação dos dados experimentais.

O modelo apresentou regressão significativa e falta de ajuste não significativa a 5% de significância, desta forma o modelo foi considerado preditivo.

O gráfico da Figura 5.8(a), mostra que a menor relação GS/PA, ocorreu na temperatura acima de 34°C, independente da concentração de NaCl utilizada, já na Figura 5.8(b), a menor relação GS/PA ocorreu na temperatura acima de 34°C, independente do tempo, e na Figura 5.8(c), a menor relação GS/PA ocorreu na concentração de NaCl acima de 24,6%, independente do tempo.

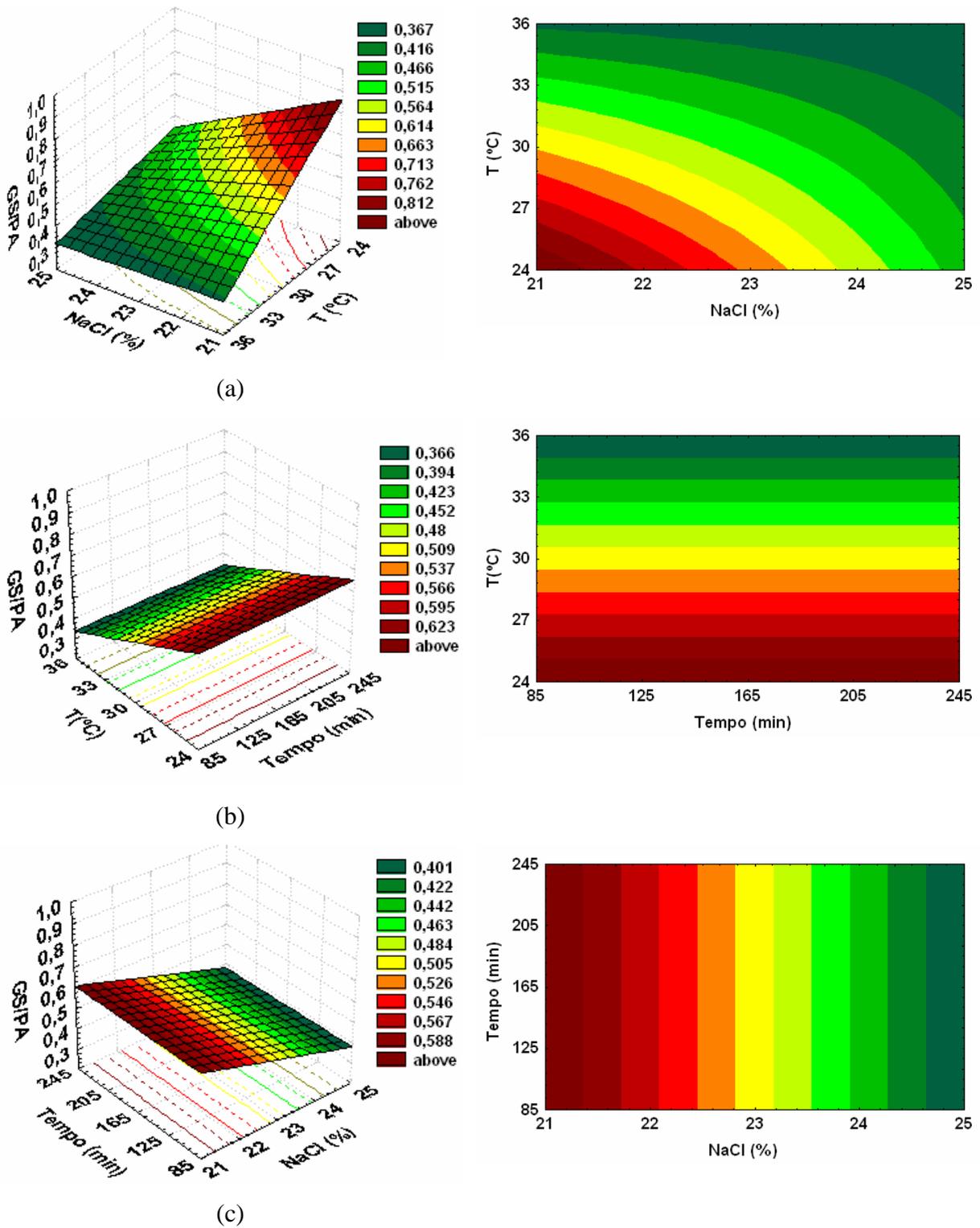


Figura 5.8–Superfícies de resposta e curva de nível para GS/PA da desidratação osmótica de tilápia em solução de sal a: tempo=165min (a), concentração= 23% (b) e temperatura = 30°C (c).

### 5.3.1.5 Atividade de água

Os efeitos dos fatores lineares e das interações na atividade de água ( $a_w$ ) da desidratação osmótica de filés de tilápia em soluções de NaCl são mostrados na Tabela 5.16. O Intervalo considerado para análise através do SS residual foi de 95% de confiança.

Tabela 5.16 - Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a atividade de água na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Fatores	Efeito	SS residual	p
<b>Média global</b>	<b>0,8585</b>	<b>0,0012</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos principais</i>			
<b>NaCl</b>	<b>-0,0215</b>	<b>0,0028</b>	<b>0,004</b>
<b>Tempo</b>	<b>-0,0145</b>	<b>0,0028</b>	<b>0,013</b>
Temperatura	-0,0010	0,0028	0,738
<i>Efeitos de interação</i>			
NaCl × Tempo	-0,0035	0,0028	0,290
NaCl × Temperatura	0,0030	0,0028	0,352
Tempo × Temperatura	0,0010	0,0028	0,738
NaCl × Tempo × Temperatura	0,0000	0,0028	1,000

Observando a Tabela 5.16, verifica-se que, apenas os parâmetros concentração de NaCl e tempo foram significativos ( $p \leq 0,05$ ) e apresentam efeito negativo na atividade de água. O fator que mais contribuiu para diminuir a atividade de água foi a concentração de sal, sendo seu efeito duas vezes maior do que o tempo. RIBEIRO (2005) também observou efeito negativo da temperatura, da concentração de sal e do tempo na atividade de água de filés de mapará desidratados com sal, sendo que o maior efeito exercido na atividade de água foi o da concentração de sal.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se através da Análise de Variância (ANOVA) a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 5%, utilizando o teste F, conforme dados apresentados na Tabela 5.17.

Tabela 5.17-Análise de Variância (ANOVA) para a atividade de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F calculado	F tabelado	P	R <sup>2</sup>
Regressão	0,0013	2	0,0007	61,70	4,46	0,000	0,939
Resíduo	0,0001	8	1,09E-05				
Falta de ajuste	0,0001	6	1,27E-05	2,30	19,33	0,334	
Erro Puro	0,00001	2	5,5E-06				
Total	0,0014	10					

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 0,939, mostrando que o modelo explica 93,89% da variação dos dados experimentais. Apresenta regressão significativa e falta de ajuste não significativa a 5% de significância, desta forma foi considerado significativo e preditivo.

Observa-se na Figura 5.9(a) que a menor atividade de água ocorreu na concentração de NaCl acima de 24%, independente da temperatura utilizada, na Figura 5.9(b) a menor atividade de água ocorreu no tempo superior a 205min, independente da temperatura e na Figura 5.9(c) a menor atividade de água ocorreu também na concentração de NaCl acima de 24% e no tempo de desidratação osmótica acima de 205min.

Os valores obtidos de atividade de água podem ser considerados muito bons, visto que a desidratação osmótica é reconhecidamente ineficaz quando utilizada sozinha, na obtenção de alimentos com reduzida atividade de água, como sugerem RAOULT-WACK, (1994) e TAPIA *et al.*; (1999). A grande maioria das bactérias deteriorantes do peixe salgado é inibida a valores de atividade de água próximos a 0,95. Em atividade de água igual a 0,92, praticamente todas as bactérias patogênicas são inibidas, com exceção do *Staphylococcus aureus*, que pode se desenvolver em valores de atividade de água de 0,83, porém deixa de produzir enterotoxina em alimentos com atividade de água de 0,93 (LEITÃO, 1983).

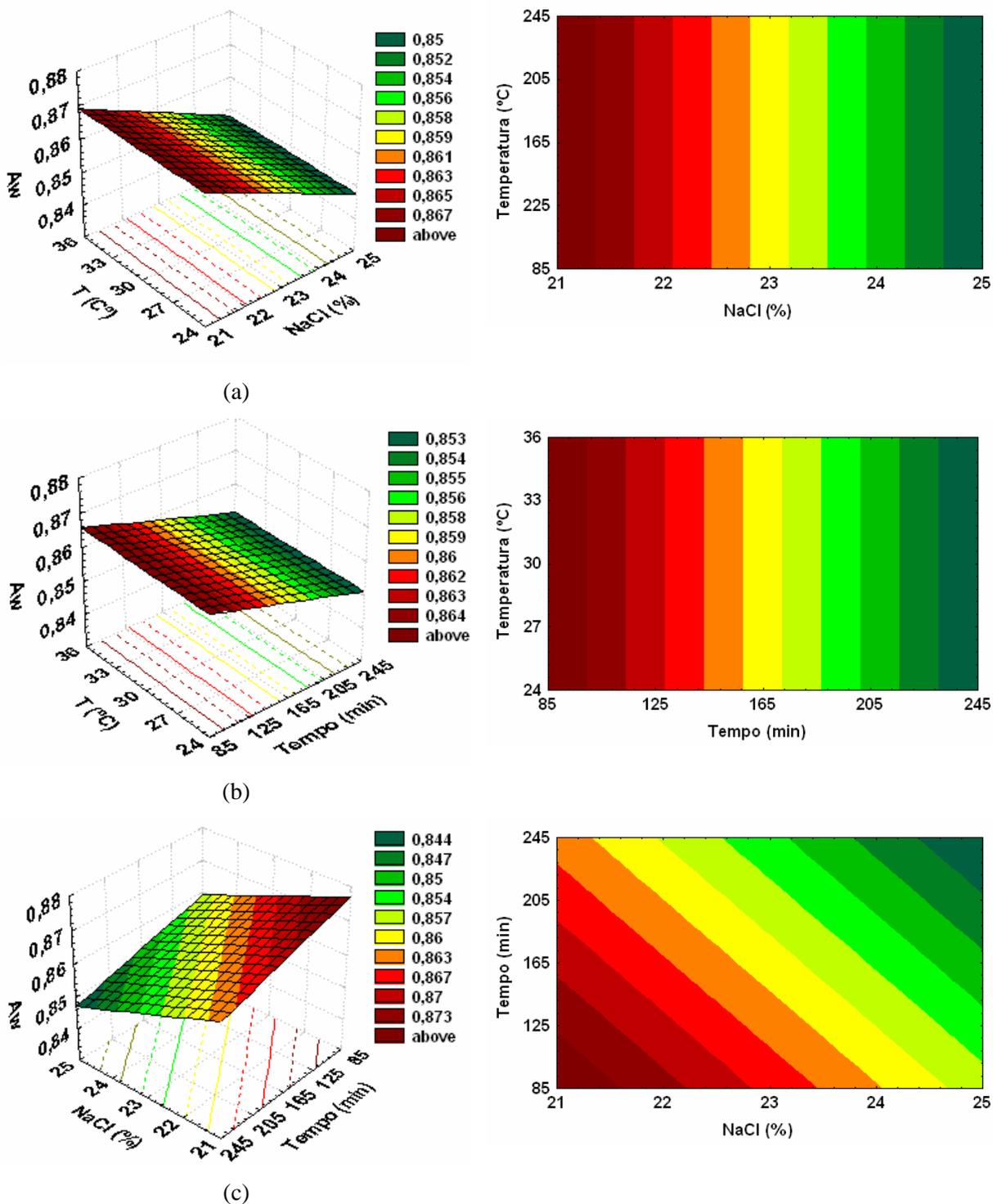


Figura 5.9– Superfícies de resposta e curva de nível para a atividade de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de sal a: tempo=165min (a), concentração= 23% (b) e temperatura = 30°C (c)

### 5.3.1.6 Modelo estatístico

A Tabela 5.18 mostra os coeficientes codificados de regressão do modelo estatístico obtido para as respostas da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Tabela 5.18-Coeficientes do modelo estatístico para a perda de peso, perda de água, o ganho de sólidos, GS/PA e a atividade de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl.

Coeficientes	PP	PA	GS	GS/PA	$a_w$
$\beta_0$	9,8911	17,7644	7,8523	0,4945	0,8585
$\beta_1$	3,9840	4,7232	0,8375	-0,1144	-0,0107
$\beta_2$	1,2678	1,0539	-0,3121	ns	-0,0073
$\beta_3$	4,3113	3,9904	-0,3140	-0,1575	ns
$\beta_{12}$	ns	ns	-0,2220	ns	ns
$\beta_{13}$	ns	ns	0,1401	0,0947	ns
$\beta_{23}$	ns	ns	-0,1526	ns	ns
$\beta_{123}$	ns	ns	0,2301	ns	ns

ns: Não significativo a 5% de significância.

### 5.3.1.7 Otimização

O pré-tratamento osmótico teve como objetivo manter ao máximo as características iniciais do peixe *in natura*, utilizando temperaturas que não provocassem alterações na estrutura do material, mas que possibilitassem a máxima remoção de água com mínima incorporação de soluto. Para determinar a região com estas características, máxima perda de água e mínima incorporação de soluto, utilizou-se a variável relação de GS/PA. Como o objetivo foi também obter um peixe com baixa atividade de água, fez-se a sobreposição das curvas de nível GS/PA e atividade de água.

Na Figura 5.10, o gráfico GS/PA está representado através de áreas, enquanto que o gráfico de atividade de água, estão delimitadas através de linhas. A região de cor branca representa a região otimizada de menor GS/PA e atividade de água.

Dentro da faixa escolhida, que varia de 0,367 a 0,401 para GS/PA e 0,844 a 0,854 para a atividade de água, da Figura 5.10, optou-se por trabalhar com a seguinte condição ótima: temperatura de 34°C, concentração de NaCl de 24,6% e tempo de imersão de 230min.

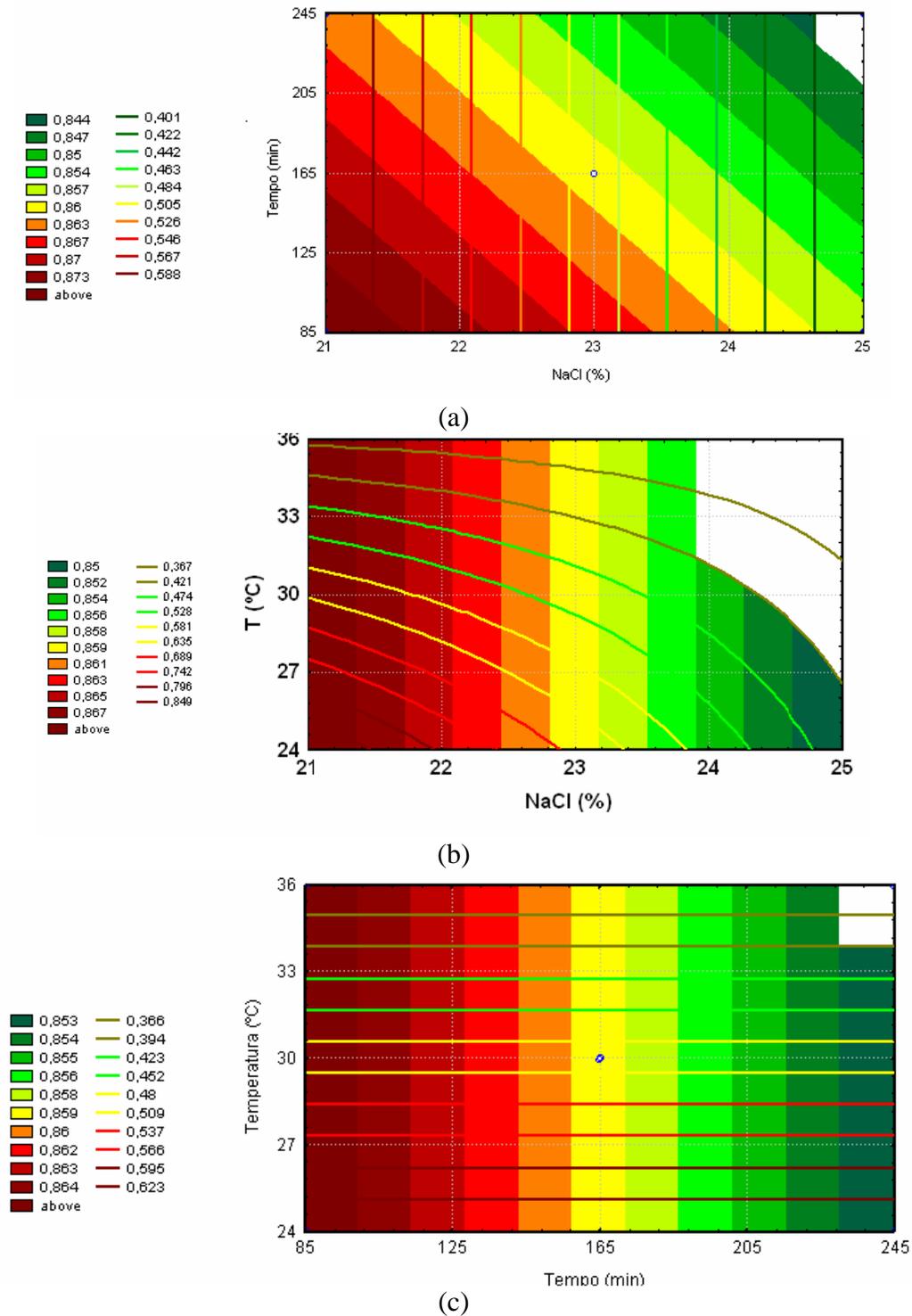


Figura 5.10 - Sobreposição das curvas de contorno GS/PA e atividade de água na desidratação osmótica de filés de tilápia em solução de sal.

### 5.3.2 Desidratação Osmótica em Solução Ternária de NaCl + Sacarose

Na Tabela 5.19 estão apresentados os valores de perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), a razão GS/PA e a atividade de água, obtidos experimentalmente do processo de desidratação osmótica do filé de tilápia, seguindo a planilha do planejamento experimental completo  $2^4$  com três pontos centrais.

Tabela 5.19- Valores experimentais das variáveis dependentes para a desidratação osmótica de filé de tilápia em solução de NaCl + sacarose.

Ensaio	Tratamentos				Respostas				
	Sacarose (% p/p)	NaCl (% p/p)	T (°C)	t (min)	PP (%)	PA (%)	GS (%)	GS/PA	a <sub>w</sub>
1	30(-1)	10(-1)	25(-1)	98(-1)	8,689	23,245	14,556	0,626	0,931
2	40(+1)	10(-1)	25(-1)	98(-1)	17,059	28,850	11,791	0,409	0,926
3	30(-1)	14(+1)	25(-1)	98(-1)	15,746	30,459	14,713	0,483	0,915
4	40(+1)	14(+1)	25(-1)	98(-1)	22,734	34,212	11,478	0,335	0,908
5	30(-1)	10(-1)	35(+1)	98(-1)	9,460	24,381	14,918	0,612	0,927
6	40(+1)	10(-1)	35(+1)	98(-1)	20,612	34,163	13,550	0,397	0,913
7	30(-1)	14(+1)	35(+1)	98(-1)	17,557	31,874	14,317	0,449	0,885
8	40(+1)	14(+1)	35(+1)	98(-1)	24,161	37,365	13,204	0,353	0,883
9	30(-1)	10(-1)	25(-1)	233(+1)	12,843	29,272	16,430	0,561	0,917
10	40(+1)	10(-1)	25(-1)	233(+1)	22,557	39,350	16,793	0,427	0,899
11	30(-1)	14(+1)	25(-1)	233(+1)	20,700	37,629	16,929	0,450	0,886
12	40(+1)	14(+1)	25(-1)	233(+1)	27,979	43,801	15,444	0,353	0,861
13	30(-1)	10(-1)	35(+1)	233(+1)	14,081	35,073	20,992	0,599	0,903
14	40(+1)	10(-1)	35(+1)	233(+1)	23,338	45,013	21,675	0,482	0,881
15	30(-1)	14(+1)	35(+1)	233(+1)	22,112	41,102	18,990	0,462	0,862
16	40(+1)	14(+1)	35(+1)	233(+1)	29,444	47,885	18,441	0,385	0,837
17	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)	19,664	35,290	15,625	0,443	0,893
18	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)	19,181	34,394	15,213	0,442	0,888
19	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)	19,564	34,515	14,951	0,433	0,888
20	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)	20,560	34,793	14,233	0,409	0,893
21	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)	20,186	35,697	15,511	0,435	0,893
22	35(0)	12(0)	30(0)	165(0)	20,729	35,757	15,028	0,420	0,896

\*Atividade de água das soluções de NaCl + sacarose a 25°C: 0,865 (10 e 30% p/p), 0,826 (10 e 40% p/p), 0,819 (12 e 35% p/p) e 0,806 (14 e 30% p/p) e 0,760 (14 e 40% p/p).

### 5.3.2.1 Perda de Peso

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de perda de peso (PP) na desidratação osmótica de filés de tilápia em solução de NaCl e sacarose foram determinados através do SS residual, e estão apresentados na Tabela 5.20. Os efeitos dos fatores lineares e da interação estão em negrito e são significativos a 5% de significância ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 5.20-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística para cada fator no modelo codificado para a perda de peso na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e Sacarose.

Variáveis	Efeito	SS residual	P
<b>Média global</b>	<b>19,4981</b>	<b>0,1567</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos Principais</i>			
<b>Conc. Açúcar</b>	<b>8,3370</b>	<b>0,1837</b>	<b>0,000</b>
<b>Conc. Sal</b>	<b>6,4743</b>	<b>0,1837</b>	<b>0,000</b>
<b>Temperatura</b>	<b>1,5575</b>	<b>0,1837</b>	<b>0,001</b>
<b>Tempo</b>	<b>4,6294</b>	<b>0,1837</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos de Interação</i>			
<b>Conc. Ac. × Conc. Sal</b>	<b>-1,2863</b>	<b>0,1837</b>	<b>0,005</b>
Conc. Ac×Temper.	0,2492	0,1837	0,512
Conc. Ac. × Tempo	0,0586	0,1837	0,876
Conc. Sal × Temper.	-0,0288	0,1837	0,940
Conc. Sal × Tempo	0,3798	0,1837	0,324
Temper. × Tempo	-0,3330	0,1837	0,384

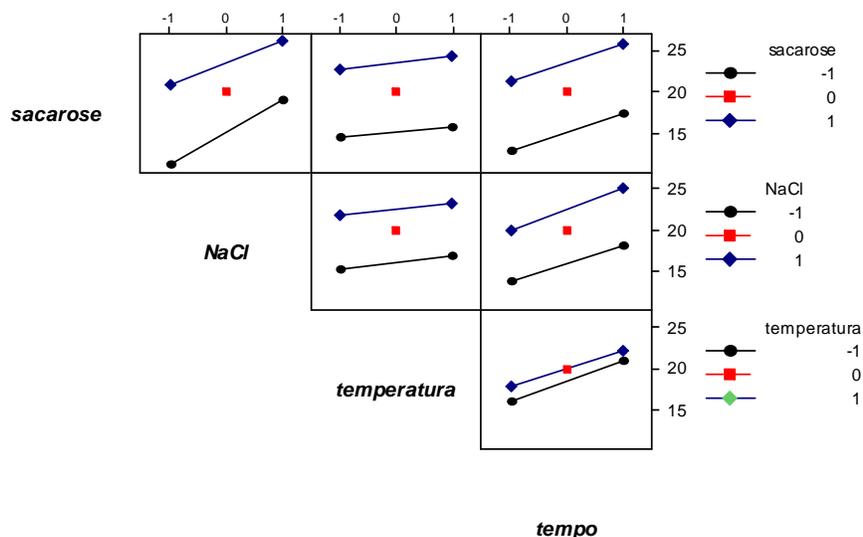


Figura 5.11-Gráfico da interação para a perda de peso para a desidratação osmótica de NaCl e sacarose.

Verifica-se que a interação entre concentração de NaCl e concentração de sacarose apresentaram efeito negativo na perda de peso, os quais podem ser visualizadas na Figura 5.11, que mostra que quando se passa de um nível mínimo para um nível máximo de concentração de sacarose, a perda de peso aumenta. No entanto, este aumento vai se tornando menor, conforme aumentamos a concentração de NaCl. A temperatura e o tempo apresentam efeitos positivos na perda de peso, sendo que o efeito do tempo é cerca de 3 vezes maior do que o da temperatura de desidratação osmótica.

Após eliminar os efeitos não significativos, foi verificada, através da Análise de Variância (ANOVA), a significância da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância, utilizando um teste F para o planejamento estudado, conforme Tabela 5.21.

Tabela 5.21- Análise de Variância (ANOVA) para a perda de peso durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	p	R <sup>2</sup>
Regressão	547,7361	5	109,5472	242,52	2,85	0,000	0,987
Resíduo	7,2274	16	0,4517				
Falta de ajuste	5,3762	11	0,4887	1,32	4,70	0,402	
Erro Puro	1,8512	5	0,3702				
Total	554,9635	21					

Analisando os valores obtidos na Tabela 5.21 observa-se que o modelo apresentou regressão significativa (**Fcalculado**  $\geq$  **F tabelado**), e falta de ajuste não significativa (**Fcalculado**  $<$  **F tabelado**). Portanto o modelo pode ser considerado preditivo. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido foi de 0,987, indicando que o modelo explicou 98,7% da variação dos dados experimentais. Para cada resposta foram construídas duas Figuras com as superfícies de reposta.

Observando a Figura 5.12, verifica-se que a maior perda de peso ocorreu na concentração de 40% de sacarose, independente da temperatura (a). Para os tempos de desidratação acima de 199min e concentração de sacarose acima de 39% (b) e na concentração de NaCl acima de 13% e de sacarose acima de 39% (c), ocorreu maior perda de peso.

Na Figura 5.13, observa-se que a maior perda de peso ocorreu na concentração de NaCl de 14%, independente da temperatura (5.16a). Com um tempo de desidratação acima de 216min e na temperatura acima de 28°C (5.16b) e na concentração de NaCl de 14% com tempo de desidratação acima de 165min (5.16c).

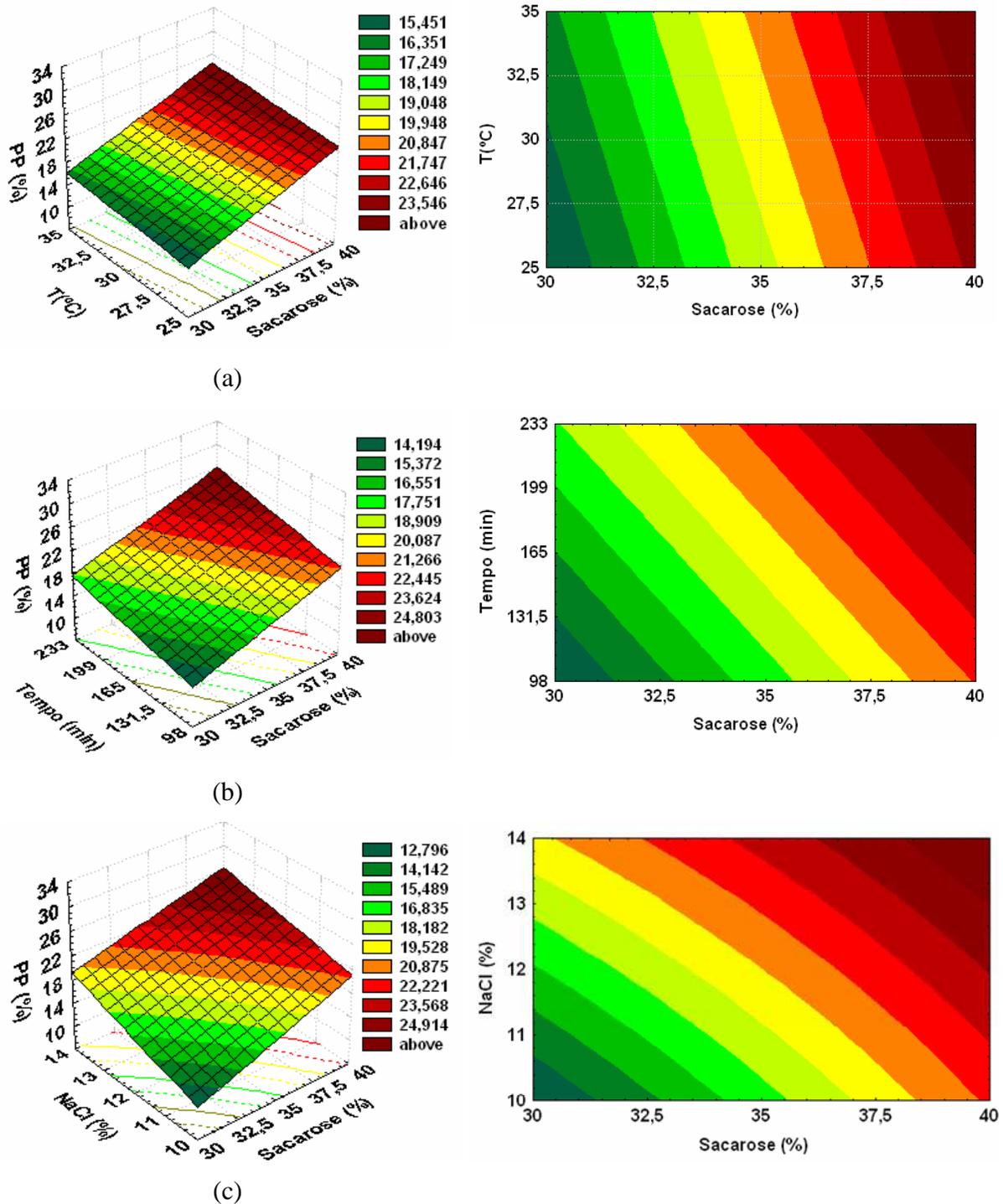


Figura 5.12– Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de peso da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de NaCl=12% (a), concentração de NaCl=12% e temperatura = 30°C (b), tempo=165min e temperatura = 30°C.

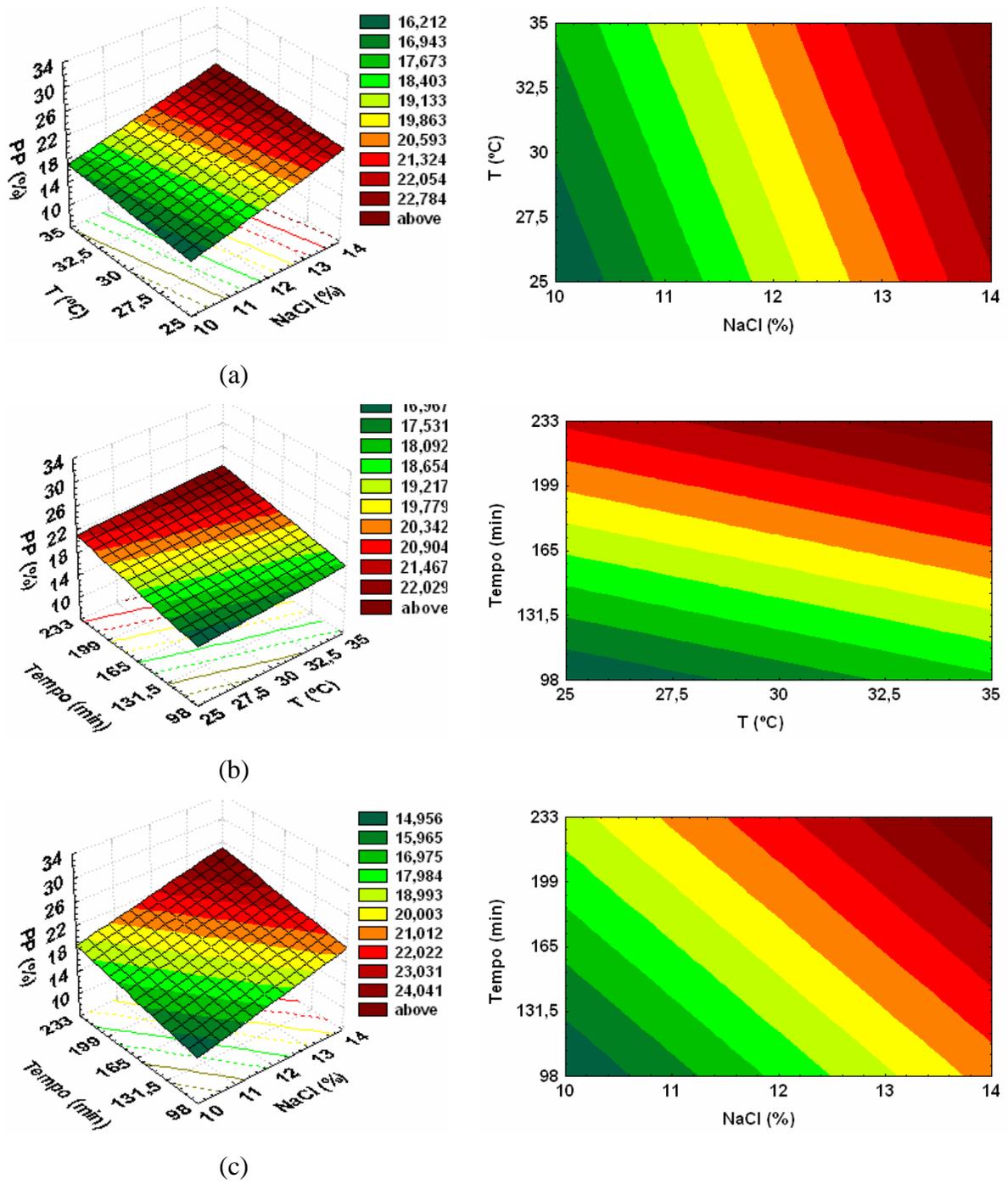


Figura 5.13-Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de peso da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de sacarose=30% (a), concentração de NaCl=12% e concentração de sacarose=30% (b), concentração de sacarose=30% e temperatura = 30°C (c).

### 5.3.2.2 Perda de água

Os efeitos dos fatores lineares e interações na perda de água (PA) da desidratação osmótica de filé de tilápia em solução de NaCl e sacarose são apresentados na Tabela 5.22, onde os valores em negrito são significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 5.22-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística para cada fator no modelo codificado para a perda de água na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e Sacarose.

Variáveis	Efeito	SS residual	P
<b>Média global</b>	<b>35,1873</b>	<b>0,1413</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos principais</i>			
<b>Conc. Açúcar</b>	<b>7,2002</b>	<b>0,1657</b>	<b>0,000</b>
<b>Conc. Sal</b>	<b>5,6223</b>	<b>0,1657</b>	<b>0,000</b>
<b>Temperatura</b>	<b>3,7549</b>	<b>0,1657</b>	<b>0,000</b>
<b>Tempo</b>	<b>9,3220</b>	<b>0,1657</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos de interação</i>			
<b>Conc. Ac. × Conc. Sal</b>	<b>-1,6506</b>	<b>0,1657</b>	<b>0,000</b>
<b>Conc. Ac. × Temper.</b>	<b>0,7984</b>	<b>0,1657</b>	<b>0,005</b>
<b>Conc. Ac. × Tempo</b>	<b>1,0430</b>	<b>0,1657</b>	<b>0,009</b>
<b>Conc. Sal × Temper.</b>	<b>-0,7235</b>	<b>0,1657</b>	<b>0,052</b>
Conc. Sal × Tempo	-0,1954	0,1657	0,568
<b>Temper. × Tempo</b>	<b>1,0006</b>	<b>0,1657</b>	<b>0,012</b>

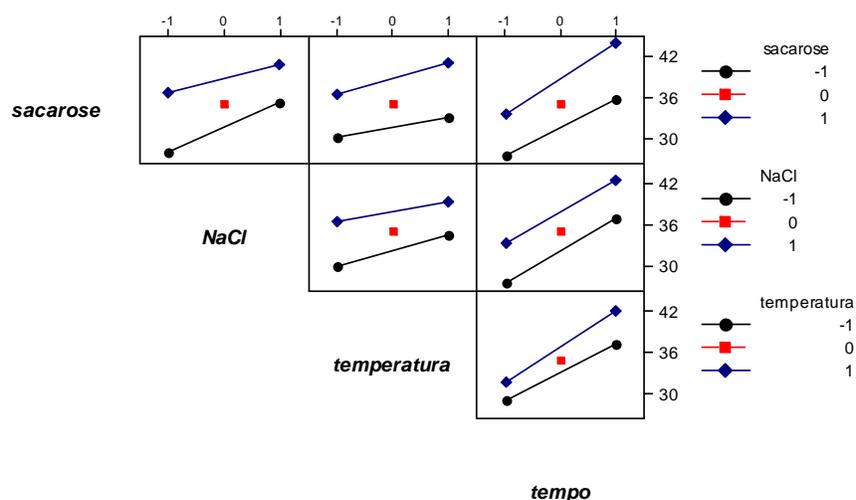


Figura 5.14-Gráfico de interação para a perda de água para a desidratação osmótica de NaCl e sacarose.

Observa-se na Tabela 5.22 que somente a interação entre a concentração de NaCl e tempo não são significativas, isto pode ser observado na Figura 5.14, onde verifica-se que as retas são paralelas para a concentração de NaCl e o tempo. As outras interações foram significativas para a PA.

Observando a Figura 5.14, verifica-se que quando se passa da concentração mais baixa de sacarose para a mais alta ocorre um aumento da perda de água, no entanto este aumento é menor na concentração de NaCl mais alta e maior na temperatura e no tempo de níveis mais altos. Quando se passa da concentração de NaCl mais baixa para a mais alta, ocorre um aumento da perda de água, a qual é maior na temperatura mais alta. Analisando a interação da temperatura verificamos que quando se passa da temperatura mais baixa para a mais alta ocorre um aumento da perda de água, o qual é maior na temperatura e tempo de níveis mais altos.

Pode-se verificar na Tabela 5.22 que a média global de perda de água foi de aproximadamente 35,19 ( $\pm 0,14\%$ ).

Após eliminar os efeitos não significativos, foi verificada, através da Análise de Variância (ANOVA), a significância da regressão e da falta de ajuste a 5%, utilizando um teste F para o planejamento estudado, conforme resultados apresentados na Tabela 5.23.

Tabela 5.23- Análise de Variância (ANOVA) para a perda de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	p	R <sup>2</sup>
Regressão	761,7104	9	84,6345	203,70	2,80	0,000	0,9935
Resíduo	4,9858	12	0,4155				
Falta de ajuste	3,2308	7	0,4615	1,31	4,88	0,396	
Erro Puro	1,7550	5	0,3510				
Total	766,6962	21					

Analisando os valores obtidos na Tabela 5.23 observa-se que o modelo apresentou regressão significativa (**F<sub>calculado</sub>  $\geq$  F<sub>tabelado</sub>**), e falta de ajuste não significativa (**F<sub>calculado</sub> < F<sub>tabelado</sub>**). Portanto o modelo pode ser considerado preditivo. O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) obtido foi de 0,9935, indicando que o modelo explicou 99,35% da variação dos dados experimentais.

Observando a Figura 5.15, verifica-se que a maior perda de água ocorreu na concentração de sacarose acima de 39% p/p e nas temperaturas acima de 33°C, no tempo acima de 199min e na concentração de NaCl acima de 13,5% p/p.

Na Figura 5.16, nota-se que a maior perda de água ocorreu na concentração de NaCl acima de 13% p/p e acima de 33°C (a), na temperatura acima de 34°C e no tempo acima de 216min (b) e na concentração de NaCl de 13% p/p e no tempo de desidratação acima de 216min (c).

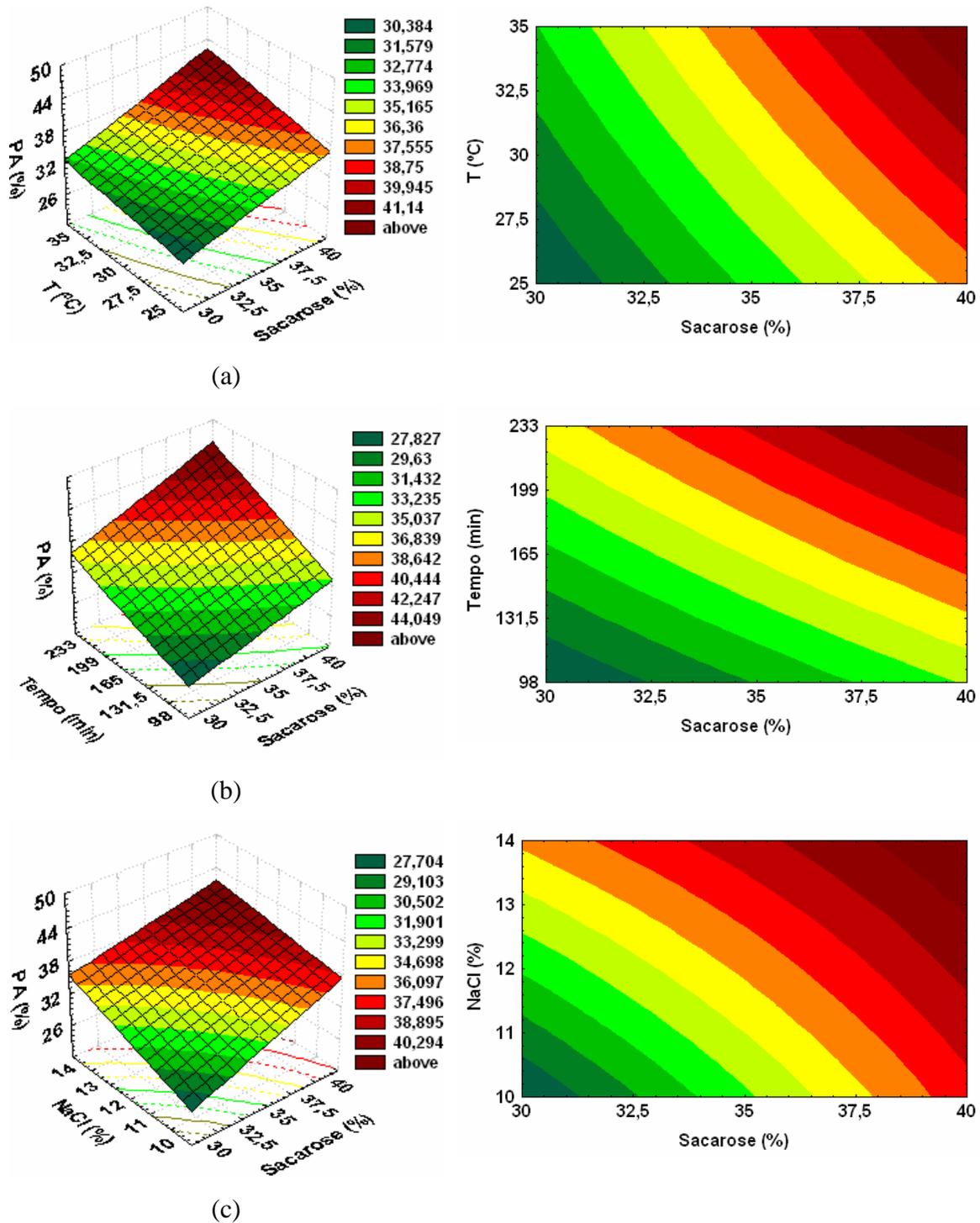


Figura 5.15–Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de NaCl=12% (a), concentração de NaCl=12% e temperatura = 30°C (b), tempo=165min e temperatura = 30°C (c).

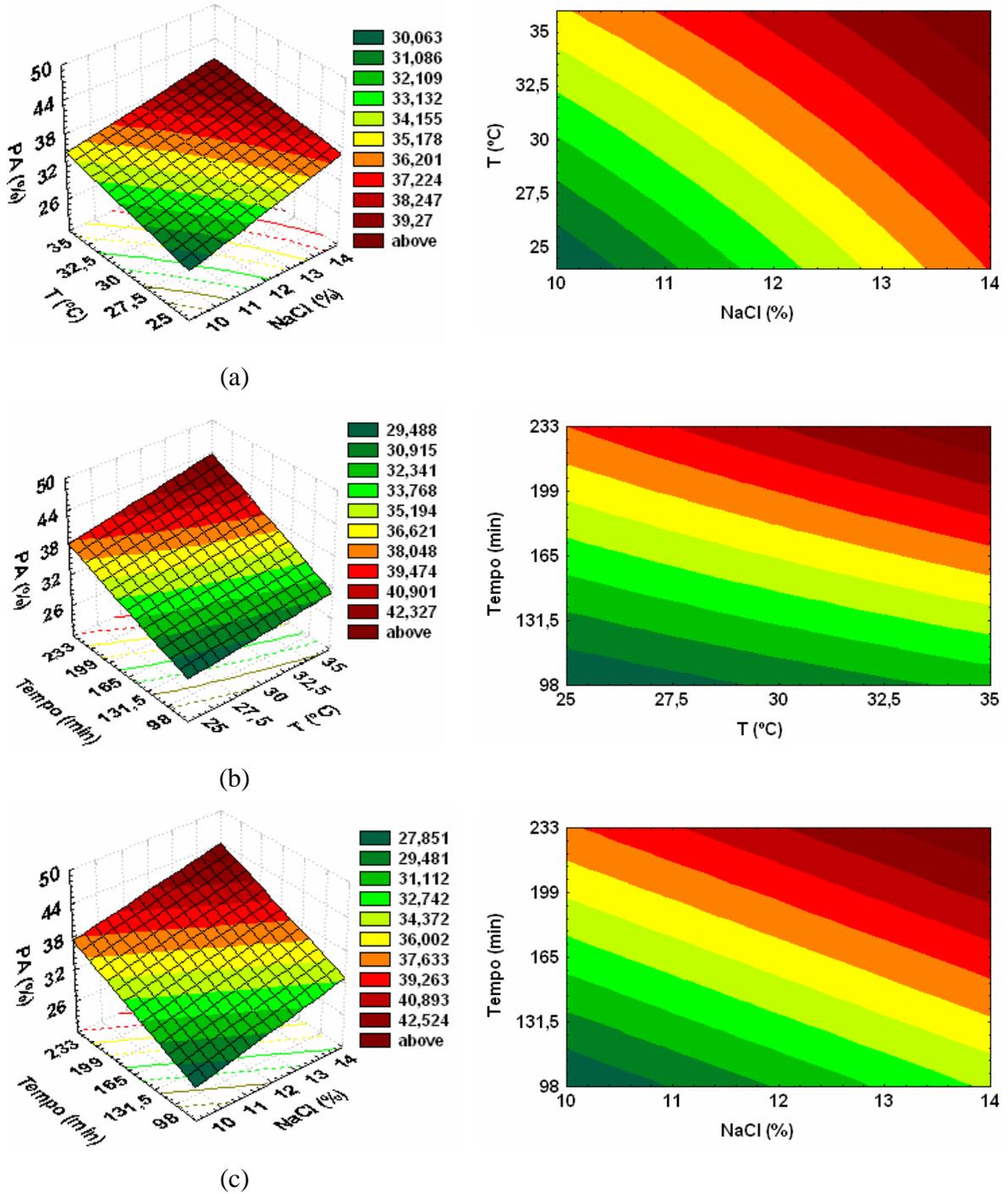


Figura 5.16–Superfícies de resposta e curva de nível para a perda de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de sacarose=30% (a), concentração de NaCl=12% e concentração de sacarose=30% (b), concentração de sacarose=30% e temperatura = 30°C (c).

### 5.3.2.3 Ganho de sólidos

Os efeitos dos fatores lineares e interações no ganho de sólidos (GS) da desidratação osmótica de filé de tilápia em solução de NaCl e sacarose são apresentados na Tabela 5.24, onde os valores em negrito são significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 5.24-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para o ganho de sólidos na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e Sacarose.

Variáveis	Efeito	SS residual	p
<b>Média global</b>	<b>15,6718</b>	<b>0,1541</b>	<b>0,0000</b>
<i>Efeitos Principais</i>			
<b>Conc. Açúcar</b>	<b>-1,1836</b>	<b>0,3616</b>	<b>0,007</b>
<b>Conc. Sal</b>	<b>-0,8988</b>	<b>0,3616</b>	<b>0,030</b>
<b>Temperatura</b>	<b>2,2442</b>	<b>0,3616</b>	<b>0,000</b>
<b>Tempo</b>	<b>4,6459</b>	<b>0,3616</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos de Interação</i>			
Conc. Ac. × Conc. Sal	-0,4119	0,3616	0,279
Conc. Ac. × Temper.	0,5967	0,3616	0,127
<b>Conc. Ac. × Tempo</b>	<b>0,9369</b>	<b>0,3616</b>	<b>0,025</b>
Conc. Sal × Temper.	-0,6471	0,3616	0,101
Conc. Sal × Tempo	-0,6227	0,3616	0,113
<b>Temper. × Tempo</b>	<b>1,3811</b>	<b>0,3616</b>	<b>0,003</b>

Pode-se verificar na Tabela 5.24 que a média global para o ganho de sólidos foi de aproximadamente 15,67 ( $\pm 0,15\%$ ). As interações concentração de sacarose  $\times$  tempo e temperatura  $\times$  tempo foram significativas a 5% de significância. Analisando a Figura 5.17, verifica-se que quando passo da temperatura de nível mais baixo (-1) para o mais alto ocorre um pequeno aumento no ganho de sólidos, o qual é bem mais acentuado na temperatura de maior tempo de desidratação. Quando se passa da concentração de nível mais baixo para o mais alto de concentração de sacarose, ocorre diminuição no ganho de sólidos, que aumenta com o aumento da temperatura.

A concentração de sal exerce um efeito negativo no ganho de sólidos, isto é quanto maior a concentração de sal, menor é o ganho de sólidos. Isto mostra o efeito barreira do

açúcar relatado por alguns autores (COLLIGNAN e RAOULT-WACK, 1994, BOLIN *et al.*, 1983, LENART e FLINK, 1984; BOHUON *et al.*, 1998)

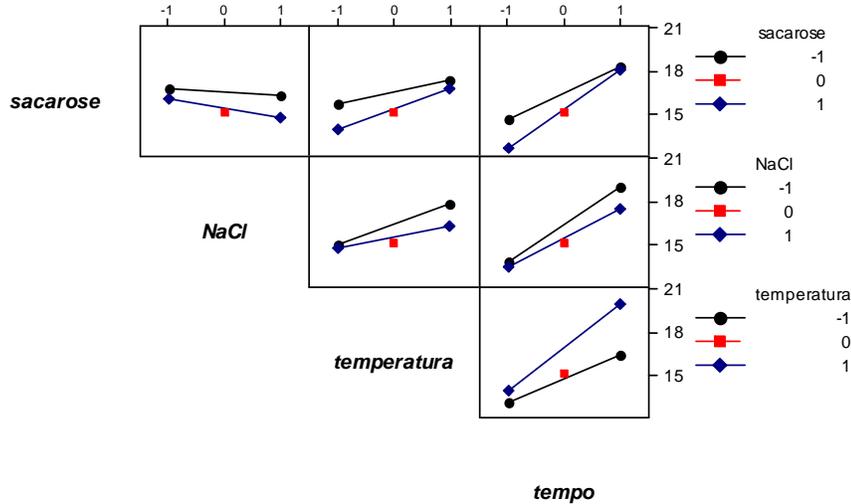


Figura 5.17-Gráfico da interação do ganho de sólidos para a desidratação osmótica de NaCl e sacarose.

Após eliminar os efeitos não significativos, foi verificada, através da Análise de Variância (ANOVA), a significância da regressão e da falta de ajuste a 5%, utilizando um teste F para o planejamento estudado, conforme Tabela 5.25.

Tabela 5.25- Análise de Variância (ANOVA) para a perda de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	p	R <sup>2</sup>
Regressão	126,4584	6	21,0764	28,54	2,79	0,000	0,919
Resíduo	11,0787	15	0,7386				
Falta de ajuste	9,8412	10	0,9841	3,98	4,74	0,070	
Erro Puro	1,2375	5	0,2475				
Total	137,5371	21					

Analisando os valores obtidos na Tabela 5.25 observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ( $F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabelado}}$ ), e falta de ajuste não significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ). Portanto o modelo pode ser considerado preditivo. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido foi de 0,919, indicando que o modelo explicou 91,9% da variação dos dados experimentais.

Observando a Figura 5.18(a), verifica-se que o menor ganho de sólidos ocorre na concentração de sacarose acima de 37,5% p/p, e em temperatura de até 27°C, na Figura 5.18(b) e (b) observa-se a mesma faixa de concentração de sacarose acima de 37,5% e com tempo entre 131,5 e 165min (Figura 5.18b), e concentração de NaCl acima de 13,5% p/p Figura 5.18(c).

Na Figura 5.19, nota-se que o menor ganho de sólidos ocorre na temperatura abaixo de 26,5°C com concentração de NaCl acima de 12,5% p/p (a), no tempo abaixo de 114min, independente da temperatura (b) e no tempo tempo abaixo de 114min com concentração de NaCl acima de 12%.

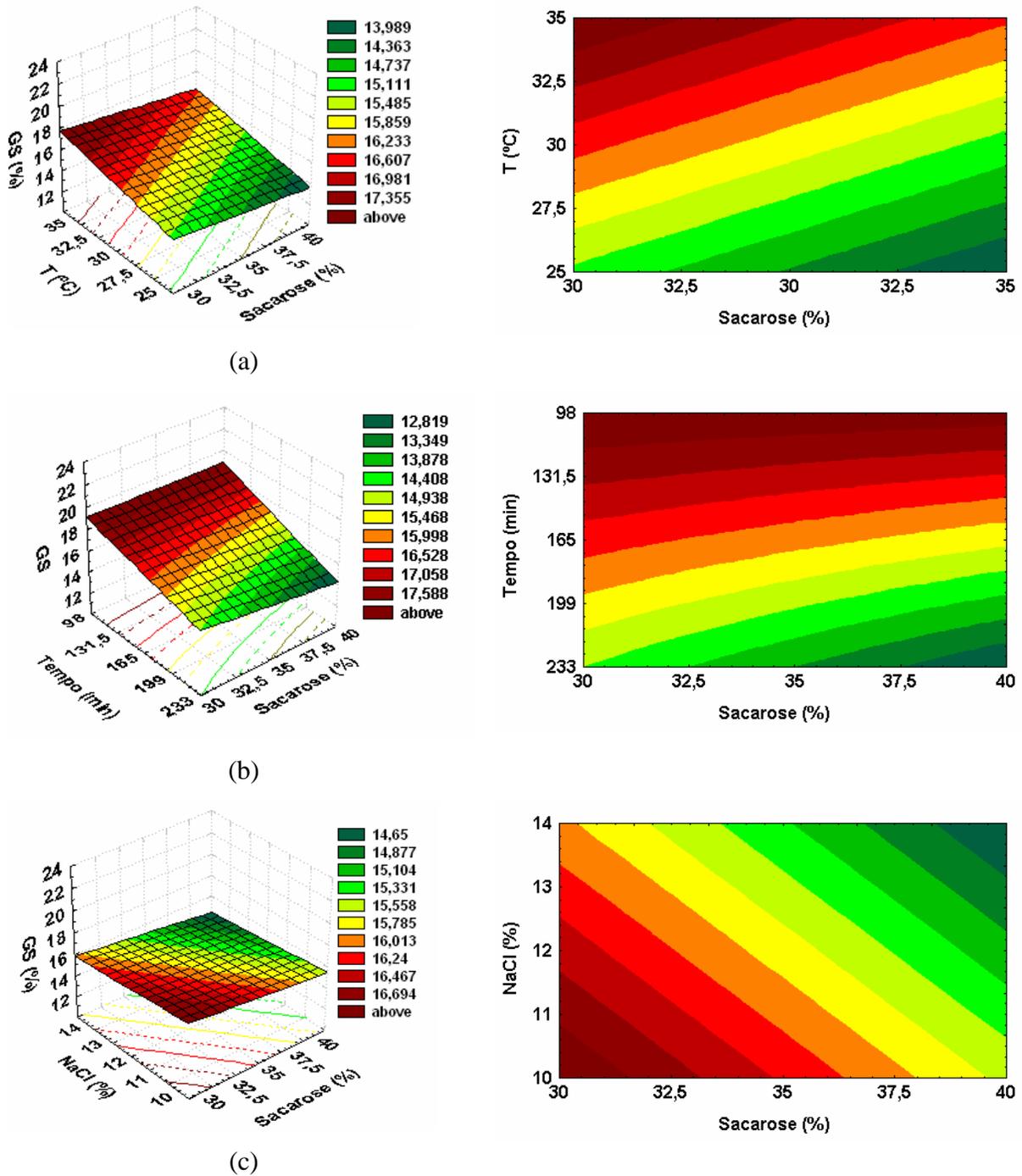


Figura 5.18 – Superfícies de resposta e curva de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de NaCl=12% (a), concentração de NaCl=12% e temperatura = 30°C (b), tempo=165min e temperatura = 30°C.

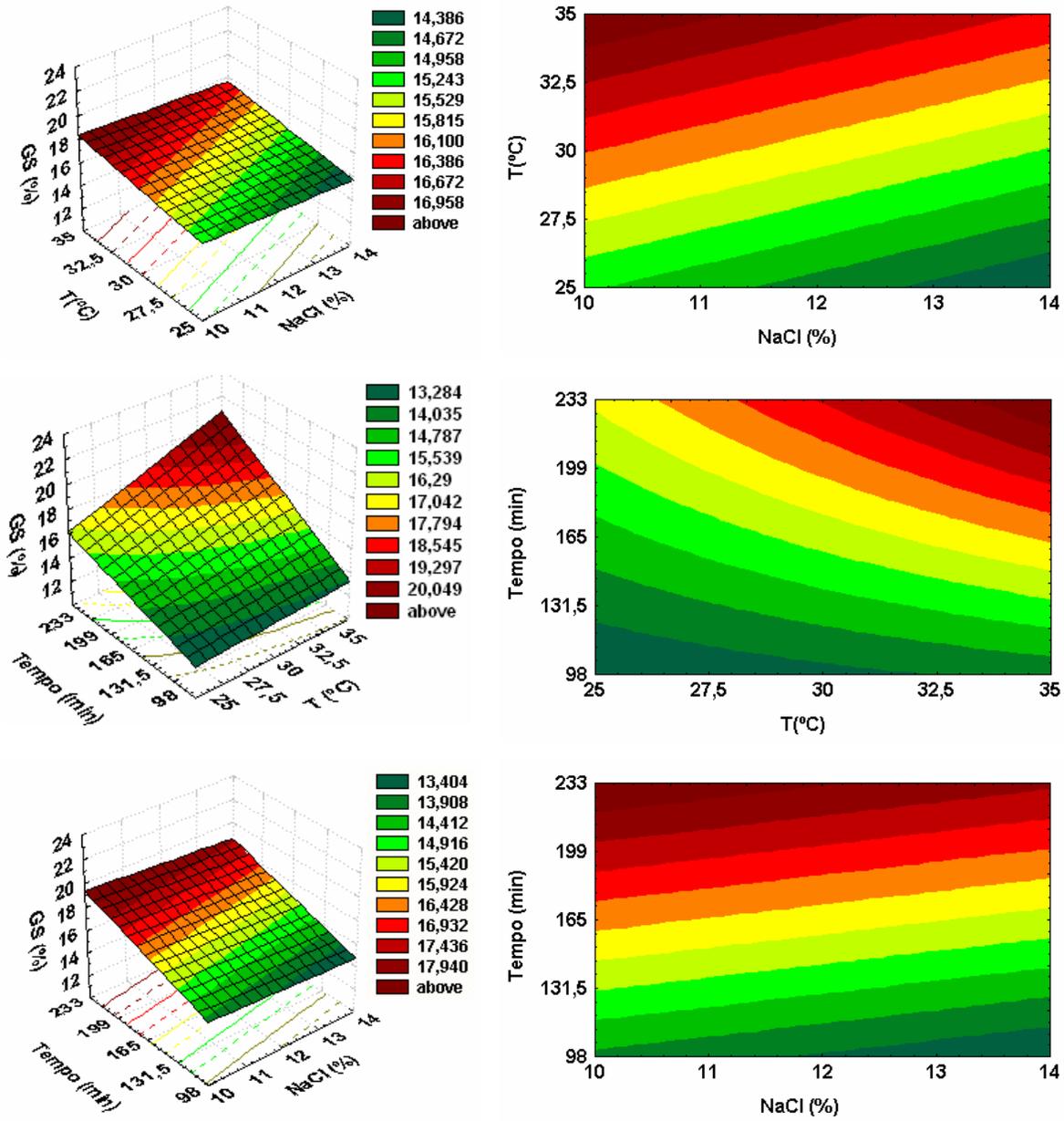


Figura 5.19–Superfícies de resposta e curva de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de sacarose=30% (a), concentração de NaCl=12% e concentração de sacarose=30% (b), concentração de sacarose=30% e temperatura = 30°C (c).

5.3.2.4 GS/PA

Os efeitos dos fatores lineares e interações da relação GS/PA da desidratação osmótica de filé de tilápia em solução de NaCl e sacarose são apresentados na Tabela 5.26, onde os valores em negrito são significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 5.26-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a relação GS/PA na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e Sacarose.

Variáveis	Efeito	SS residual	p
<b>Média global</b>	<b>0,4529</b>	<b>0,005</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos Principais</i>			
<b>Conc. Açúcar</b>	<b>-0,1377</b>	<b>0,024</b>	<b>0,000</b>
<b>Conc. Sal</b>	<b>-0,1051</b>	<b>0,024</b>	<b>0,000</b>
Temperatura	0,0118	0,024	0,349
Tempo	0,0067	0,024	0,592
<i>Efeitos de Interação</i>			
<b>Conc. Ac. × Conc. Sal</b>	<b>0,0333</b>	<b>0,024</b>	<b>0,018</b>
Conc. Ac. × Temper.	0,0115	0,024	0,361
<b>Conc. Ac. × Tempo</b>	<b>0,0313</b>	<b>0,024</b>	<b>0,025</b>
Conc. Sal × Temper.	-0,0046	0,024	0,709
Conc. Sal × Tempo	0,0005	0,024	0,969
Temper. × Tempo	0,0224	0,024	0,091

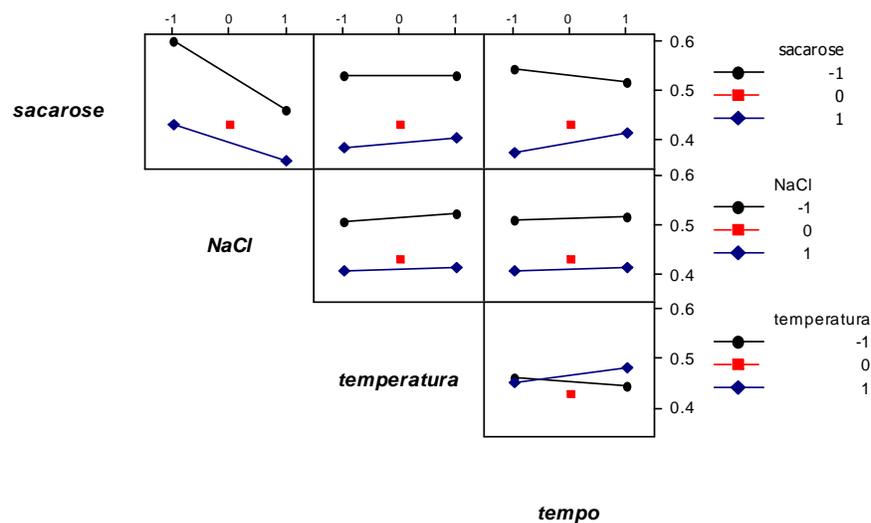


Figura 5.20-Gráfico de Interação da relação GS/PA para a desidratação osmótica de NaCl e sacarose.

Pode-se verificar na Tabela 5.26 que a média global para a relação GS/PA foi de aproximadamente 0,453 ( $\pm 0,005\%$ ).

Após eliminar os efeitos não significativos, foi verificada, através da Análise de Variância (ANOVA), a significância da regressão e da falta de ajuste a 5%, utilizando um teste F para o planejamento estudado, conforme Tabela 5.27 .

Tabela 5.27- Análise de Variância (ANOVA) para a relação GS/PA durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	p	R <sup>2</sup>
Regressão	0,1286	5	0,0257	42,83	2,85	0,000	0,931
Resíduo	0,0096	16	0,0006				
Falta de ajuste	0,0087	11	7,9e-4	4,39	4,70	0,057	
Erro Puro	0,0009	5	0,00018				
Total	0,1382	21					

Analisando os valores obtidos na Tabela 5.27, observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ( $F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabelado}}$ ), e falta de ajuste não significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ), portanto o modelo pode ser considerado preditivo. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido foi de 0,931, indicando que o modelo explicou 93,7% da variação dos dados experimentais.

Observando a Figura 5.21, verifica-se que a menor relação GS/PA ocorre na concentração de Sacarose acima de 39% p/p, independente da temperatura (a) e no tempo inferior a 114min (b), na concentração de sacarose de 40% p/p e na concentração de NaCl acima de 13%.

Na Figura 5.22 a menor relação GS/PA ocorre na concentração de NaCl acima de 13,6 %, independente da temperatura (b), no tempo inferior a 114min, independente da temperatura (b) e na concentração de NaCl acima de 13,6%, independente do tempo.

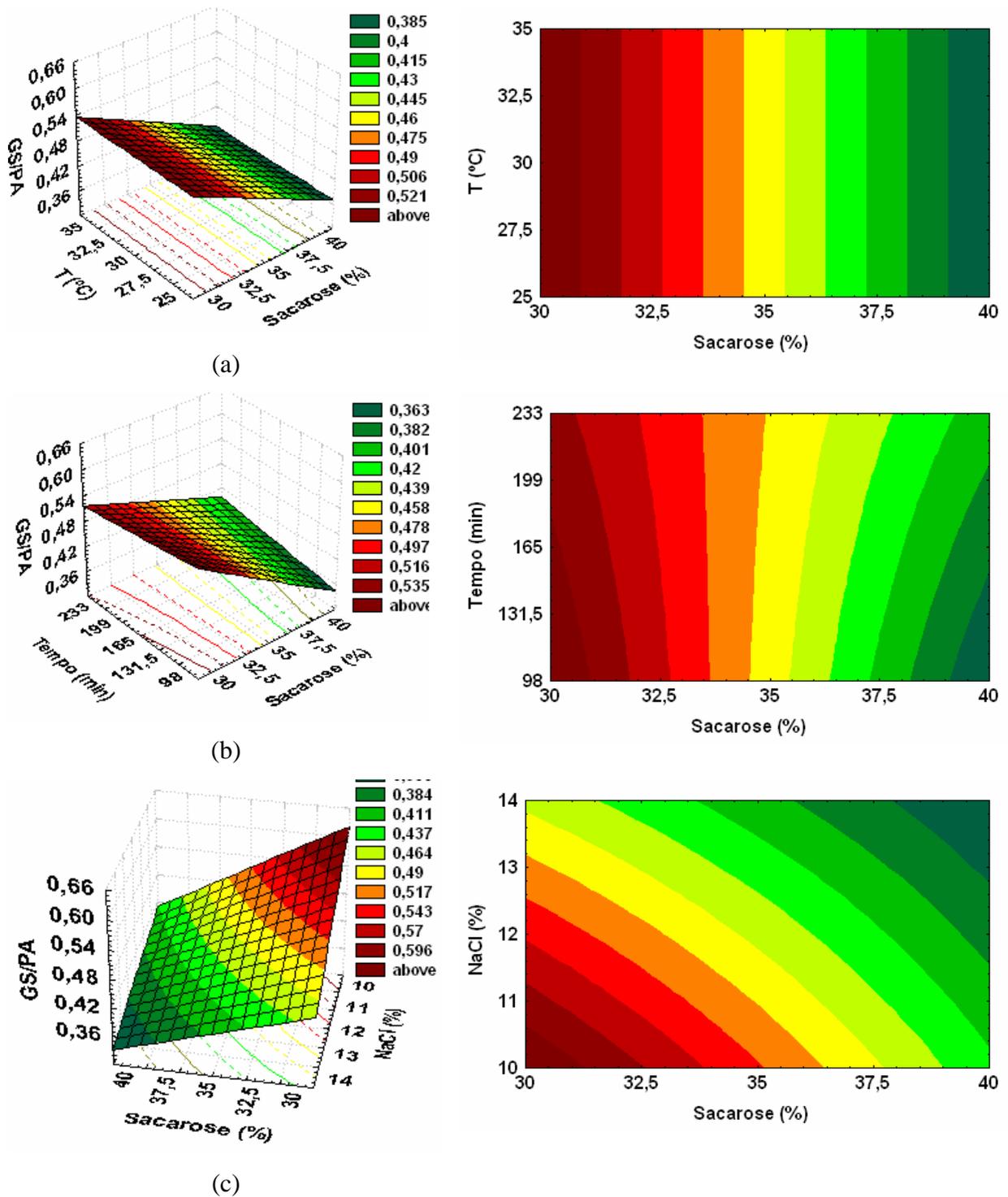


Figura 5.21 –Superfícies de resposta e curva de nível para a relação GS/PA da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de NaCl=12% (a), concentração de NaCl=12% e temperatura = 30°C (b), tempo=165min e temperatura = 30°C (c).

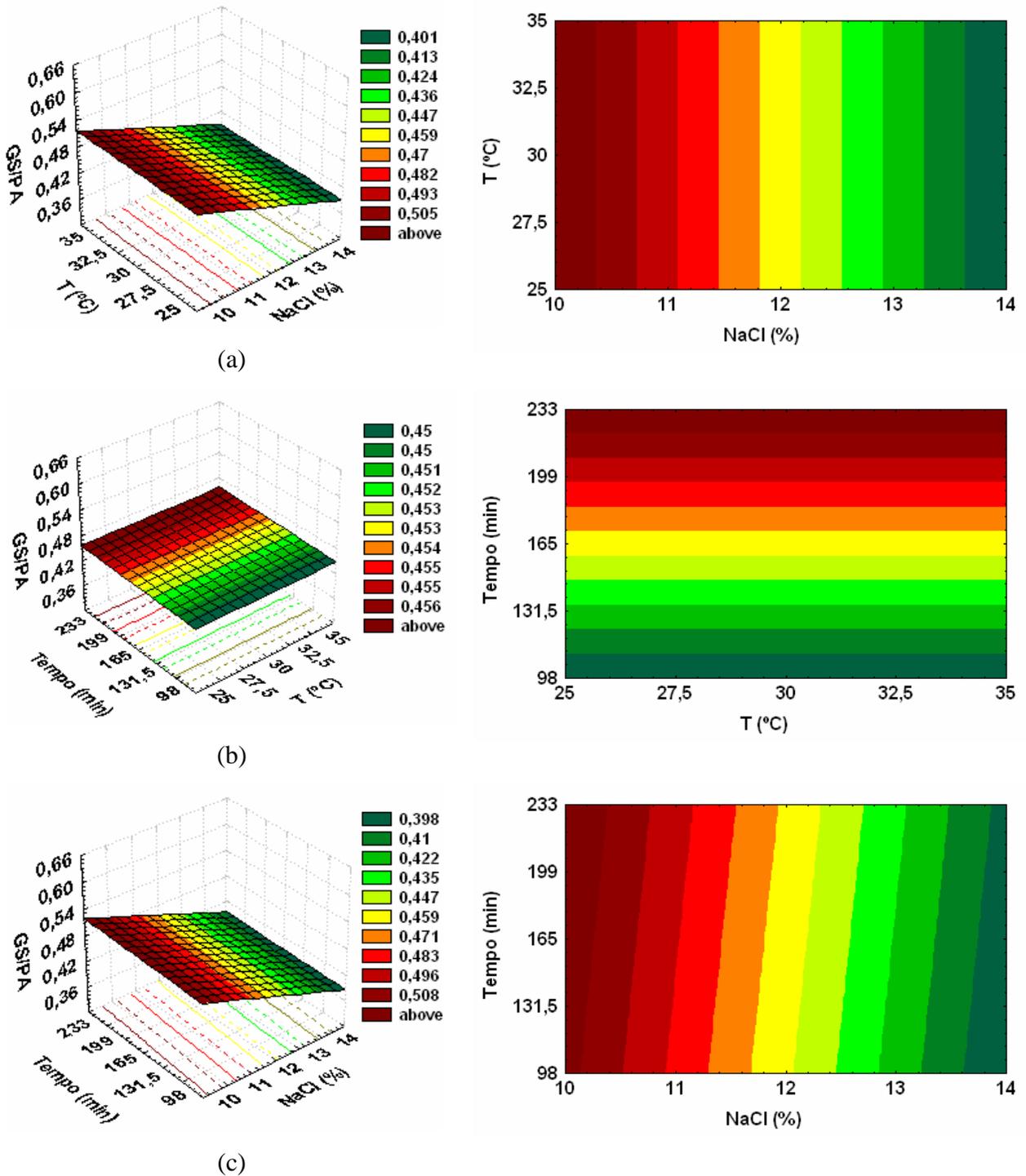


Figura 5.22– Superfícies de resposta e curva de nível para a relação GS/PA da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de sacarose=30% (a), concentração de NaCl=12% e concentração de sacarose=30% (b), concentração de sacarose=30% e temperatura = 30°C (c).

5.3.2.5 Atividade de água

Os efeitos dos fatores lineares e interações da atividade de água da desidratação osmótica de filé de tilápia em solução de NaCl e sacarose estão apresentados na Tabela 5.28, onde os valores em negrito são significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 5.28-Efeito estimado, SS residual, e significância estatística (p) para cada fator no modelo codificado para a atividade de água na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e Sacarose.

Variáveis	Efeito	SS residual	p
<b>Média global</b>	<b>0,8946</b>	<b>0,0009</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos Principais</i>			
<b>Conc. Açúcar</b>	<b>-0,0146</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,000</b>
<b>Conc. Sal</b>	<b>-0,0323</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,000</b>
<b>Temperatura</b>	<b>-0,0192</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,000</b>
<b>Tempo</b>	<b>-0,0300</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,000</b>
<i>Efeitos de Interação</i>			
Conc. Aç. × Conc. Sal	-0,0001	0,0020	0,955
Conc. Aç. × Temper.	-0,0010	0,0020	0,691
<b>Conc. Aç. × Tempo</b>	<b>-0,0079</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,004</b>
<b>Conc. Sal × Temper.</b>	<b>-0,0070</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,008</b>
<b>Conc. Sal × Tempo</b>	<b>-0,0059</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,016</b>
Temper. × Tempo	-0,0013	0,0020	0,610

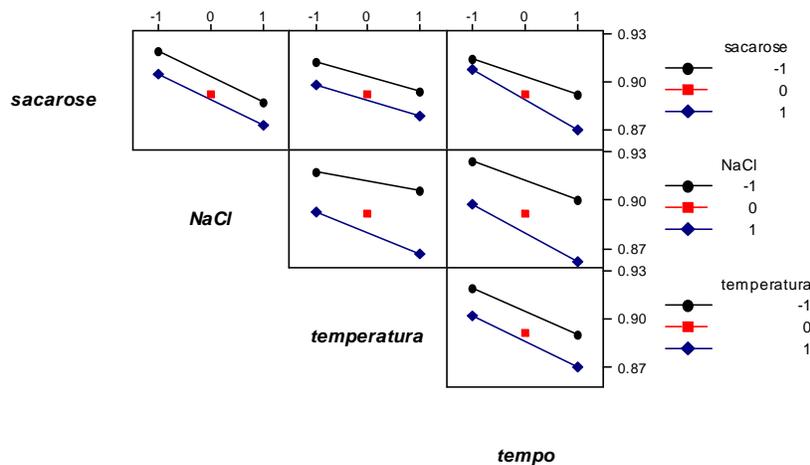


Figura 5.23-Gráfico de interação para a atividade de água para a desidratação de filés de tilápia em solução de NaCl e sacarose.

Pode-se verificar na Tabela 5.28 que a média global para a atividade de água foi de aproximadamente 0,8946 ( $\pm 0,0009\%$ ). As interações concentração de sacarose $\times$ tempo, concentração de NaCl $\times$ tempo e concentração de NaCl $\times$ temperatura foram significativos a 5% de significância. Estes efeitos de interação podem ser visualizados na Figura 5.23. Observa-se que, quando se passa da concentração de sacarose mais baixa (-1) para a mais alta (+1), ocorre uma leve diminuição da atividade de água. Esta diferença é muito maior no nível mais alto (+1) de tempo. Quando se passa da concentração de NaCl mais baixa (-1) para a mais alta (+1), ocorre uma diminuição da atividade de água, que é mais acentuada no nível mais elevado (+1) das variáveis tempo e temperatura.

Após eliminar os efeitos não significativos, foi verificada, através da Análise de Variância (ANOVA), a significância da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância, utilizando um teste F para o planejamento estudado, conforme Tabela 5.29.

Tabela 5.29- Análise de Variância (ANOVA) para a atividade de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>	p	R <sup>2</sup>
Regressão	0,0107	7	1,53E-03	99,44	2,76	0,000	0,980
Resíduo	0,0002	14	1,54E-05				
Falta de ajuste	0,0002	9	1,86E-05	1,93	4,77	0,243	
Erro Puro	0,0000	5	9,60E-06				
Total	0,0109	21					

Analisando os valores obtidos na Tabela 5.29, observa-se que o modelo apresentou regressão significativa ( $F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabelado}}$ ), e falta de ajuste não significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ). Portanto o modelo pode ser considerado preditivo. O modelo explicou 98,0% da variação dos dados experimentais.

Observando a Figura 5.24, verifica-se que a menor atividade de água ocorre na concentração de sacarose acima de 38,5% p/p e na temperatura acima de 33°C (a), e no tempo acima de 219min (b), e na concentração de sacarose acima de 38% p/p e concentração de NaCl acima de 13,8%. Na Figura 5.25 observa-se que a menor atividade de água ocorre na temperatura acima de 33°C e concentração de NaCl de 14% p/p (a), tempo acima de 219min e temperatura acima de 35°C (b), concentração de NaCl de 14% e tempo acima de 219min (c).

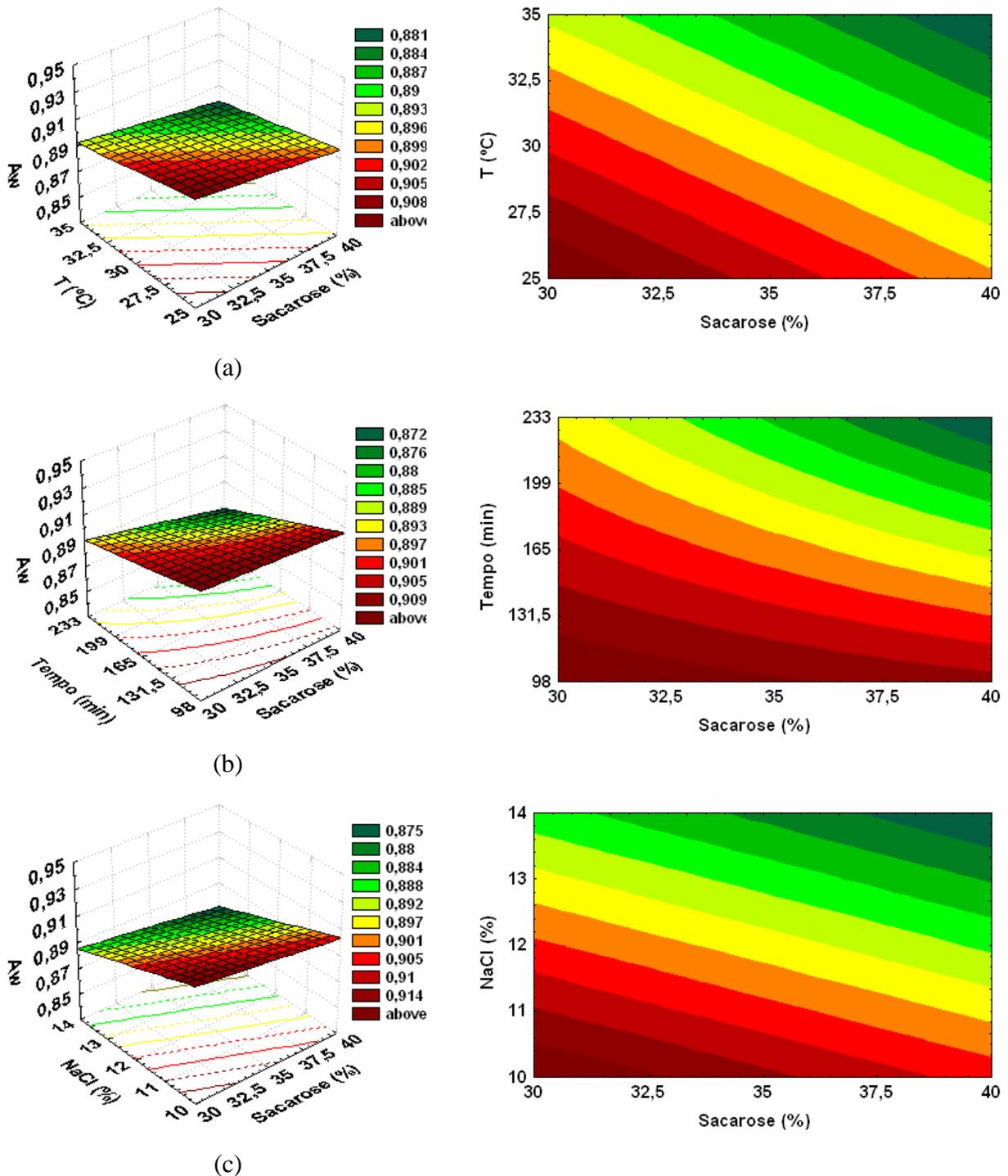


Figura 5.24—Superfícies de resposta e curva de nível para a atividade de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de NaCl=12% (a), concentração de NaCl=12% e temperatura = 30°C (b), tempo=165min e temperatura = 30°C (c).

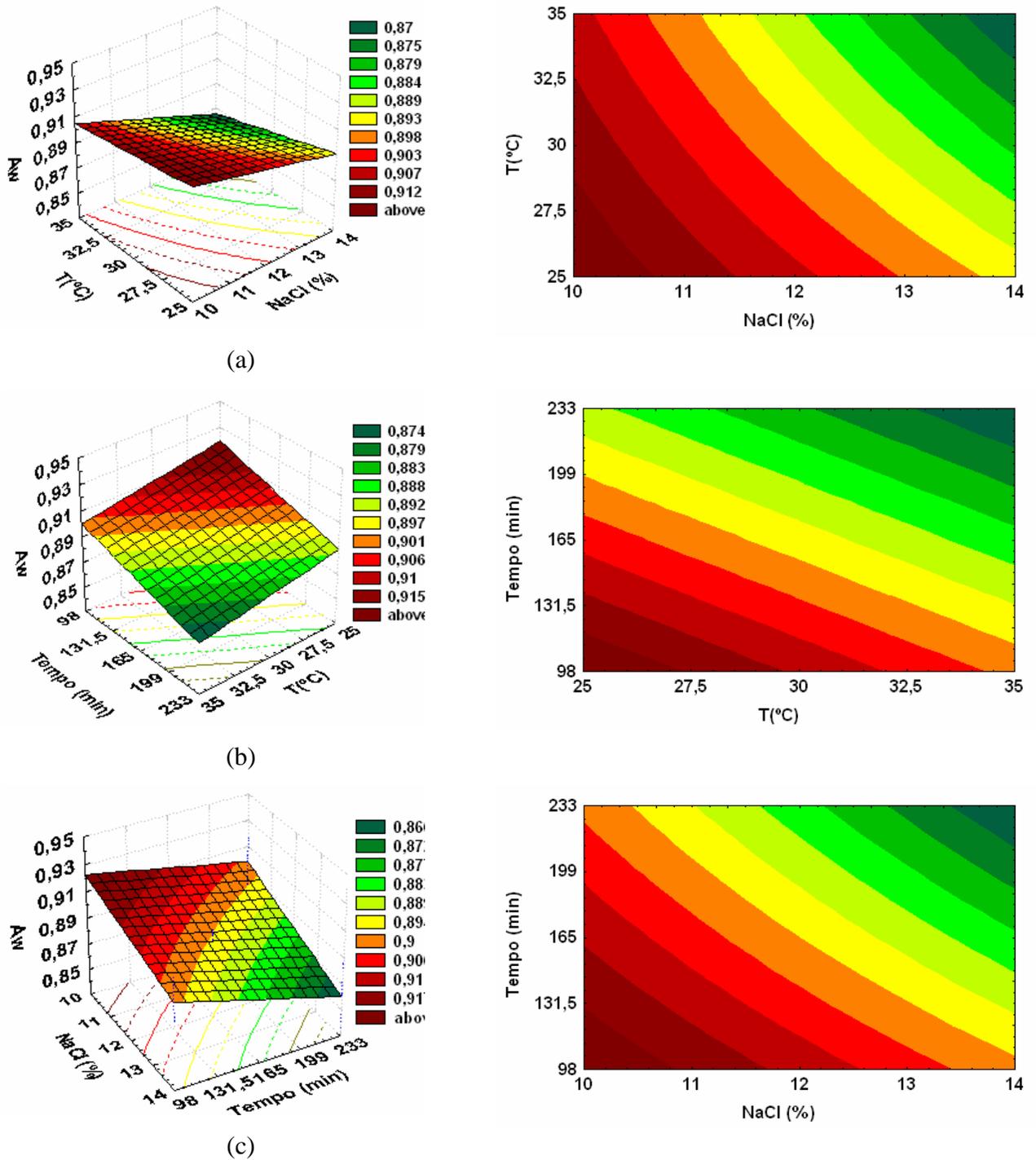


Figura 5.25–Superfícies de resposta e curva de nível para a atividade de água da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose a: tempo=165min e concentração de sacarose=30% (a), concentração de NaCl=12% e concentração de sacarose=30% (b), concentração de sacarose=30% e temperatura = 30°C (c).

### 5.3.2.6 Modelo Estatístico

A Tabela 5.30 mostra os coeficientes codificados de regressão de primeira ordem do modelo estatístico obtido para as respostas da desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose.

Tabela 5.30–Coeficientes do modelo estatístico para a perda de peso, perda de água, ganho de sólidos, GS/PA e atividade de água durante a desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl e sacarose.

Coeficientes	PP	PA	GS	GS/PA	$a_w$
$\beta_0$	19,4981	35,1873	15,6718	0,4529	0,8946
$\beta_1$	4,1685	3,6001	-0,5918	-0,0689	-0,0073
$\beta_2$	3,2372	2,8112	-0,4494	-0,0526	-0,0162
$\beta_3$	0,7787	1,8775	1,1221	ns	-0,0096
$\beta_4$	2,3147	4,6610	2,3229	0,0033	-0,0150
$\beta_{12}$	-0,6431	-0,8253	ns	0,0167	ns
$\beta_{13}$	ns	0,3992	ns	ns	ns
$\beta_{14}$	ns	0,5215	0,4685	0,0156	-0,0040
$\beta_{23}$	ns	-0,3617	ns	ns	-0,0035
$\beta_{24}$	ns	ns	ns	ns	-0,0029
$\beta_{34}$	ns	0,5003	0,6905	ns	ns

ns: não significativo a 5% de significância.

### 5.3.2.7 Otimização

A Figura 5.26 e a Figura 5.27 mostram a sobreposição das curvas de contorno GS/PA e atividade de água para as amostras de tilápia desidratadas osmoticamente com solução de sacarose e NaCl.

O gráfico GS/PA está representado através de áreas, enquanto que no gráfico de atividade de água, suas áreas estão delimitadas através de linhas.

Nas Figuras observa-se uma região de cor branca, considerada ótima para o estudo, por ser uma região onde se obtém produtos com maior perda de água, menor ganho de sólidos e menor atividade de água.

Dentro da faixa de trabalho escolhida, que varia de 0,362 a 0,453 para GS/PA e 0,879 a 0,884 de atividade de água, da Figura 5.26 e Figura 5.27 optou-se por trabalhar com

a seguinte condição ótima: temperatura de 34°C, concentração de NaCl de 13%, tempo de 185min e concentração de sacarose de 37%.

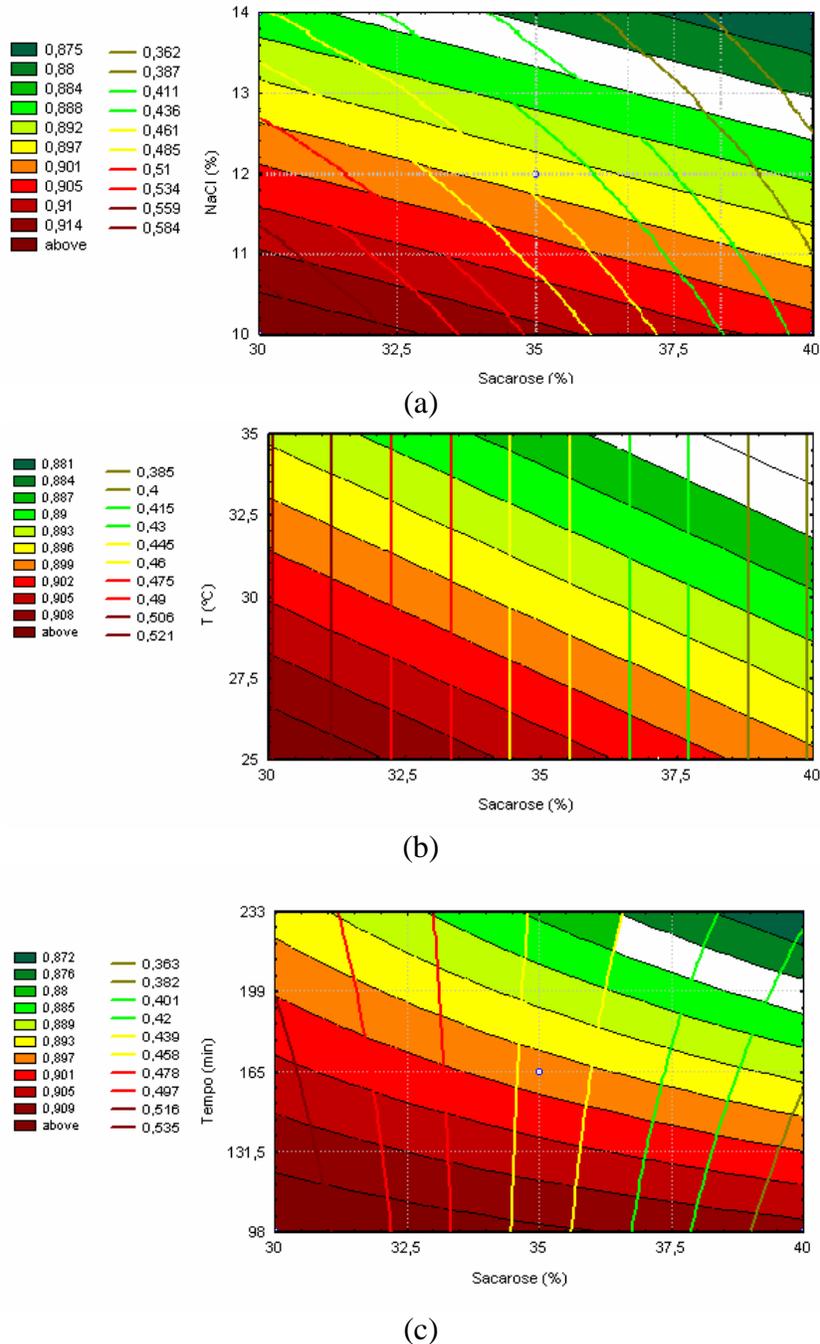
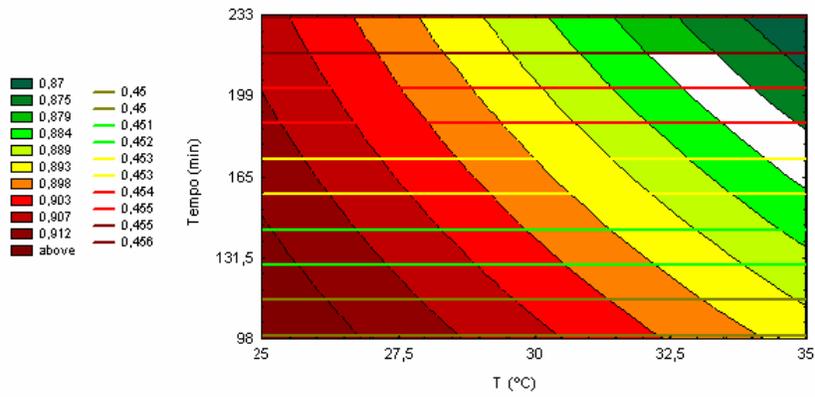
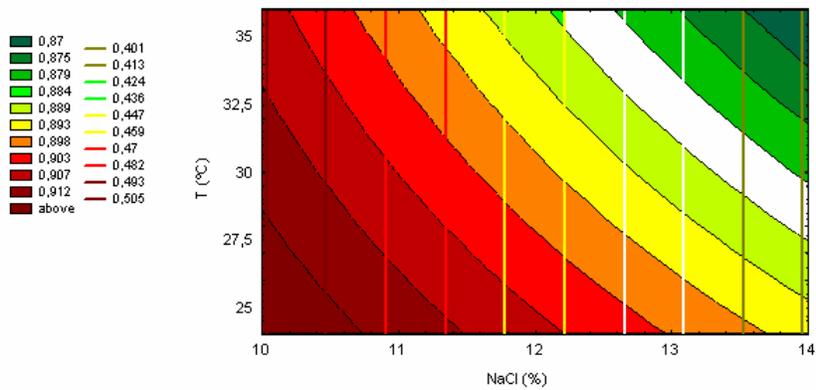


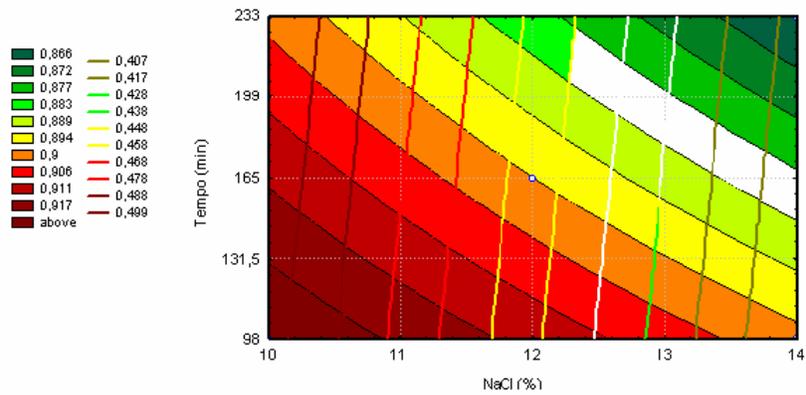
Figura 5.26-Sobreposição das curvas de contorno GS/PA e atividade de água ( $A_w$ ) na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl+sacarose (a) temperatura de 30°C e tempo 165min, (b) Concentração NaCl 12%, tempo 165min, (c) Concentração de NaCl 12% e temperatura de 30°C.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.27 - Sobreposição das curvas de contorno GS/PA e atividade de água ( $A_w$ ) na desidratação osmótica de tilápia em solução de NaCl+sacarose (a) temperatura concentração NaCl 12%, concentração de sacarose 30%, (b) Concentração de sacarose 30%, tempo 165min, (c) Concentração de sacarose 30% e temperatura de 30°C.

### 5.3.3 Cinética de Desidratação Osmótica para as Condições Otimizadas

As curvas de cinética de desidratação osmótica em solução binária para o filé de tilápia desidratada na condição ótima, ou seja, temperatura de 34°C e concentração de NaCl de 24,6%, e em solução ternária, temperatura de 34°C, concentração de NaCl de 13%, e concentração de sacarose de 37%, estão apresentadas na Figura 5.28.

Observa-se que os níveis de perda de água são mais elevados que os de ganho de sólidos e que a perda de água para a solução ternária é superior à binária. O ganho de sólidos tende a se estabilizar logo na primeira hora de desidratação, enquanto que a perda de água somente após a segunda hora de processo. Estas observações foram também relatadas por (RAOULT-WACK *et al.*, 1994).

De acordo com ZAITEV *et al.* (2004), em todos os tipos de salga, exceto salga leve em salmoura fraca, a perda de água do peixe ultrapassa em muito a quantidade de sal que penetra, de tal forma que seu peso diminui. Se todas as condições são iguais, o peso da água perdida é proporcional à quantidade de água contida no músculo do peixe.

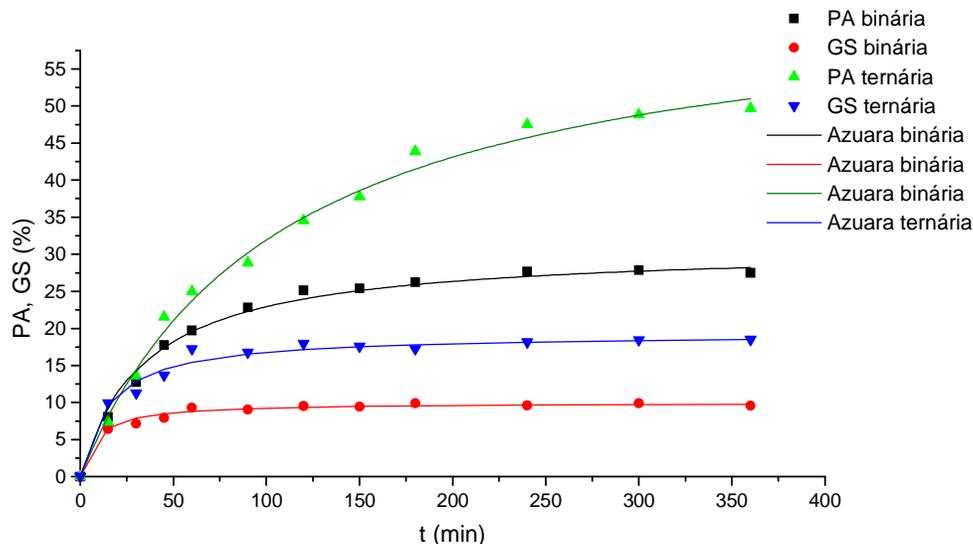


Figura 5.28-Cinética de perda de água e ganho de sólidos na condição ótima de desidratação osmótica do filé de tilápia com solução binária e ternária.

### 5.3.3.1 Ajuste de desidratação osmótica

Considerando que a amostra possui uma geometria de placa plana infinita, os modelos de AZUARA *et al.* (1992), PELEG (1988), PAGE (1949) e Fick foram usados para determinar alguns parâmetros, através do ajuste não-linear aos dados experimentais. Foram utilizados 4 termos da série infinita para o modelo de Fick, sendo esta quantidade que gerou o melhor ajuste em relação à equação utilizada.

As Figura 5.29 a Figura 5.32 mostram os resultados através dos modelos de AZUARA *et al.* (1992), PELEG (1988), PAGE (1949) e Fick para a perda de água e para o ganho de sólidos das condições otimizadas.

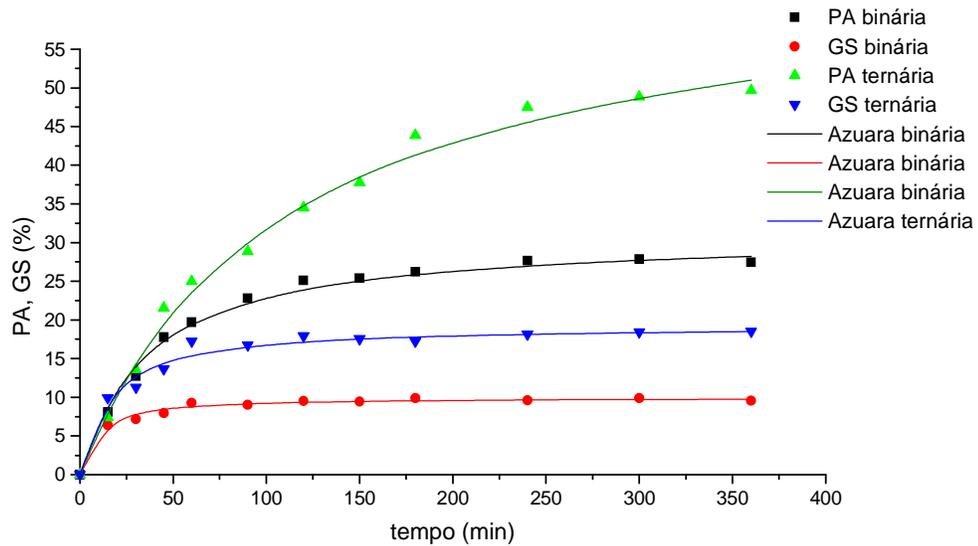


Figura 5.29—Ajuste do modelo de AZUARA *et al.* (1992) para a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias de tilápia em solução binária e ternária.

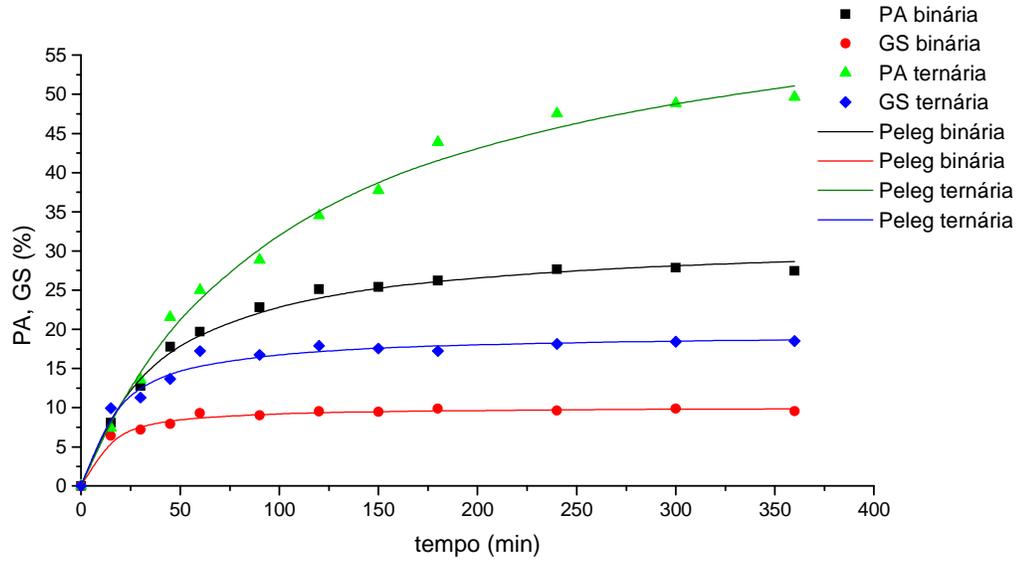


Figura 5.30—Ajuste do modelo de PELEG (1988) para a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias de tilápia em solução binária e ternária

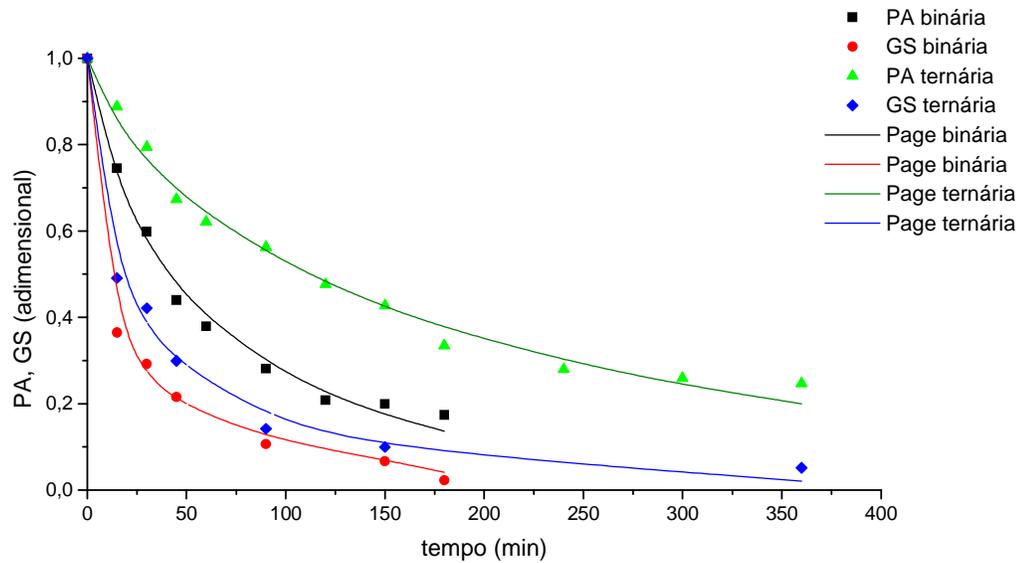


Figura 5.31—Ajuste do modelo de PAGE (1949) para a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias de tilápia em solução binária e ternária.

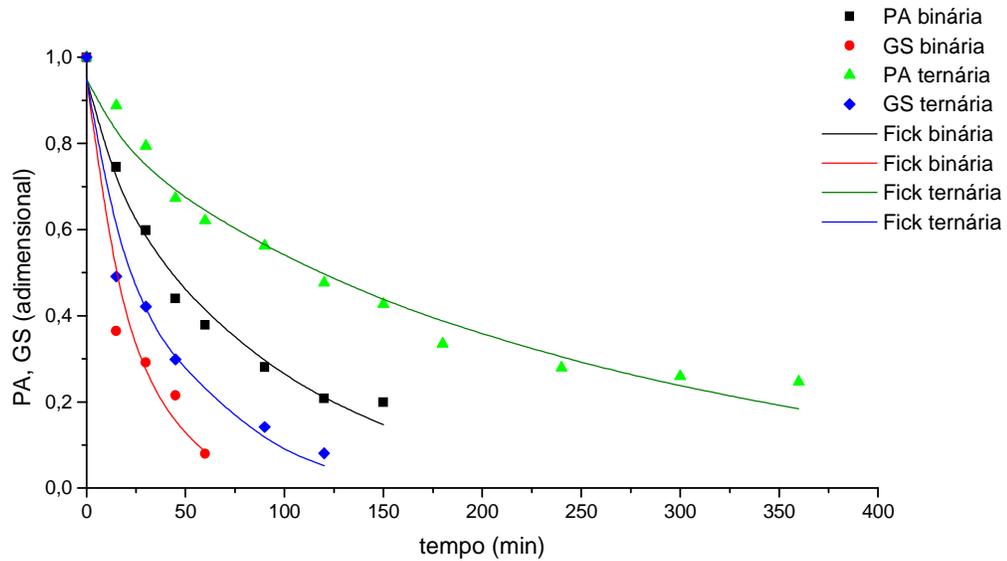


Figura 5.32–Ajuste do modelo de Fick para a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias de tilápia em solução binária e ternária.

A Tabela 5.31 mostra os parâmetros de ajuste obtidos pelos modelos de Azuara e colaboradores, Peleg, Page e Fick para a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de tilápia. Os dados de equilíbrio utilizados no modelo de Page e Fick foram valores encontrados através da predição do modelo de Peleg.

Tabela 5.31-Parâmetros de ajuste obtidos do modelo de AZUARA *et al.* (1992), PELEG (1988), PAGE (1949) e Fick durante a desidratação osmótica de tilápia em solução binária e ternária.

<b>SOLUÇÃO BINÁRIA</b>						
<b>Perda de água</b>						
<b>AZUARA</b>	<b>S<sub>1</sub></b>		<b>Pa<sub>eq</sub> (%)</b>	<b>Def ×10<sup>10</sup> (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	0,0280		30,96	4,00	0,9974	4,06
<b>PELEG</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>Pa<sub>eq</sub> (%)</b>		<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	1,2056	0,03151	31,73		0,9870	3,53
<b>PAGE</b>	<b>K</b>	<b>b</b>			<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	0,0146	0,7144			0,9905	7,89
<b>FICK</b>				<b>Def ×10<sup>10</sup> (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
				4,80	0,9810	7,86
<b>Ganho de sólidos</b>						
<b>AZUARA</b>	<b>S<sub>1</sub></b>		<b>Gs<sub>eq</sub> (%)</b>	<b>Def ×10<sup>10</sup> (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	0,1274		9,97	8,66	0,9987	3,19
<b>PELEG</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>Gs<sub>eq</sub> (%)</b>		<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	0,9581	0,0988	10,12		0,9253	3,04
<b>PAGE</b>	<b>K</b>	<b>B</b>			<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	0,0617	0,4396			0,9883	6,30
<b>FICK</b>				<b>Def ×10<sup>10</sup> (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
				0,16	0,9692	15,54
<b>SOLUÇÃO TERNÁRIA</b>						
<b>Perda de água</b>						
<b>AZUARA</b>	<b>S<sub>1</sub></b>		<b>Pa<sub>eq</sub> (%)</b>	<b>Def ×10<sup>10</sup> (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	0,0093		66,23	1,57	0,9911	4,18
<b>PELEG</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>Pa<sub>eq</sub> (%)</b>		<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	1,5852	0,0150	65,93		0,9937	4,46
<b>PAGE</b>	<b>K</b>	<b>b</b>			<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	0,0054	0,7202			0,9886	3,44
<b>FICK</b>				<b>Def ×10<sup>10</sup> (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
				1,73	0,9873	7,62
<b>Ganho de sólidos</b>						
<b>AZUARA</b>	<b>S<sub>1</sub></b>		<b>Gs<sub>eq</sub> (%)</b>	<b>Def ×10<sup>10</sup> (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	0,0673		19,26	6,64	0,9985	3,54
<b>PELEG</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>Gs<sub>eq</sub> (%)</b>		<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	0,8240	0,0513	19,49		0,9777	3,77
<b>PAGE</b>	<b>K</b>	<b>b</b>			<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
	0,0314	0,5563			0,9941	8,10
<b>FICK</b>				<b>Def ×10<sup>10</sup> (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E (%)</b>
				9,64	0,9765	19,19

Nas Figura 5.29 e Figura 5.30 observa-se que tanto para a solução binária quanto para a ternária, os modelos de AZUARA *et al.* (1992) e PELEG (1988) são muito semelhantes, isto pode também ser verificado através dos valores dos parâmetros obtidos para ambos os modelos que estão apresentados na Tabela 5.31. Ambos apresentaram um erro relativo médio menor que 4,5%, segundo LOMAURO *et al.* (1985), um erro relativo médio abaixo de 10% é considerado um bom ajuste. O modelo de AZUARA *et al.* (1992) conseguiu explicar melhor a variação dos dados experimentais com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,99 para perda de água e o ganho de sólidos, para as duas soluções utilizadas, e o modelo de PELEG (1988) apresentou para a solução binária um coeficiente de determinação de 0,9870 e 0,9253 para a perda de água e o ganho de sólidos, respectivamente, e para a solução ternária 0,9937 e 0,9777 para a perda de água e o ganho de sólidos, respectivamente. Para a solução binária, o modelo de PELEG (1988) apresentou um erro relativo levemente inferior ao de AZUARA *et al.* (1992) e para a solução ternária AZUARA *et al.* (1992) apresentou um erro relativo levemente inferior ao de PELEG (1988). Os dois modelos apresentaram uma boa predição dos dados do ganho de sólidos e perda de água no equilíbrio.

Os modelos de PAGE (1949) e Fick estão apresentados nas Figura 5.32 e Figura 5.33. No modelo de Fick o ajuste aos dados experimentais não ocorreu de forma satisfatória para o ganho de sólidos das soluções binária e ternária, apresentando um erro relativo médio em torno de 15,54% e 19,19% respectivamente e em torno de 8% para a perda de água das duas soluções. Para a perda de água o ajuste pelo modelo de Fick obteve um erro relativo inferior ao do ganho de sólidos. Estes erros podem ser justificados pelo fato de que o comportamento da transferência de massa normalmente não satisfaz às simplificações assumidas pela Segunda Lei de Fick, como por exemplo, a difusividade constante, o sólido (alimento) possuir uma estrutura celular homogênea, ocorrer encolhimento com a evaporação da água, variando as dimensões do produto, a difusão pode ocorrer por vários mecanismos e que a temperatura da amostra é constante.

Para o modelo de Page, o coeficiente de determinação foi superior a 0,9886, com um erro relativo médio para a solução binária de 6,30% para o ganho de sólidos e 7,89% para a perda de água, e para a solução ternária de 8,10% para o ganho de sólidos e 3,44% para a perda de água e se mostrou um bom ajuste aos dados experimentais.

Os modelos de Fick e Azuara apresentaram difusividades efetivas bem próximas para a perda de água, sendo de 4,00 e  $4,8 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para a solução binária, respectivamente e para a solução ternária de 1,57 e  $1,73 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ , respectivamente. Estes valores estão dentro da mesma faixa de magnitude das difusividades efetivas obtidas por GALLART-JORNET *et al.* (2007) para salmão (*Salmo solar*) salgado (5,19 a  $5,81 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ) e para o bacalhau (*Gadus morhua*) de 1,51 a  $1,76 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Para o ganho de sólidos, os modelos de Fick e Azuara apresentaram difusividades efetivas bem diferentes da ordem de 8,86 e  $0,16 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para a solução binária e 6,64 e  $9,64 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para a solução ternária. Fick apresentou erros relativos de 15,54 e 19,19%, bem superior ao Azuara que foi da ordem de 3,19 e 3,54% para as soluções binária e ternária, respectivamente.

#### 5.3.4 Cinética de Secagem

Amostras *in natura* e amostras previamente desidratadas em soluções de água com NaCl e de água com NaCl + sacarose, nas condições descritas abaixo, foram utilizadas para estudo da cinética de secagem de filés de tilápia, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, com velocidade do ar de 1,5m/s.

- *NaCl*: temperatura de desidratação de 34°C, concentração de NaCl de 24,6% e 230min de processo;
- *NaCl + sacarose*: temperatura de desidratação de 34°C, concentração de NaCl de 13%, concentração de sacarose de 37% e tempo de 185min.

A Tabela 5.32 ilustra as umidades médias relativas do ar de secagem, para cada condição estudada e também as umidades de equilíbrio, que foram obtidas dinamicamente pesando-se as amostras até que se atingisse peso constante durante o processo de secagem de filé de tilápia *in natura* e pré-tratado osmoticamente, nas condições ótimas escolhidas na etapa de desidratação osmótica, para ambos os agentes osmóticos. O parâmetro estudado foi a temperatura do ar de secagem, que variou de 40 a 60°C (Apêndice C).

Tabela 5.32– Condições de processo da secagem convectiva de filé de tilápia in natura e pré-tratado osmoticamente em soluções de NaCl e NaCl+sacarose.

Condições de processo T (°C)	<i>In natura</i>		NaCl		NaCl + sacarose	
	UR (%)	X <sub>e</sub> (bs)	UR (%)	X <sub>e</sub> (bs)	UR (%)	X <sub>e</sub> (bs)
40	32,7	0,046	32,7	0,021	32,7	0,132
50	25,0	0,040	25,0	0,021	25,0	0,102
60	15,5	0,040	17,0	0,010	15,5	0,076

De acordo com a Tabela 5.32 , nota-se que as umidades de equilíbrio obtidas para a tilápia *in natura* foram maiores que a tratada osmoticamente com NaCl e menores do que aquelas que foram pré-tratada osmoticamente com NaCl e sacarose, demonstrando a influência de sólidos impregnados na matéria-prima durante a etapa de desidratação osmótica, modificando a condição de equilíbrio.

As Figura 5.33, Figura 5.34 e Figura 5.35 mostram os adimensionais de umidade em função do tempo de processo, nas várias temperaturas do ar de secagem.

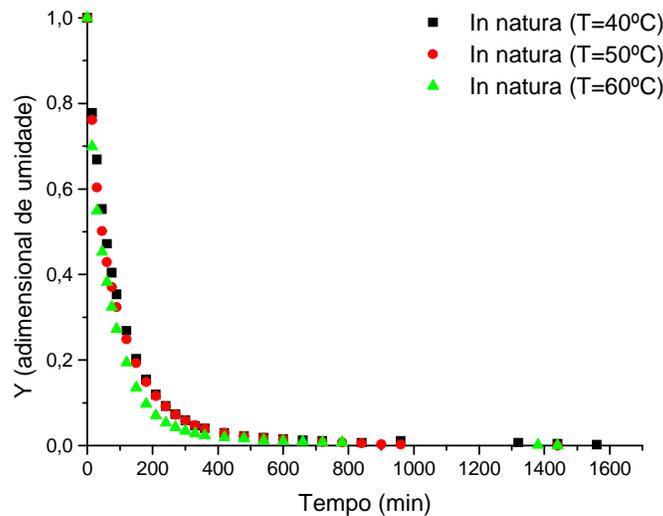


Figura 5.33– Adimensional de umidade em função do tempo, para o processo de secagem de tilápia *in natura* a várias temperaturas.

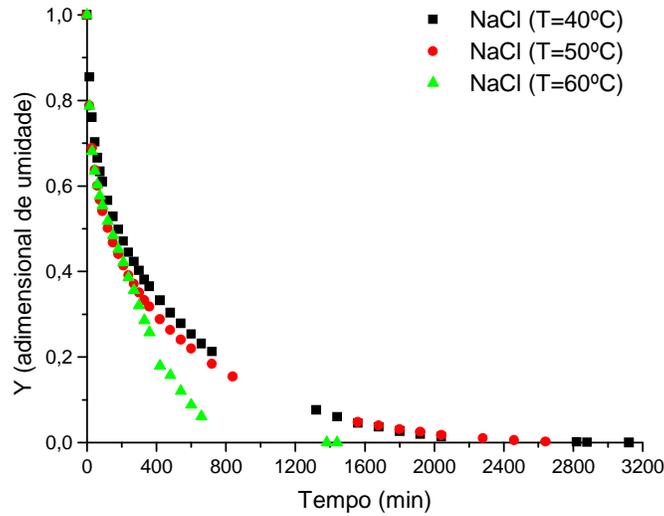


Figura 5.34– Adimensional de umidade em função do tempo, para o processo de secagem de tilápia pré-tratada osmoticamente em NaCl a várias temperaturas.

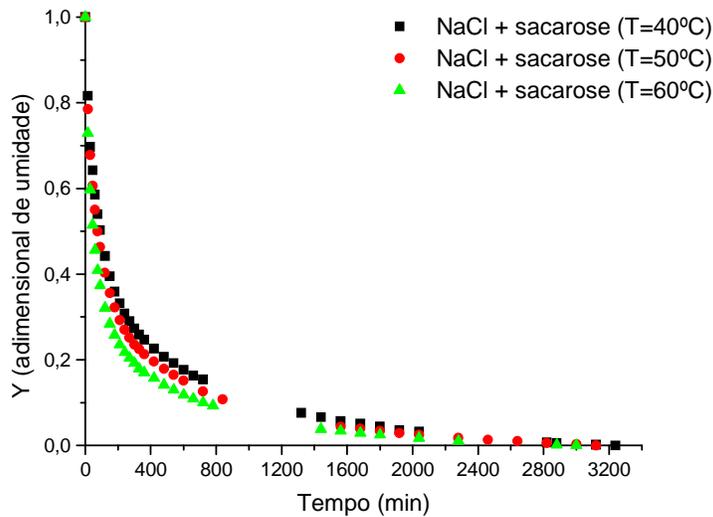


Figura 5.35– Adimensional de umidade em função do tempo, para o processo de secagem de tilápia pré-tratada osmoticamente em NaCl + sacarose a várias temperaturas.

Observa-se nas Figura 5.33, Figura 5.34 e Figura 5.35 que as amostras apresentaram um comportamento muito próximo para as temperaturas de 40 e 50°C. Este fato também foi observado por RIBEIRO (2006) quando trabalhou com secagem de filés de mapará com o peixe *in natura*, desidratado com NaCl+ sacarose e com NaCl + xarope de milho.

O efeito positivo da temperatura na transferência de massa dos filés tratados osmoticamente em solução de NaCl + sacarose está claramente mostrado na Figura 5.35. Este comportamento também foi observado por MEDINA-VIVANCO, (2003), DEL VALLE e NICHERRSON, (1968) e RIBEIRO, (2005), quando trabalharam com peixes salgados. A transferência de massa aumenta com o aumento da temperatura.

As amostras que sofreram pré-tratamento atingiram a condição de equilíbrio em um tempo maior e com umidade de equilíbrio inferior à tilápia *in natura*, para a desidratação com NaCl e superior a tilápia *in natura* para o peixe tratado com NaCl + sacarose. ALVES (2003), AZOUBEL (2002), ISLAM e FLINK (1982) e EL-AOUAR (2001), trabalhando com secagem de frutas previamente desidratadas, relatam que as amostras atingiram a condição de equilíbrio em menor tempo, entretanto com valores de umidade superiores à fruta *in natura*. A razão seria o ganho de sólidos, aliado à perda de água no processo osmótico, resultar em um produto que oferece maior dificuldade à saída de água durante a secagem, uma vez que a água que estava mais livre foi retirada durante o pré-tratamento.

Entretanto, RIBEIRO (2005) trabalhando com secagem de mapará desidratado em solução de NaCl e NaCl + sacarose observou que as amostras desidratadas atingiram a condição de equilíbrio em menor tempo e com umidades inferiores às amostras *in natura*. Este comportamento também foi observado por NKETSIA-TABIR e SEFA-DEDEH (1995) trabalhando com secagem de tilápia previamente desidratada em NaCl. MEDINA-VIVANCO (2003) relatou comportamento similar ao trabalhar com secagem de Tilápia desidratada em NaCl e NaCl+ sacarose, e explicou que, como as amostras foram desidratadas, a umidade inicial foi menor, o que explica tempos menores para atingir o equilíbrio.

Portanto, o presente resultado reforça a influência do tipo de material biológico na transferência de massa durante o processo de secagem.

As Figura 5.36, Figura 5.37 e Figura 5.38 apresentam as taxas de secagem em função da umidade em base seca, para as amostras *in natura* e desidratadas osmoticamente em solução de NaCl e NaCl + sacarose.

Através das Figura 5.36 à Figura 5.38, observa-se que as taxas de secagem iniciais das amostras *in natura* são bem mais altas que das amostras desidratadas, para qualquer temperatura.

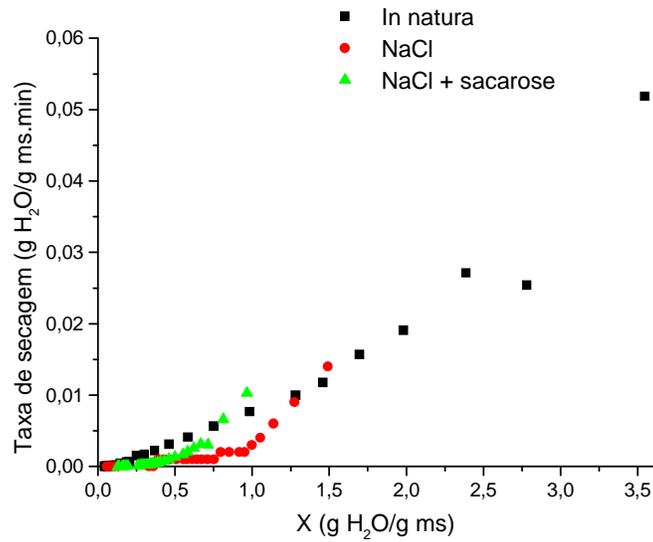


Figura 5.36– Taxa de secagem a T = 40°C em função do conteúdo de umidade do filé de tilápia *in natura* e desidratadas osmoticamente.

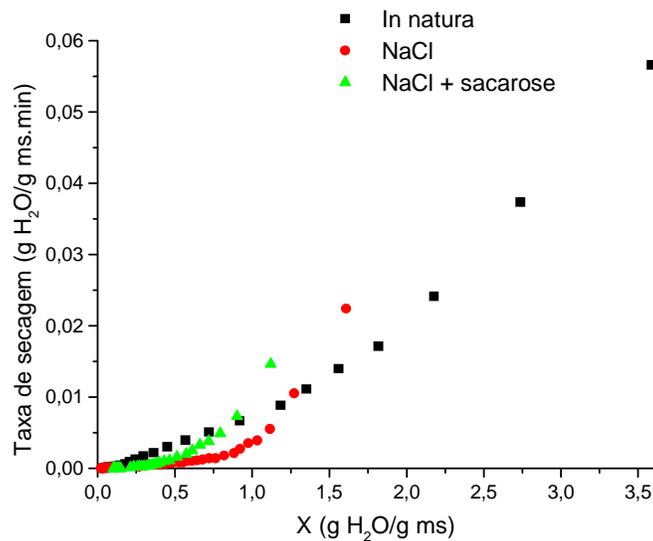


Figura 5.37– Taxa de secagem a T = 50°C em função do conteúdo de umidade do filé de tilápia *in natura* e desidratadas osmoticamente.

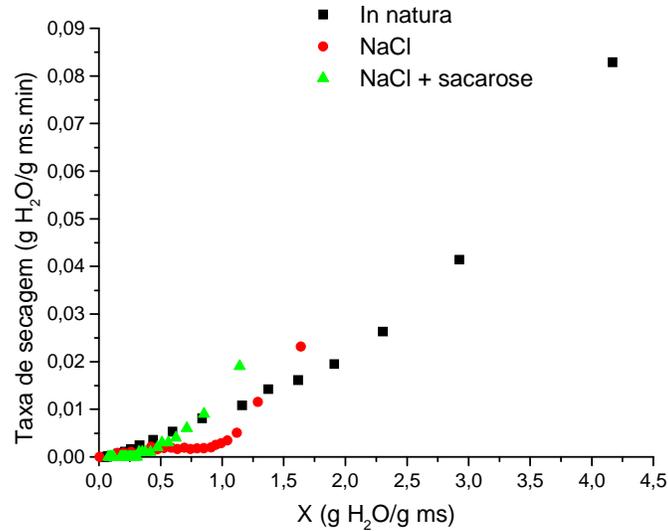


Figura 5.38– Taxa de secagem a  $T = 60^{\circ}\text{C}$  em função do conteúdo de umidade do filé de tilápia *in natura* e desidratadas osmoticamente.

Comparando as amostras *in natura* e pré-tratadas, observa-se que as amostras pré-tratadas apresentam taxa inicial mais alta que a *in natura*, mostrando que, para a região de umidade entre 1 e 2 g H<sub>2</sub>O/g ms, a matriz sólida da amostra *in natura* está mais compacta em relação à matriz que sofreu desidratação osmótica, dificultando assim a saída de água. O início da inversão desta tendência pode ser explicado pela competição pela água do sólido incorporado na matriz, na região de umidade baixa.

Comparando as amostras pré-tratadas em NaCl e NaCl + sacarose, observa-se que as amostras tratadas com NaCl + sacarose apresentam taxa de secagem superior a NaCl para umidade superiores a 0,5 g H<sub>2</sub>O/g massa seca, para todas as temperaturas analisadas, indicando a minimização do efeito do sal pelo açúcar. A taxa de secagem, em amostras previamente desidratadas em solução de açúcar e sal, decresce com o aumento do conteúdo de NaCl, indicando que a presença de sal no músculo faz com que a resistência interna para o movimento da umidade aumente, possivelmente devido às interações proteína-íons (cloro-sódio)-água, que resulta numa diminuição da pressão de vapor da água, explicando o decréscimo da taxa de secagem (WATERMAN, 1976).

### 5.3.4.1 Modelagem matemática da cinética de secagem

Os dados experimentais foram ajustados inicialmente pelo Modelo Difusional (2ª Lei de Fick), considerando uma geometria de placa plana infinita com 5 termos da série, para o cálculo da difusividade efetiva da água ( $D_{ef}$ ). Também foi utilizado o modelo empírico de Page (PAGE, 1949).

As Figura 5.39, Figura 5.40 e Figura 5.41 mostram a modelagem utilizando o Modelo Difusional para a tilápia fresca e pré-tratada osmoticamente em NaCl e NaCl+sacarose, respectivamente. Os valores de difusividade efetiva da água se encontram na Tabela 5.33, assim como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os valores de desvio relativo médio (E).

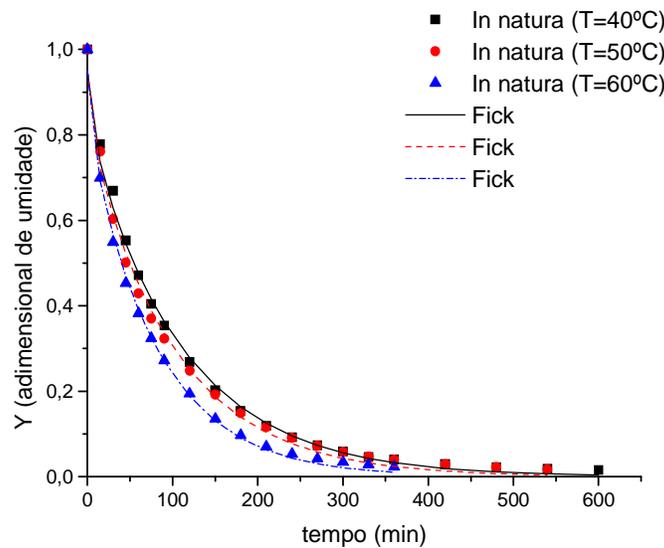


Figura 5.39 – Modelo Difusional para o processo de secagem de tilápia *in natura* a várias temperaturas de processo.

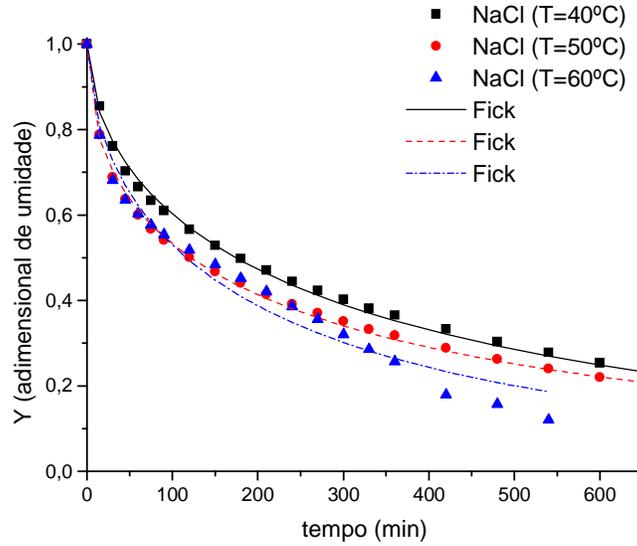


Figura 5.40– Modelo Difusional para o processo de secagem de tilápia desidratado osmoticamente em NaCl a várias temperaturas de processo.

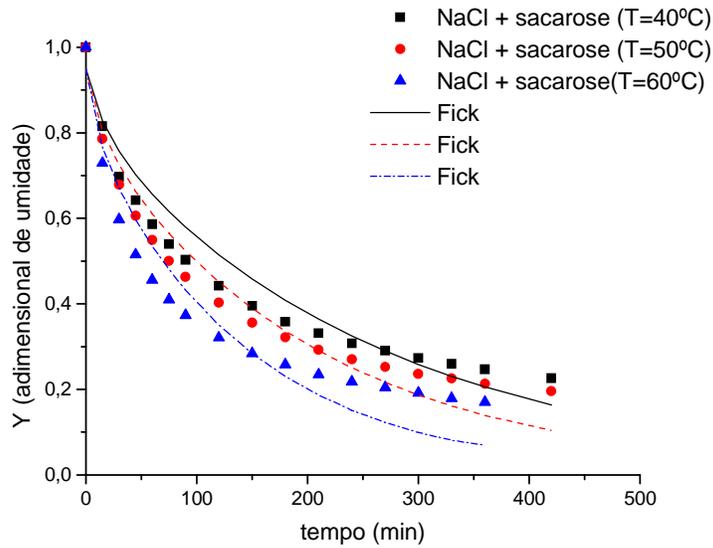


Figura 5.41– Modelo Difusional para o processo de secagem de tilápia desidratado osmoticamente em NaCl +sacarose a várias temperaturas de processo.

Tabela 5.33– Parâmetros de ajuste obtidos do Modelo Difusional durante a secagem convectiva de tilápia *in natura* e pré-tratado osmoticamente em soluções de NaCl e NaCl + sacarose.

	$D_{ef} \times 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>	E (%)
<b>In natura</b>			
T=40°C	3,76	0,9933	14,97
T=50°C	4,31	0,9947	19,95
T=60°C	5,35	0,9848	14,09
<b>NaCl</b>			
T=40°C	1,00	0,9530	8,78
T=50°C	1,23	0,8924	16,78
T=60°C	1,47	0,9695	9,05
<b>NaCl +sacarose</b>			
T=40°C	1,61	0,9205	11,12
T=50°C	2,06	0,9741	14,10
T=60°C	2,88	0,9068	22,63

De acordo com a Tabela 5.33, observa-se que, quanto maior a temperatura de processo maior o valor da difusividade efetiva de água. Os maiores valores de difusividade efetiva foram obtidos para as amostras de tilápia *in natura*, devido ao alto conteúdo de umidade presente nestas amostras, facilitando, portanto, o fluxo de saída de água.

Em relação aos valores de difusividade encontrados para as amostras que sofreram pré-tratamento osmótico, verifica-se que aquelas pré-tratadas em NaCl + sacarose, apresentaram valores de difusividade maiores do que as pré-tratadas em NaCl.

Estes resultados refletem as considerações feitas em relação à taxa de secagem.

Analisando o coeficiente de determinação (Tabela 5.33), verifica-se que em, praticamente, todas as condições estudadas, os valores obtidos se encontram próximos à unidade. No entanto, para os valores dos desvios relativos médios, foram obtidos valores relativamente altos, os quais variaram de 8,78 a 22,63%.

De acordo com CONTRERAS e SMYRL (1981), a utilização de xarope de milho no processo osmótico de maçã, seguido de secagem, quando comparada com a utilização de sacarose, torna-se vantajosa, pois, como a difusividade da água depende, entre outros fatores, do conteúdo de sólidos dissolvidos (a difusividade diminui com o aumento dos sólidos), a menor incorporação de sólidos na desidratação osmótica com xarope de milho favorece a saída mais rápida da água presente na fruta, aumentando com isso a difusividade efetiva de água através do material.

ISLAM e FLINK (1982) também observaram redução nos valores de difusividade de água em amostras de batata pré-tratadas osmoticamente em soluções de sacarose e sacarose-sal.

COLLIGNAN, RAOULT-WACK e THEMELIN (1992) afirmam que a formação de uma camada periférica de sacarose durante a desidratação osmótica é a responsável pelo aumento da resistência ao movimento da água durante a etapa de secagem, reduzindo com isso os valores de difusividade efetiva.

Comparando os valores obtidos neste estudo para a difusividade, com os valores encontrados por RIBEIRO (2005), MEDINA-VIVANCO (2003), RIBEIRO (2000), RODRIGUES (1996), PINTO (1996) e PARK (1998), que trabalharam com pescados, verifica-se que os mesmos estão na mesma ordem de grandeza.

Observando as Figura 5.36 à Figura 5.38 verifica-se a existência de duas taxas decrescentes para as amostras desidratadas em solução de NaCl e NaCl + sacarose. A existência de duas taxas decrescentes em pescado foi observada por PINTO (1996) e RIBEIRO (2005). A Tabela 5.34 mostra o ajuste realizado para as duas fases. Verifica-se que o modelo de Fick ajustou bem para a primeira fase decrescente apresentando erros relativos médios abaixo de 2,2% e  $R^2$  superior a 0,95. Na segunda fase a difusividade decresceu e os erros relativos médios foram altos com  $R^2$  acima de 0,77, indicando que o modelo não se ajustou aos dados experimentais nesta fase.

Tabela 5.34 – Ajuste do modelo de Fick para as duas fases decrescentes

Amostras	1ª fase			2ª fase		
	$D_{ef} \times 10^{10}$ ( $m^2/s$ )	E(%)	$R^2$	$Def \times 10^{10}$ ( $m^2/s$ )	E(%)	$R^2$
<b>Sacarose + NaCl</b>						
40°C	2,30	2,17	0,9703	0,78	9,07	0,8300
50°C	2,76	1,62	0,9799	0,88	9,81	0,8372
60°C	4,28	1,61	0,9869	0,98	9,59	0,8300
<b>NaCl</b>						
40°C	1,5	2,08	0,9567	0,48	9,81	0,8800
50°C	2,48	1,66	0,9770	0,52	7,63	0,9052
60°C	2,54	1,95	0,9761	0,68	22,18	0,7700

As Figura 5.42, Figura 5.43 e Figura 5.44 mostram a modelagem utilizando o modelo empírico de Page para tilápia *in natura* e pré-tratada osmoticamente em NaCl e NaCl + sacarose.

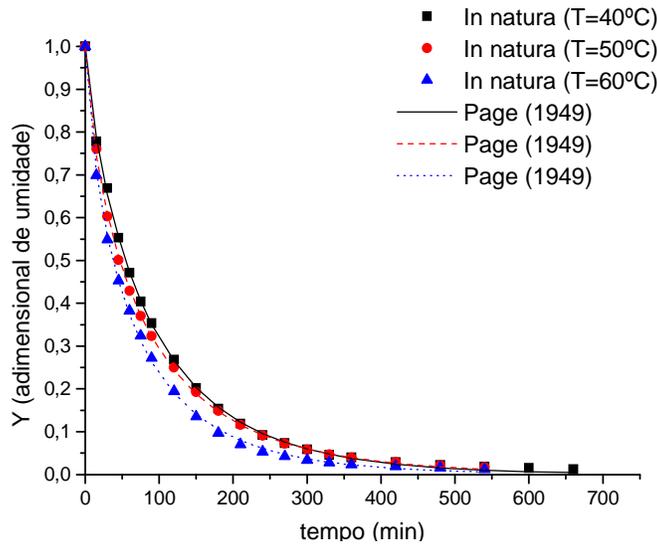


Figura 5.42– Modelo empírico de Page para o processo de secagem de tilápia *in natura* a várias temperaturas de processo.

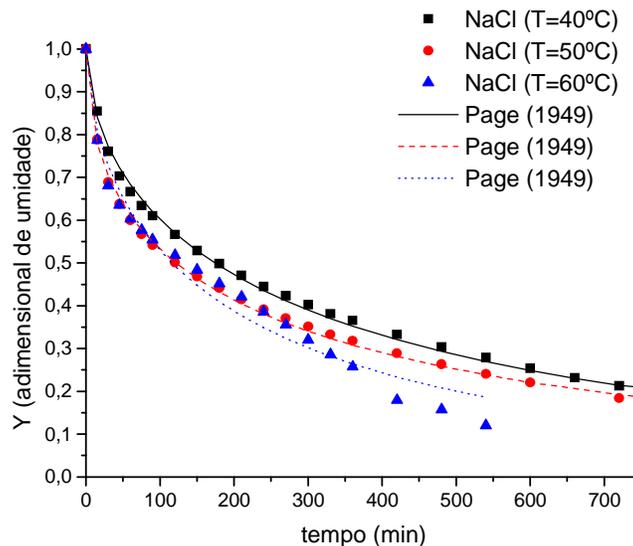


Figura 5.43– Modelo empírico de Page para o processo de secagem de tilápia desidratada osmoticamente em NaCl a várias temperaturas de processo.

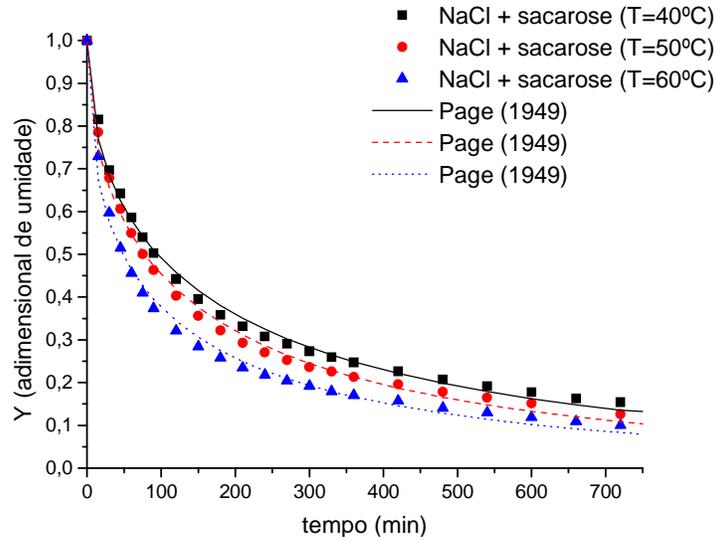


Figura 5.44– Modelo empírico de Page para o processo de secagem de tilápia desidratada osmoticamente em NaCl+sacarose a várias temperaturas de processo.

Os parâmetros do modelo (K e b) se encontram na Tabela 5.35, juntamente com os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvio relativo médio (E). Verifica-se que o modelo se ajustou muito bem aos dados experimentais, apresentando E inferior a 11,37 e  $R^2$  superior a 0,97, sendo portanto, um bom modelo para prever a cinética de secagem de Tilápia in natura e pré-tratada osmoticamente em soluções de NaCl e Sacarose + NaCl.

Tabela 5.35 – Parâmetros de ajuste obtidos do modelo empírico de Page durante a secagem convectiva de tilápia *in natura* e pré-tratado osmoticamente em soluções de NaCl e NaCl+sacarose.

<b>Pré Tratamento</b>	<b>K</b>	<b>b</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>E(%)</b>
<b>In natura</b>				
T=40°C	0,0257	0,8238	0,9996	11,37
T=50°C	0,0381	0,7546	0,9997	4,08
T=60°C	0,0450	0,7534	0,9994	6,18
<b>NaCl</b>				
T=40°C	0,0380	0,5625	0,9954	6,87
T=50°C	0,0670	0,4869	0,9955	5,99
T=60°C	0,0450	0,5754	0,9753	10,51
<b>NaCl +sacarose</b>				
T=40°C	0,0637	0,5237	0,9963	5,72
T=50°C	0,0707	0,5241	0,9968	8,14
T=60°C	0,1102	0,4737	0,9945	7,93

RIBEIRO (2000) realizou um planejamento experimental seguido de um tratamento matemático, na secagem de filés de matrinhã (*Brycon cephalus*), na forma de placa plana, previamente salgados e defumados a líquido com extrato vegetal de noqueira. O trabalho investigou o processo de secagem, baseando-se no modelo de difusão de Fick, considerando a difusividade efetiva constante e velocidade do ar 1,5m/s. Verificou-se que os modelos exponenciais, como Page, apresentaram melhores ajustes em relação ao modelo difusional de secagem. A mesma autora, em um novo estudo (RIBEIRO, 2005), trabalhando com secagem de filés de mapará *in natura* e desidratados osmoticamente em solução de NaCl, NaCl + sacarose e NaCl + xarope de milho, também verificou que o modelo de Page se ajustou melhor aos dados experimentais do que o modelo difusional.

### 5.3.5 Análise Sensorial do Primeiro Tratamento

Como mencionado anteriormente no item 4.2.5.1.4, para a realização da análise sensorial do primeiro tratamento foi elaborado um bolinho de peixe.

O perfil dos consumidores do teste de aceitabilidade do bolinho de filé de tilápia desidratado e seco é mostrado na Figura 5.45. Verifica-se que a maioria dos provadores é do sexo feminino com faixa etária de 26 a 30 anos.

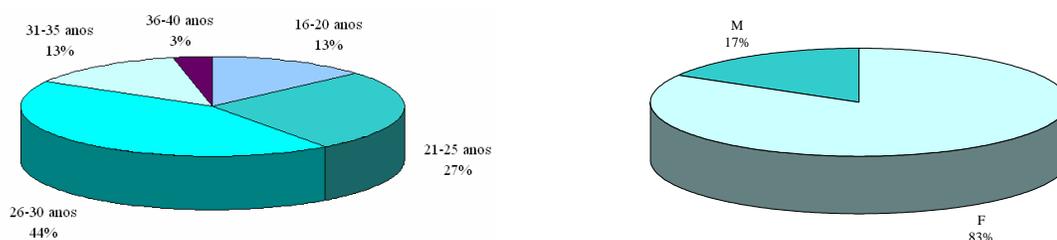


Figura 5.45 - Perfil dos provadores utilizados no teste de aceitabilidade do bolinho do filé de tilápia desidratada osmoticamente e seco.

Os resultados do teste sensorial de aceitação para as amostras de bolinho de filé de tilápia desidratado e seco, encontram-se ilustrados nos histogramas de frequência referentes a todos os atributos sensoriais avaliados no presente trabalho.

Para o atributo aparência, observa-se (Figura 5.46a), que a maioria das notas recebidas pelas amostras sem tratamento e pré-processadas osmoticamente, situa-se na região indicativa de aprovação dos produtos, ou seja, valores iguais ou acima de 5, sendo que a amostra pré-processada osmoticamente em solução de NaCl foi a que apresentou o menor índice de aceitação entre as quatro amostras avaliadas (86,66% de aceitabilidade) e a que apresentou maior índice foi a amostra sem tratamento (93,33% de aceitabilidade).

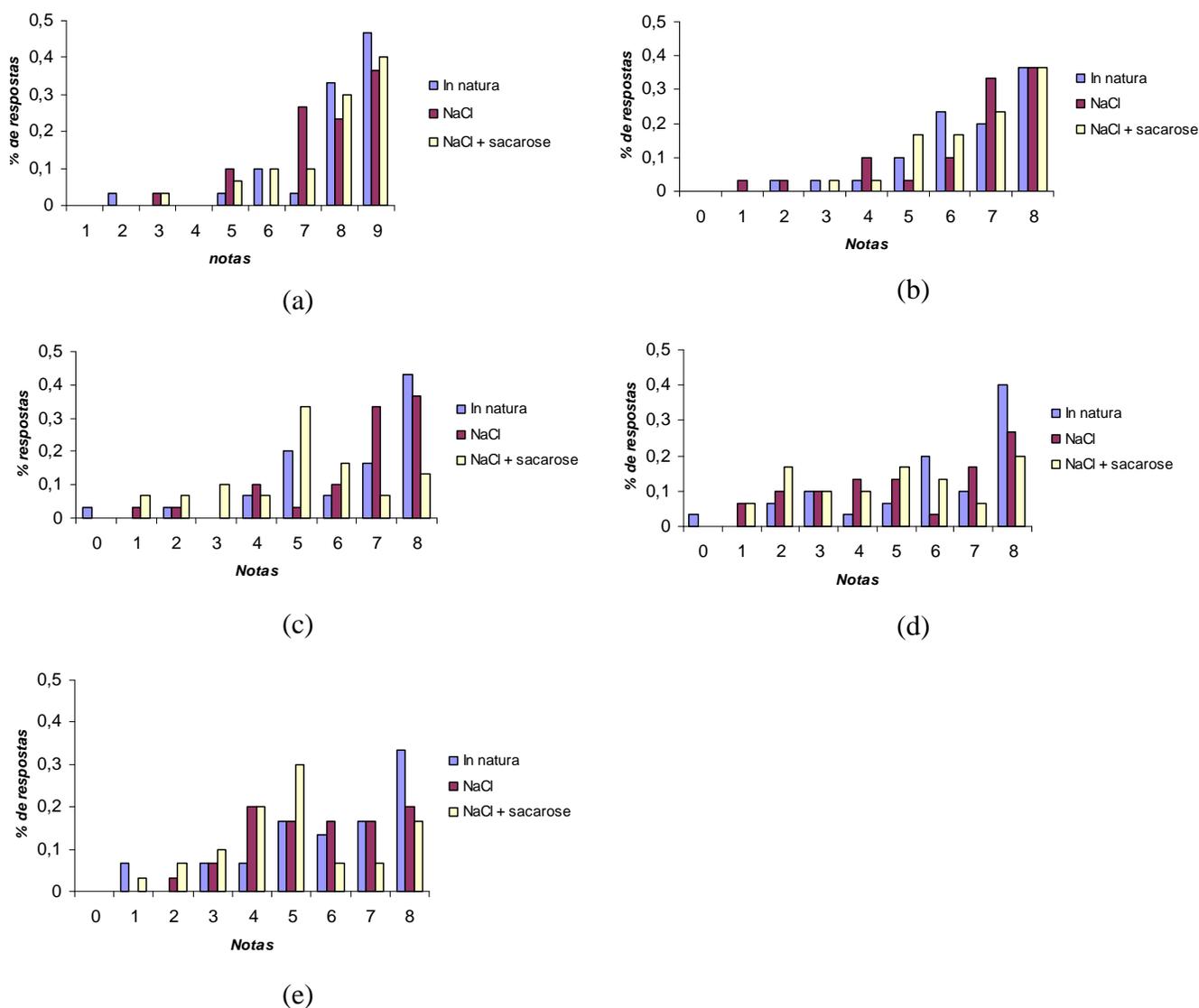


Figura 5.46-Histograma de freqüência dos valores atribuídos a aparência (a), aroma (b), sabor (c), textura (d) e impressão global (e) das amostras de bolinho de peixe de tilápia sem tratamento (*in natura*) e pré-tratados em solução binária de NaCl e solução ternária de NaCl +sacarose.

Quanto ao aroma (Figura 5.46b), a maioria das notas recebidas pelas amostras sem tratamentos e pré-processadas osmoticamente situa-se na região indicativa de aprovação dos produtos, sendo que a amostra tratada com NaCl + sacarose (93,33) foi a que apresentou o maior índice de aceitabilidade, seguida da amostra *in natura* (90,00).

O aroma é um dos mais importantes atributos da carne cozida. Este resulta de uma série de reações envolvendo diferentes precursores durante o processo de cozimento. A

percepção do aroma de um alimento resulta da presença de substâncias químicas voláteis, que possuem habilidade de estimular os receptores olfativos da cavidade nasal. Estes voláteis atingem a cavidade nasal através do nariz ou via garganta durante o processo de mastigação dos alimentos. Paralelamente, respostas ao gosto ocorrem em células especializadas, localizadas na língua, devido à presença dos constituintes não voláteis nos alimentos (MADRUGA, 1997).

Para o atributo sabor (Figura 5.46c), observa-se que a maioria das notas recebidas pelas amostras sem tratamento (86,66% de aceitabilidade), pré-processadas osmoticamente com soluções de NaCl + sacarose (70,00% de aceitabilidade) e com solução de NaCl (63,33% de aceitabilidade) situa-se na região indicativa de aprovação dos produtos, indicando que o produto foi aceito pelos provadores.

Para a textura (Figura 5.46d), a maioria das notas recebidas pelas amostras sem tratamento (76,66% de aceitabilidade) situa-se na região indicativa de aprovação dos produtos, exceto para a amostra pré-processada osmoticamente com solução de NaCl (60,00%) e com solução de NaCl + sacarose (57,67% de aceitabilidade), valores considerados bons para indicar que o produto foi aceito pelos provadores.

Quanto a impressão global (Figura 5.46e), verifica-se que a amostra *in natura* (80,00%) e a pré-tratada osmoticamente com NaCl (70,00%) encontram-se na faixa de aceitação dos produtos e que a amostra tratada com NaCl + sacarose apresentou menor índice de aceitação (60,00%) com relação a impressão global.

A Tabela 5.36 mostra a Análise de Variância (ANOVA) feita para cada atributo sensorial avaliado tendo como fontes de variação as amostras e os provadores. Podemos perceber que o valor da distribuição F calculado para os provadores foi significativo para todos os atributos avaliados, exceto para o atributo sabor, o que é normal em equipe de consumidores.

Podemos verificar também na Tabela 5.36, que não houve diferença significativa entre as amostras analisadas com relação aos atributos aparência, aroma, textura e impressão global, indicando que os provadores não conseguiram perceber diferença entre as amostras. Com relação ao atributo sabor houve diferença significativa entre as amostras.

A Tabela 5.37 apresenta as aceitabilidades médias dos atributos aparência, aroma, sabor, teor de sal, textura e impressão global.

Tabela 5.36- ANOVA para cada atributo sensorial avaliado.

<b>FV</b>	<b>APARÊNCIA</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		2	0,82	0,40	0,50	0,607
provador		29	166,40	5,74	7,07	<0,0001
resíduo		58	47,09	0,81		
Total		89	214,29			
<b>FV</b>	<b>AROMA</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		2	0,07	0,04	0,02	0,978
provador		29	156,49	5,40	3,31	<0,0001
resíduo		58	94,69	1,63		
Total		89	251,26			
<b>FV</b>	<b>SABOR</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		2	29,70	14,85	4,23	<b>0,019</b>
provador		29	159,23	5,49	1,56	0,074
resíduo		58	203,83	3,51		
Total		89	392,76			
<b>FV</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		2	18,12	9,06	2,77	0,071
provador		29	296,76	10,23	3,13	0,0001
resíduo		58	189,72	3,27		
Total		89	504,60			
<b>FV</b>	<b>GLOBAL</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		2	12,83	6,42	2,29	0,111
provador		29	165,02	5,69	2,03	0,011
resíduo		58	162,79	2,81		
Total		89				

Tabela 5.37- Médias para todas as amostras de bolinho de filé de tilápia *in natura*, desidratado em NaCl e desidratado em NaCl e sacarose.

<b>Atributos de aceitação</b>					
<b>Amostras</b>	<b>Aparência</b>	<b>Aroma</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>	<b>Impressão global</b>
<i>In natura</i>	7,61 <sup>a</sup>	7,26 <sup>a</sup>	7,03 <sup>a</sup>	6,59 <sup>a</sup>	6,69 <sup>a</sup>
Desidratada com NaCl	7,49 <sup>a</sup>	7,24 <sup>a</sup>	6,17 <sup>ba</sup>	5,94 <sup>a</sup>	6,36 <sup>a</sup>
Desidratada com NaCl + sacarose	7,38 <sup>a</sup>	7,19 <sup>a</sup>	5,64 <sup>b</sup>	5,49 <sup>a</sup>	5,77 <sup>a</sup>

\*Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si no teste de Tukey a  $p > 0,05$ .

Verifica-se na Tabela 5.37 que as médias só diferiram estatisticamente entre si ( $p \leq 0,05$ ) para o atributo sabor, onde a amostra *in natura* se mostrou estatisticamente diferente da amostra desidratada com NaCl + sacarose, entre as amostras desidratadas não houve diferença significativa. As médias de todos os atributos foram superiores a 5,49, mostrando uma boa aceitação do bolinho elaborado com filé de tilápia desidratado e seco.

A amostra pré-tratada osmoticamente em NaCl + sacarose foi a que apresentou as menores médias entre as amostras estudadas para todos os atributos. A amostra *in natura*, segundo os provadores, obteve valores médios de aceitação maiores que os verificados para as amostras pré-tratadas osmoticamente. RIBEIRO (2005) também encontrou maiores valores médios de aceitação do bolinho de mapará para a amostra *in natura* do que para as amostras tratadas osmoticamente com NaCl + sacarose e NaCl + xarope de milho.

### 5.3.6 Análise do Filé Desidratado e Seco

A Tabela 5.38 apresenta a análise físico química da tilápia desidratada e seca. Observa-se que as amostras desidratadas com solução de NaCl + sacarose e NaCl apresentaram atividade de água abaixo de 0,750, mostrando que o processo de desidratação osmótico apresenta efeito positivo como pré-tratamento na redução da atividade de água.

Tabela 5.38– Análise físico química do filé de tilápia desidratada e seca.

Amostra	$a_w$	NaCl (%)	Açúcar total (%)	Umidade
NaCl	$0,751 \pm 0,004$	$25,34 \pm 0,69$	-	$43,5 \pm 0,31$
NaCl + sacarose	$0,702 \pm 0,004$	$12,54 \pm 0,66$	$23,06 \pm 0,40$	$41,2 \pm 0,42$

## **5.7 SEGUNDO TRATAMENTO**

### **5.7.1 Análise de Sal**

De acordo com os métodos empregados para a impregnação de sal, o melhor resultado que conferiu ao produto final um teor em torno de 4% p/p através do método de Mohr, foi a imersão por 3,0 minutos em uma solução de 21% NaCl p/p com umidade de 77,9%.

### **5.7.2 Secagem do Peixe Defumado**

O estudo da cinética de secagem foi realizado de acordo com o planejamento experimental. Foram realizados sete experimentos a diferentes temperaturas, concentrações da fumaça líquida, e tempo de imersão de 25s e velocidade do ar de 1,5m/s para todas as amostras (Apêndice D).

O pescado foi seco até peso constante para determinação da umidade de equilíbrio.

Considerando que a amostra é uma placa plana infinita, o modelo de Fick foi utilizado para determinar a difusividade efetiva, através do ajuste não linear dos dados experimentais, considerando uma espessura de 0,5cm. Utilizou-se 5 termos da série, que foi o que obteve melhor ajuste em relação a equação utilizada.

Tabela 5.39 mostra os valores encontrados para a difusividade efetiva ( $Def$ ), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro médio relativo, e nas Figura 5.47 à Figura 5.51 estão apresentadas as curvas experimentais e as ajustadas pelo modelo.

Os resultados da regressão não linear do modelo de Fick, considerando 5 termos da série, não foram muito bons. Os coeficientes de determinação estão acima de 0,97, no entanto os desvios médio relativos estão muito altos. O modelo de Fick mostrou não ajustar tão bem nos últimos pontos da secagem, este fato é devido a  $Def$  ser considerada constante pelo modelo de Fick, como a difusividade acaba sendo mais baixa no período final da secagem os erros se elevam.

Tabela 5.39– Parâmetros de ajuste obtidos do Modelo Difusional durante a secagem convectiva de tilápia seca e defumada com 25s de imersão em fumaça líquida.

T (°C)	FL (% p/p)	Def $\times 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>	E (%)
40	15	2,36	0,9862	15,64
40	25	2,60	0,9715	21,80
60	15	2,62	0,9900	21,53
60	25	3,27	0,9898	28,30
50	20	2,47	0,9888	15,64
50	20	3,07	0,9886	21,58
50	20	2,29	0,9946	10,54

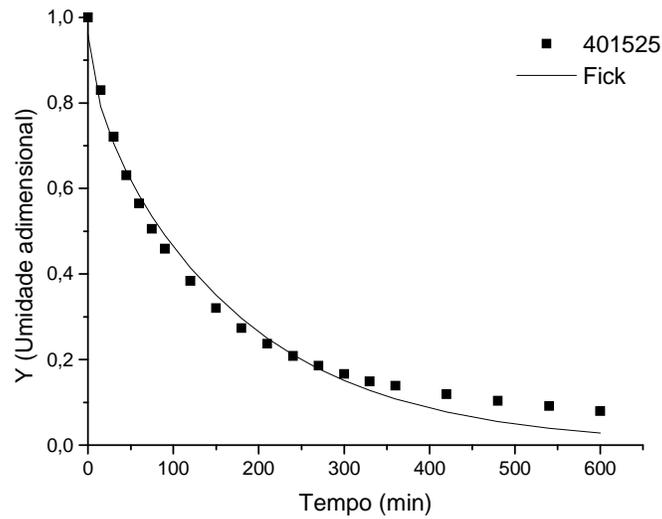


Figura 5.47– Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Fick, para temperatura de 40°C, 15% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.

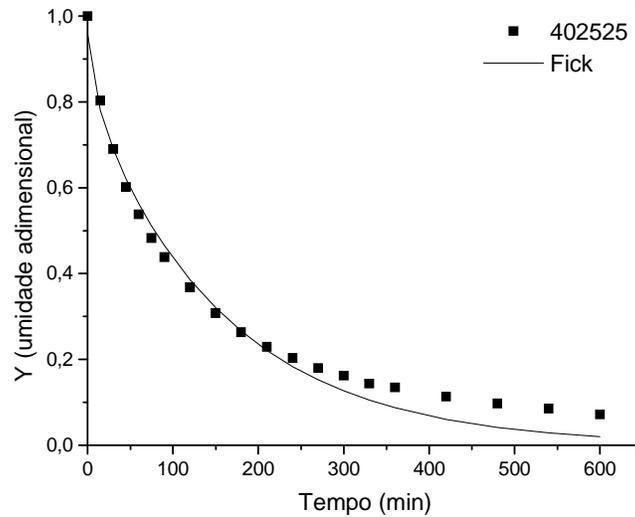


Figura 5.48– Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Fick, para temperatura de 40°C, 25% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.

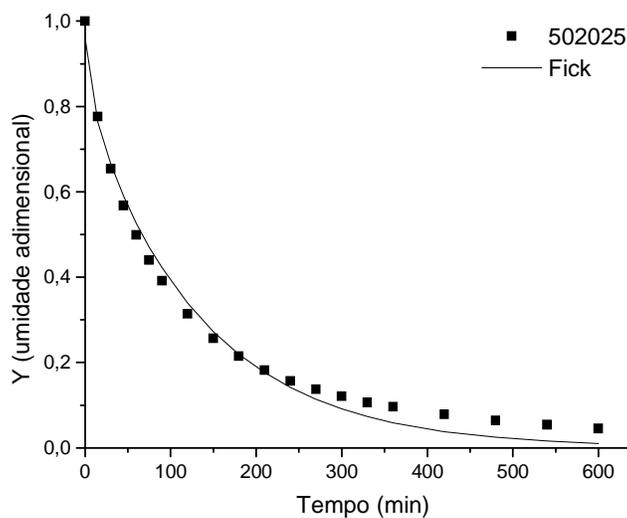


Figura 5.49– Curva de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Fick, para temperatura de 50°C, 20% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.

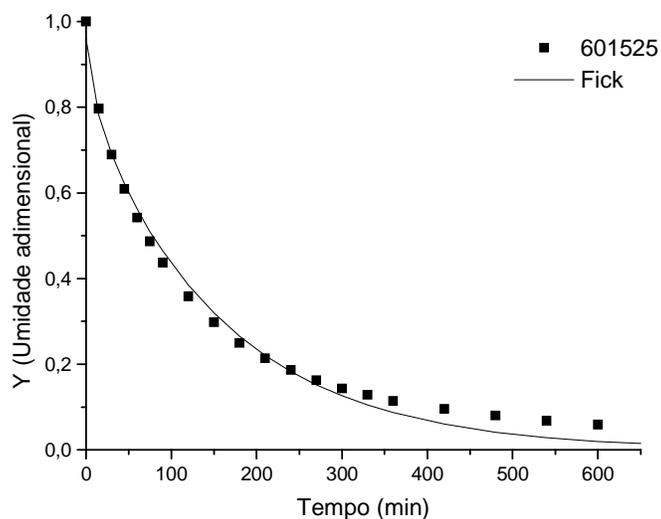


Figura 5.50– Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Fick, para temperatura de 60°C, 15% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.

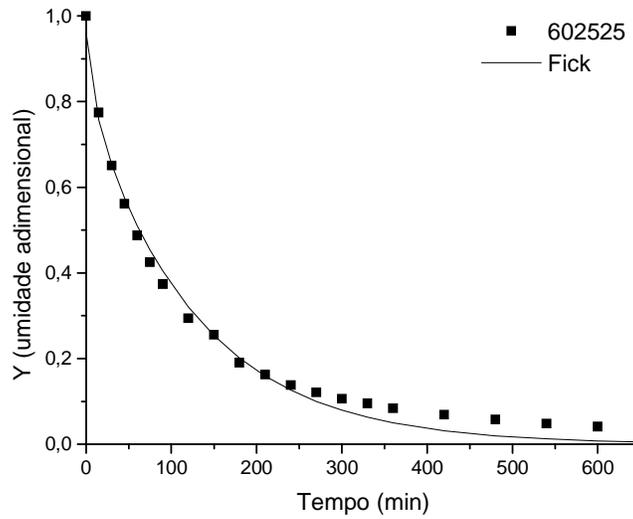


Figura 5.51 - Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Fick, para temperatura de 60°C, 25% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.

Os parâmetros do modelo (k e b) se encontram na Tabela 5.40 , juntamente com os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio relativo médio (E). Verifica-se que o modelo se ajustou bem aos dados experimentais, apresentando baixos valores de desvio relativo médio, sendo, portanto, um bom modelo para prever a cinética de secagem de filé de tilápia defumada.

Tabela 5.40– Parâmetros de ajuste obtidos do Modelo de Page durante a secagem convectiva de tilápia seca e defumada com 25s de imersão em fumaça líquida.

T (°C)	CF (p/p)	k	b	R <sup>2</sup>	E (%)
40	15	0,0075	0,6950	0,9984	8,91
40	25	0,0081	0,6697	0,9985	4,91
50	20	0,0367	0,6899	0,9992	4,18
50	20	0,0422	0,6840	0,9988	6,89
50	20	0,0278	0,7287	0,9996	3,24
60	15	0,0353	0,7003	0,9989	7,25
60	25	0,0402	0,7056	0,9984	11,66

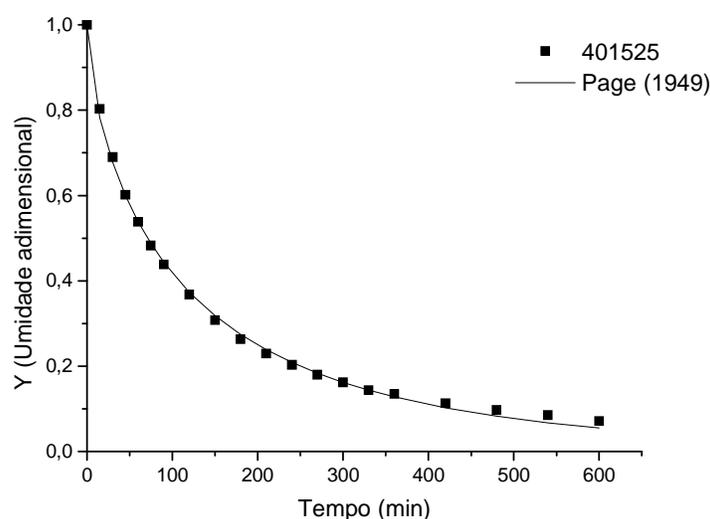


Figura 5.52– Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Page, para temperatura de 40°C, 15% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.

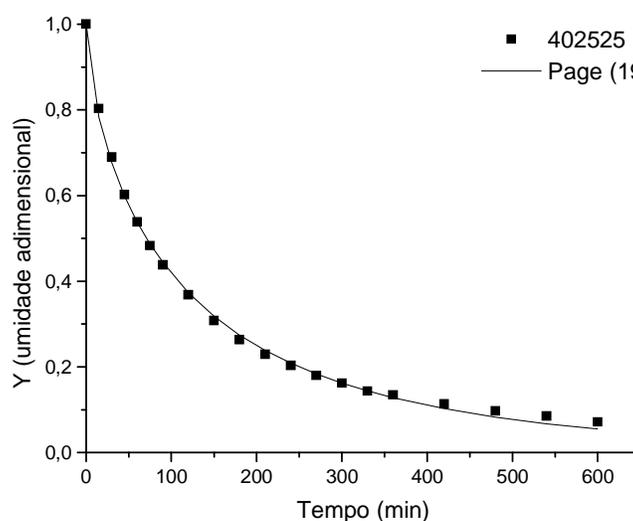


Figura 5.53– Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Page, para temperatura de 40°C, 25% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.

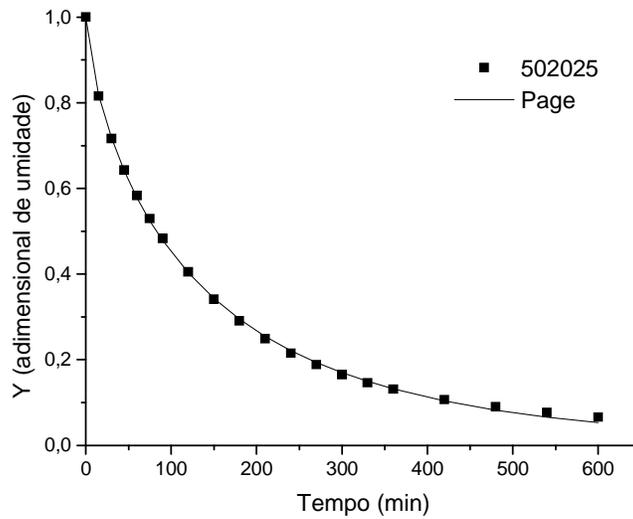


Figura 5.54-Curva de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Page, para temperatura de 50°C, 20% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.

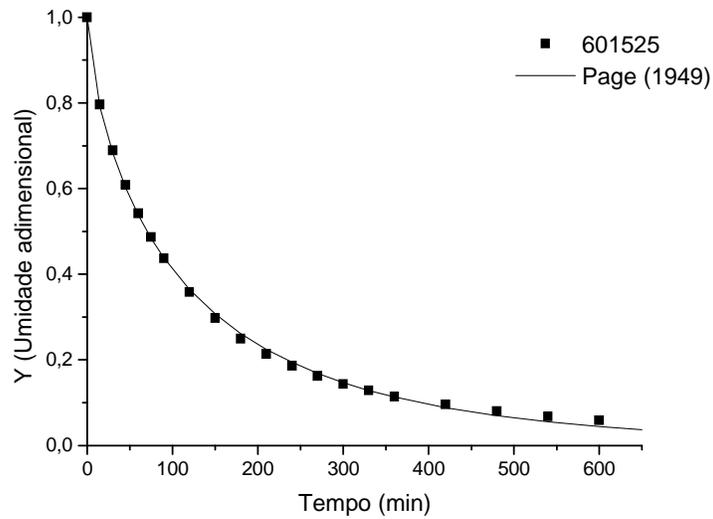


Figura 5.55-Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Page, para temperatura de 60°C, 15% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.

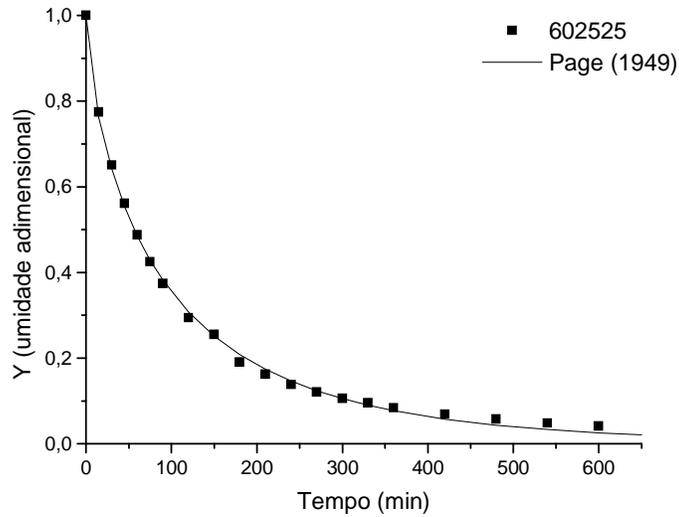


Figura 5.56-Curvas de secagem do peixe salgado e defumado, ajustadas pelo modelo de Page, para temperatura de 60°C, 25% p/p de fumaça líquida e 25 segundos de imersão.

### 5.7.3 Análise Sensorial do Segundo Tratamento

Como mostrado no item 4.2.6.2, a análise sensorial foi realizada no filé de tilápia defumado e seco.

A Figura 5.57 mostra o perfil dos consumidores do teste de aceitabilidade do filé de tilápia salgado, defumado e seco. Verifica-se que a maioria dos provadores é do sexo feminino com faixa etária de 26 a 30 anos.

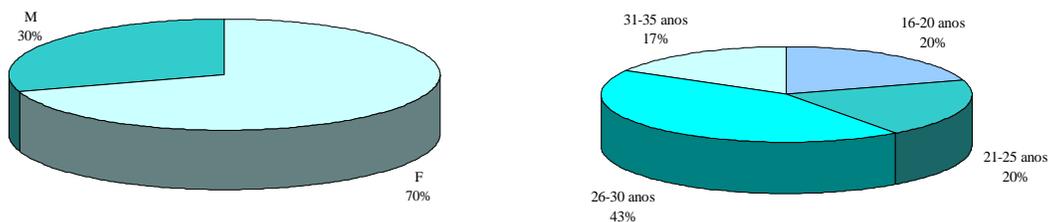


Figura 5.57- Perfil dos provadores utilizados no teste de aceitabilidade do filé de tilápia salgado, defumado e seco.

A Tabela 5.41 mostra a Análise de Variância (ANOVA) feita para cada atributo sensorial avaliado tendo como fontes de variação as amostras e os provadores. Podemos perceber que o valor da distribuição F calculado para os provadores foi significativo para todos os atributos avaliados, o que é normal em equipe de consumidores.

Podemos verificar também na tabela ANOVA, que não houve diferença significativa entre as amostras analisadas com relação aos atributos aparência, aroma, sabor, teor de sal, textura e impressão global, indicando que os provadores não conseguiram perceber diferença significativa entre as amostras.

A Figura 5.58 mostra os filés de tilápia defumados utilizados na análise sensorial.

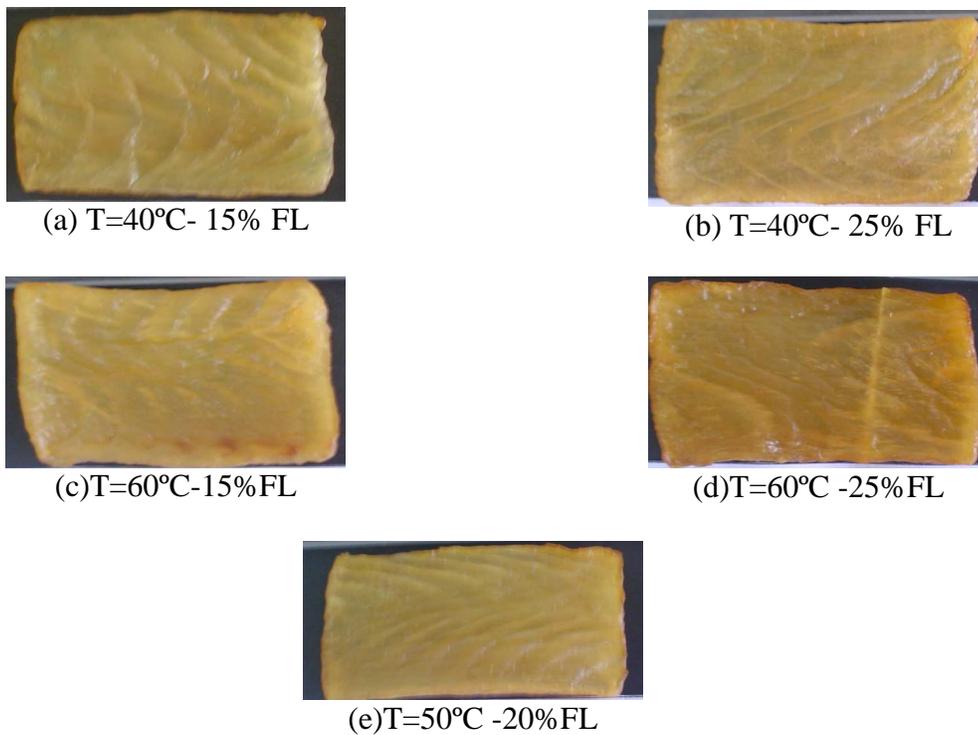


Figura 5.58– Amostras de filé de tilápia defumado e seco.

Tabela 5.41- ANOVA para cada atributo sensorial avaliado.

<b>FV</b>	<b>APARÊNCIA</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		6	18,12	2,02	1,70	0,119
provador		29	407,31	14,05	7,89	<0,0001
Bloco		1	5,65	5,65	3,27	0,075
resíduo		173	304,13	1,76		
Total		209	735,12			
<b>FV</b>	<b>AROMA</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		6	19,54	3,26	2,08	0,059
provador		29	421,3	14,53	9,25	<0,0001
bloco		1	2,97	2,97	1,89	0,171
resíduo		173	272,18	1,57		
Total		209	715,99			
<b>FV</b>	<b>SABOR</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		6	20,04	3,34	1,99	0,069
provador		29	245,68	8,47	5,04	<0,0001
bloco		1	10,00	10	5,95	0,016
resíduo		173	290,26	1,68		
Total		209	565,98			
<b>FV</b>	<b>TEOR DE SAL</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		6	27,80	4,63	2,15	0,051
provador		29	337,60	11,64	5,41	<0,0001
bloco		1	4,15	4,15	1,93	0,167
resíduo		173	372,38	2,15		
Total		209	741,93			
<b>FV</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		6	22,07	3,68	1,90	0,083
provador		29	220,11	7,59	3,92	<0,0001
bloco		1	1,23	1,23	0,63	0,427
resíduo		173	335,63	1,94		
Total		209	579,04			
<b>FV</b>	<b>GLOBAL</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
amostra		6	12,34	2,06	1,36	0,232
provador		29	242,35	8,36	5,52	<0,0001
bloco		1	2,34	2,34	1,55	0,214
resíduo		173	261,2	1,51		
Total		209	518,23			

Na Tabela 5.42 estão apresentados as aceitabilidades médias dos atributos aparência, aroma, sabor, teor de sal, textura e impressão global.

Tabela 5.42- Valores médios dos atributos sensoriais para todas as amostras de filé de tilápia salgado, defumado e seco.

<b>Atributos de aceitação</b>						
<b>Amostras</b>	<b>Aparência</b>	<b>Aroma</b>	<b>Sabor</b>	<b>Teor de sal</b>	<b>Textura</b>	<b>Impressão global</b>
40°C/15% FL (A1)	6,51	6,79	6,97	6,91	7,15	6,85
40°C/25% FL (A2)	6,26	6,61	6,62	6,77	6,85	6,69
60°C/15% FL (A3)	5,85	6,22	6,71	6,79	6,20	6,40
60°C/25% FL (A4)	6,16	6,58	7,18	7,19	6,80	6,89
50°C/20% FL (A5)	5,92	6,36	6,18	6,12	6,28	6,28
50°C/20% FL (A6)	6,07	5,90	7,00	6,17	6,54	6,46
50°C/20% FL (A7)	6,74	6,82	6,98	6,52	6,92	6,93

Verifica-se na Tabela 5.44 que as médias para todos os atributos não diferiram estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ). As médias de todos os atributos foram superiores a 5,85, mostrando uma boa aceitação do filé de tilápia salgado, defumado e seco.

Os resultados do teste sensorial de aceitação para as amostras de filé de tilápia salgado, defumado e seco, encontram-se ilustrados nos histogramas de frequência referentes a todos os atributos sensoriais avaliados no presente trabalho (Figura 5.59 a Figura 5.64).

Observando-se os histogramas de frequência para todos os atributos avaliados, verifica-se que, a maioria das respostas obtidas, encontra-se na faixa que indica a aceitação dos produtos, ou seja, valores iguais ou superiores a 5.

Observando a Figura 5.59, verificamos que para o atributo aparência as amostras A7 e A4 apresentaram maior porcentagem de notas acima de 5 (83%), seguidas das amostras A3 e A2 com 80% dos provadores dando notas acima de 5. As amostras A7 e A4 apresentaram 3,3% de nota mínima zero e 16,7% de nota máxima 9. A menor porcentagem de aceitação foi da amostra A6 com 67% de notas acima de 5, com nota mínima de 2 para 13,3% das amostras e nota máxima de 9 para 16,6% dos provadores. Portanto, as amostras mais aceitas, com relação ao atributo de aparência foram as amostras (A4- 60°C e 15% FL e A7- 50°C e 20% FL).

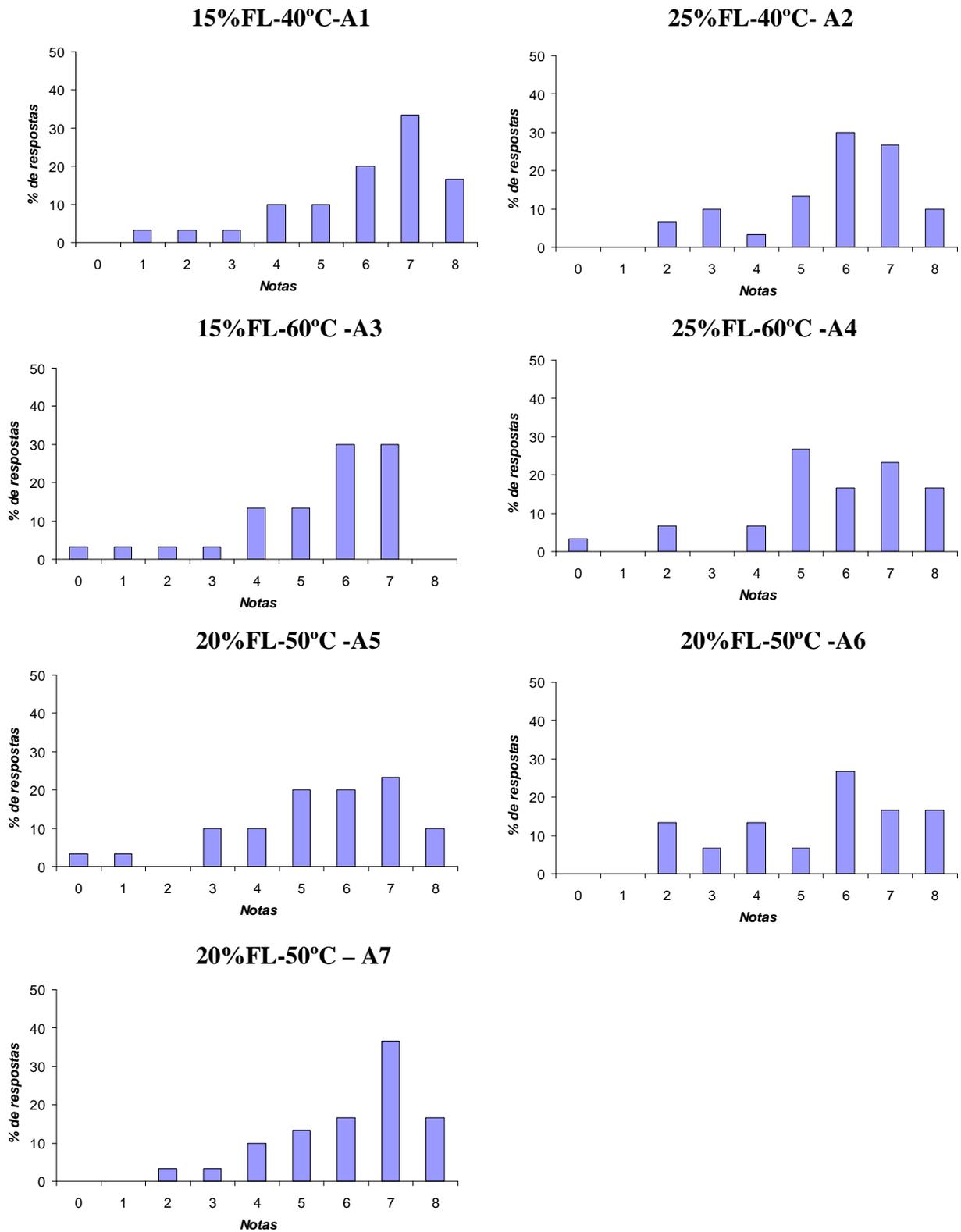
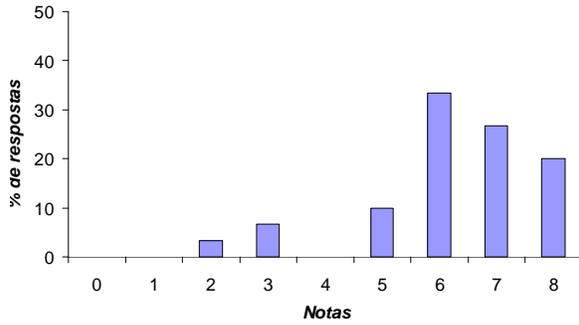
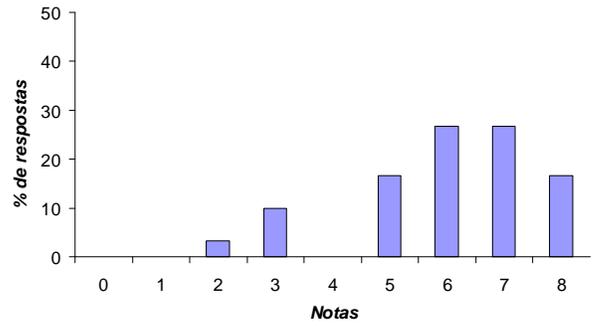


Figura 5.59– Histograma de frequência para o atributo de aceitação sensorial aparência

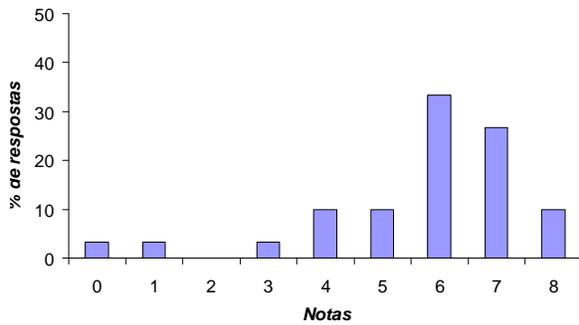
**15%FL-40°C - A1**



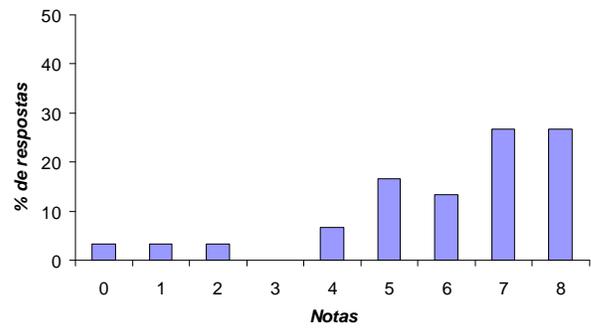
**25%FL-40°C - A2**



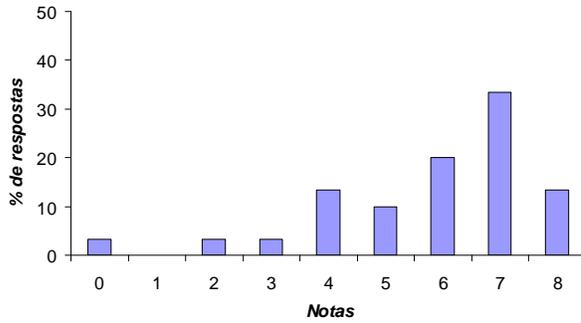
**15%FL-60°C - A3**



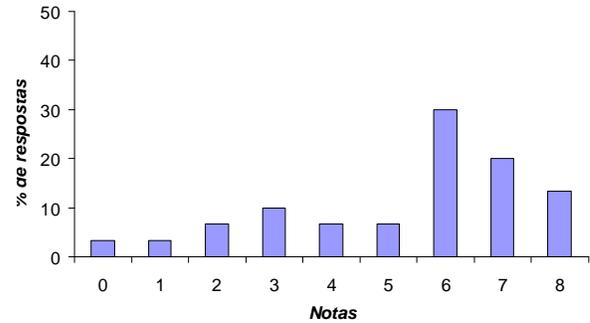
**25%FL-60°C - A4**



**20%FL-50°C - A5**



**20%FL-50°C - A6**



**20% FL -50°C -A7**

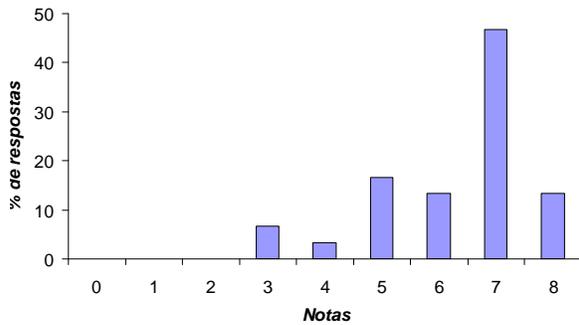


Figura 5.60– Histograma de frequência para o atributo de aceitação sensorial aroma.

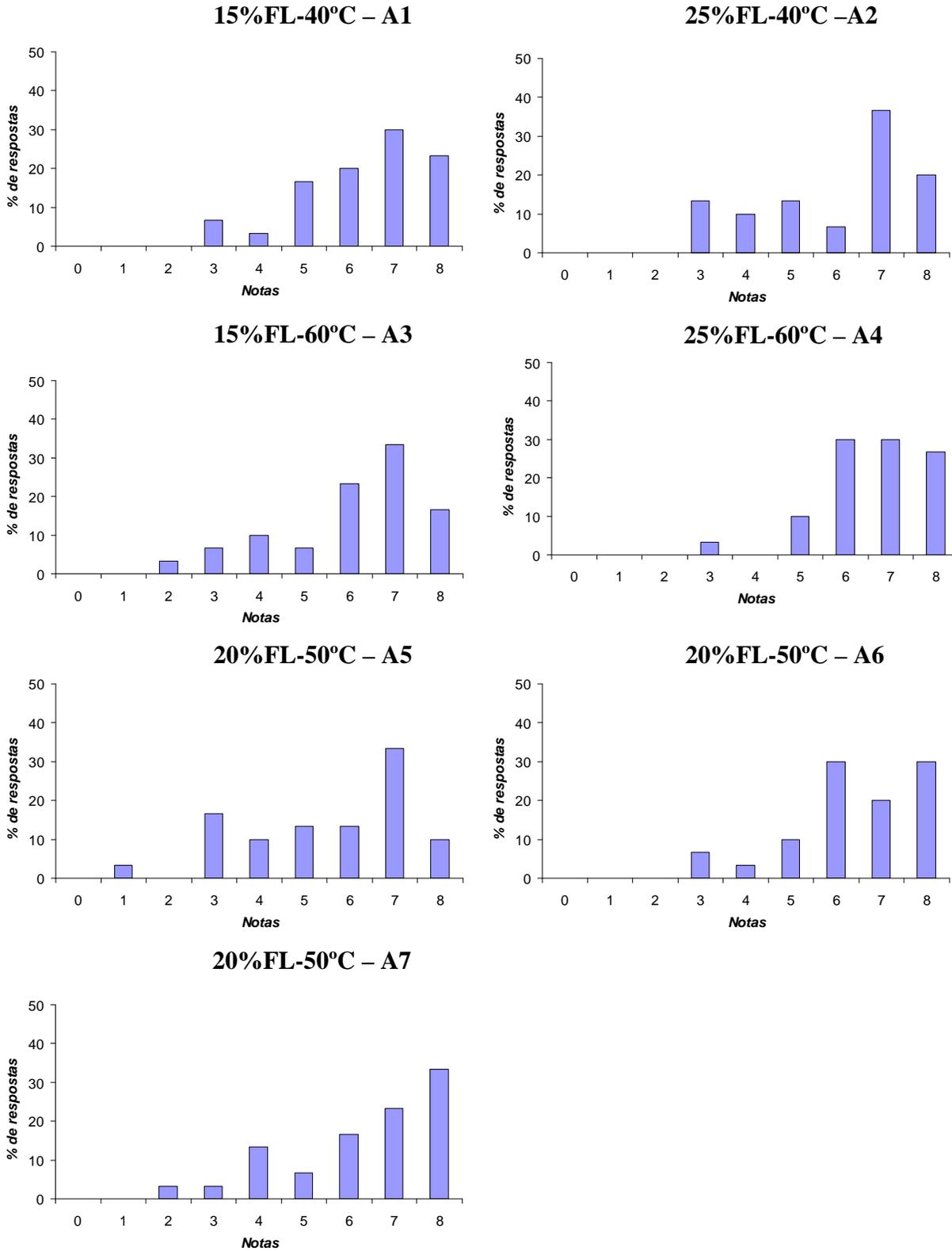


Figura 5.61– Histograma de freqüência para o atributo de aceitação sensorial sabor.

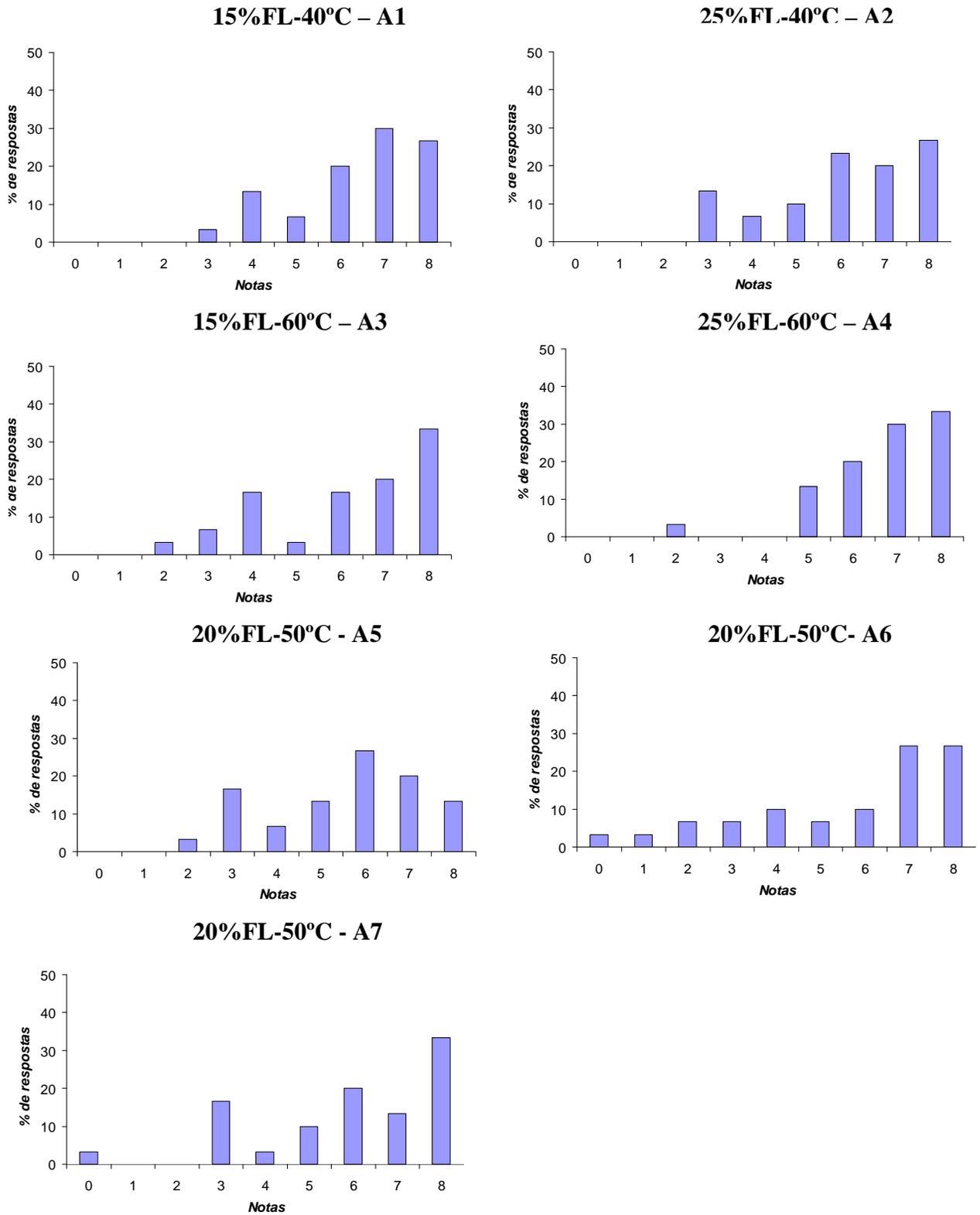


Figura 5.62– Histograma de frequência para o atributo de aceitação sensorial teor de sal.

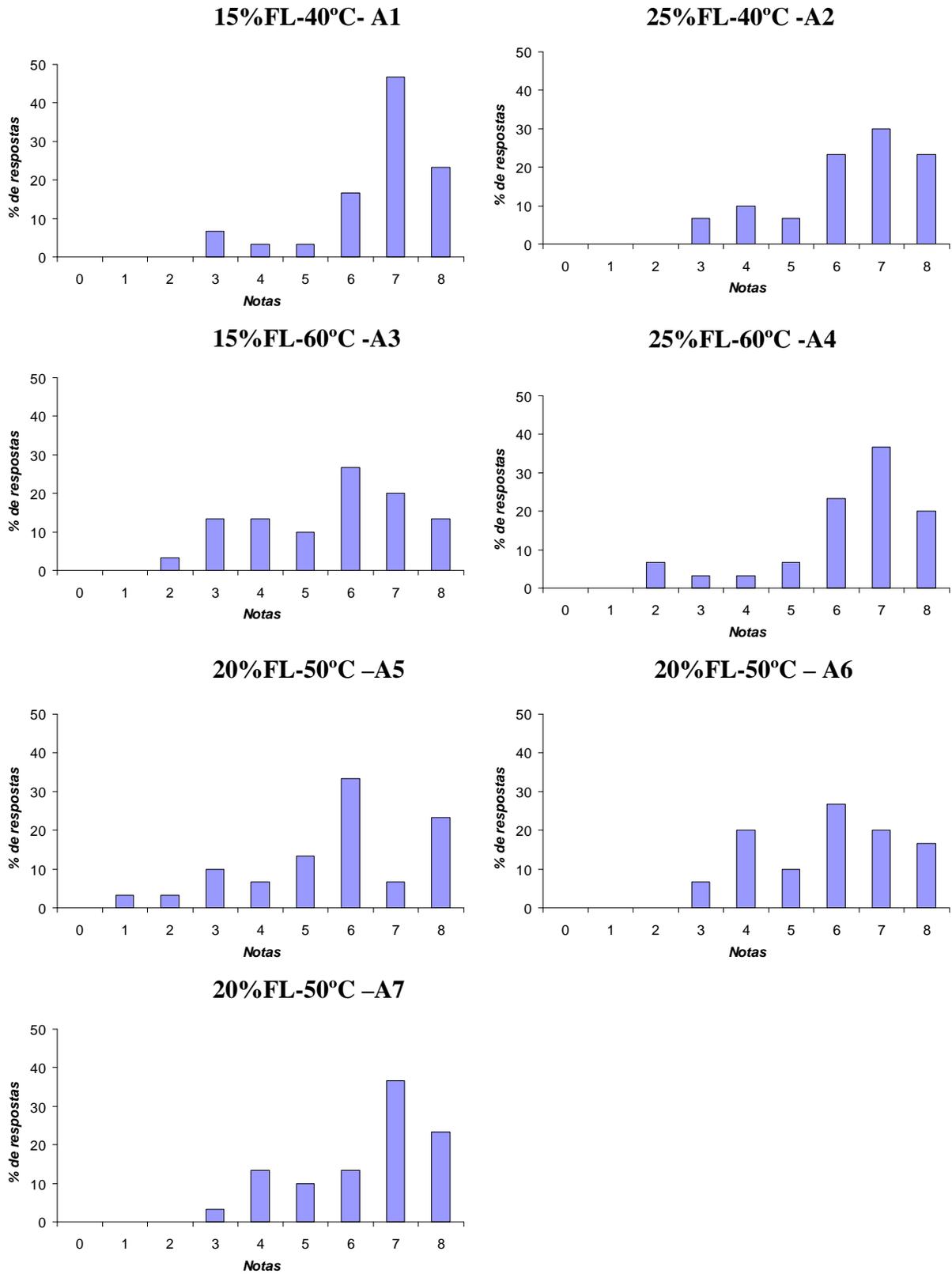


Figura 5.63– Histograma de frequência para o atributo de aceitação sensorial textura.

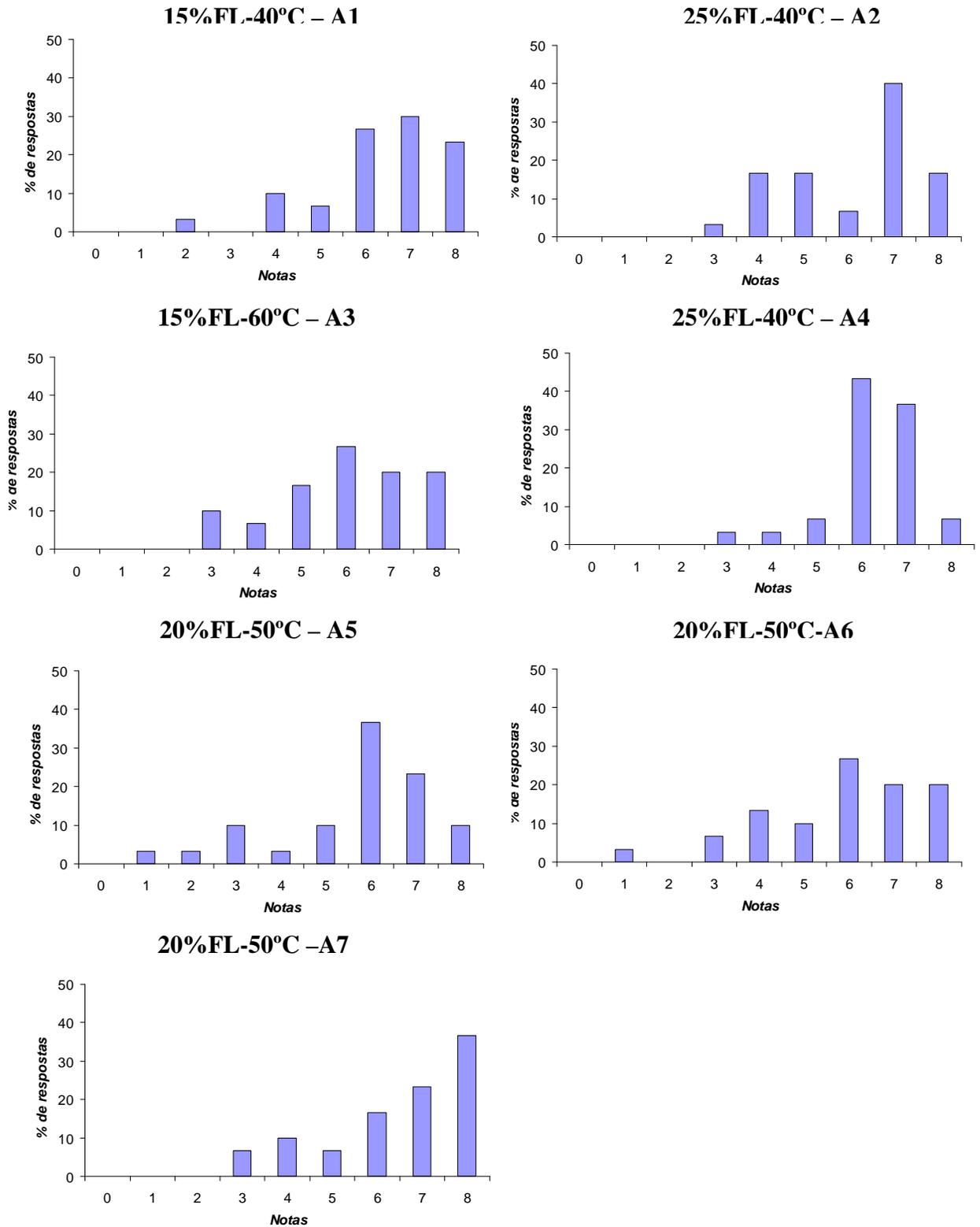


Figura 5.64 – Histograma de frequência para o atributo de aceitação sensorial impressão global.

Na Figura 5.60, observa-se que, para o atributo aroma, a amostra que apresentou maior porcentagem de notas acima de 5 foram as amostras A7 e A3 com 90%, seguida da amostra A4 com 86,7% e da amostra A2 com 83% das notas acima de 5. A amostra A3 apresentou 20% de nota máxima 9 e 3,3% de nota mínima 1. A amostra A7 apresentou 13,3% de nota máxima 9 e 6,7% de nota mínima 4. As amostras A4 e A2 apresentaram 16,7% e 26,7% e nota máxima 9 e 3,3% de nota mínima zero e 1 respectivamente. A menor porcentagem de aceitação foi a amostra A6 com 70% das notas acima de 5, 13,3% de nota máxima 9 e 3,3% de nota mínima zero. Portanto, as amostras mais aceitas com relação ao atributo aparência foram as amostras (A7-50°C e 20% FL, A3-40°C e 15% FL e A4-40°C e 25% FL).

A Figura 5.61 mostra que, para o atributo sabor, as amostras que apresentaram maior porcentagem de notas acima de 5 foram a A4 com 96,7%, seguida das amostras A6 e A3, com 90% das notas acima de 5. As amostras A6, A4 e A3 apresentaram 30%, 26,7% e 23,3% de nota máxima 9 respectivamente e de nota mínima 4, 6,7%, 3,3% e 6,7% respectivamente. A menor porcentagem de aceitação foi a amostra A5 com 70% das notas acima de 5, 10% das notas acima da nota máxima 9 e 3,3% da nota mínima 2. Portanto as amostras mais aceitas com relação ao atributo sabor foram a (A4-60°C e 15% FL, A6-50°C e 20% FL e A3-40°C e 15% FL).

Na Figura 5.62, verifica-se que, para o atributo teor de sal, as amostras que apresentaram maior porcentagem de notas acima de 6 foram a A4 (96,7%) e A1 (83%), seguido da amostra A2 com 80% de notas acima de 5. A amostra A4 apresentou 33,3% de nota máxima 9 e 3,3% de nota mínima 3. As amostras A1 e A2 apresentaram 26,7% de nota máxima 9 e 3,3% e 13,3 de nota mínima 4 respectivamente. A menor porcentagem de aceitação foi da amostra A5 com 73% de notas acima de 5, 13,3% de nota máxima 9, e 3,3% de nota mínima 3. As amostras mais aceitas, com relação ao atributo teor de sal foram a (A4-60°C e 15% FL, A1-40°C e 15% FL e A2-40°C e 25% FL).

Para o atributo textura (Figura 5.63), as amostras que apresentaram maior porcentagem de aceitação foram as amostras A1 e A4 com 90% e 86,7% de notas acima de 5, seguida da amostra A2 com 83,7%. As amostras A1 e A2 apresentaram 23,3% de nota máxima 9 e 6,7% de nota mínima 4, enquanto que a amostra A4 apresentou 20% de nota máxima 9 e 6,7% de nota mínima 2. A menor porcentagem de aceitação foi da amostra A1

com 70% de notas acima de 5, 13% de nota máxima 9 e 3,3% de nota mínima 3. As amostras mais aceitas, com relação ao atributo textura foram (A4- 60°C e 15% FL e A1- 40°C e 15% FL).

Para o atributo impressão global (Figura 5.64), as amostras que apresentaram maior porcentagem de aceitação com notas acima de 5 foram as amostras A4 (93%), A1 (86,7%) e A7 e A3 com e 80% seguida da amostra. A amostra A4 apresentou 6,7% de nota máxima 9 e 3,3% de nota mínima 4. As amostras A1, A3 e A7, apresentaram 23,3%, 20% e 36,7 % de nota máxima 9 respectivamente e de nota mínima 4 (3,3%), 4 (10%) e 4 (6,7%) respectivamente. A menor porcentagem de aceitação foi da amostra A6 com 76,7% de notas acima de 5, 20% de nota máxima 9 e 3,3% de nota mínima 2. As amostras mais aceitas, com relação ao atributo impressão global foram (A4-60°C e 15% FL , A1-40°C e 15% FL e A7-50°C e 20% FL).

Como as amostras não diferiram estatisticamente entre si, a amostra que foi escolhida para as análises físico-químicas, de textura e de microestrutura foi a amostra que foi seca com uma temperatura de 40°C e concentração de fumaça líquida de 15%, por apresentar provavelmente um custo menor de obtenção destes produtos.

#### 5.7.4 Planejamento Experimental

Do planejamento experimental 2<sup>2</sup> realizado para a secagem e a análise sensorial do processo de defumação de tilápia, obteve-se a estimativa dos efeitos para a difusividade efetiva (Tabela 5.43) e a estimativa dos efeitos para os atributos sensoriais estudados (Tabela 5.44).

Tabela 5.43 – Estimativa dos efeitos para a difusividade efetiva.

	<b>Difusividade</b>			
	<b>Efeito</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>t(3)</b>	<b>p</b>
<b>Média</b>	<b>2,7598</b>	<b>0,1598</b>	<b>17,2652</b>	<b>0,000</b>
Concentração da FL	0,3522	0,3211	1,0967	0,3529
Temperatura	0,3722	0,3211	1,1590	0,3303
FL×T	0,2959	0,3226	0,9174	0,4266

Tabela 5.44 - Estimativa dos efeitos para os atributos estudados.

<b>Aparência</b>				
	<b>Efeito</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>t(3)</b>	<b>p</b>
<b>Média</b>	<b>6,1452</b>	<b>0,1706</b>	<b>36,0305</b>	<b>0,000</b>
Concentração da FL	0,1276	0,3427	0,3723	0,734
Temperatura	-0,2824	0,3427	-0,8241	0,470
FL×T	0,1843	0,3442	0,5355	0,629
<b>Aroma</b>				
	<b>Efeito</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>t(3)</b>	<b>p</b>
<b>Média</b>	<b>6,4684</b>	<b>0,1943</b>	<b>33,2978</b>	<b>0,000</b>
Concentração da FL	0,2500	0,3903	0,6406	0,567
Temperatura	-0,1400	0,3903	-0,3586	0,744
FL×T	0,1131	0,3920	0,2885	0,792
<b>Sabor</b>				
	<b>Efeito</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>t(3)</b>	<b>p</b>
<b>Média</b>	<b>6,8229</b>	<b>0,1803</b>	<b>37,8346</b>	<b>0,000</b>
Concentração da FL	0,1524	0,3623	0,4206	0,702
Temperatura	0,2424	0,3623	0,6690	0,551
FL×T	0,3194	0,3639	0,8776	0,445
<b>Teor de sal</b>				
	<b>Efeito</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>t(3)</b>	<b>p</b>
<b>Média</b>	<b>6,7919</b>	<b>0,1658</b>	<b>40,9617</b>	<b>0,000</b>
Concentração da FL	0,3713	0,3332	1,1146	0,346
Temperatura	0,3913	0,3332	1,1746	0,325
FL× T	0,0334	0,3346	0,0998	0,927
<b>Textura</b>				
	<b>Efeito</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>t(3)</b>	<b>p</b>
<b>Média</b>	<b>6,6030</b>	<b>0,1840</b>	<b>35,8948</b>	<b>0,000</b>
Concentração da FL	0,1398	0,3696	0,3781	0,731
Temperatura	-0,3802	0,3696	-1,0288	0,379
FL ×T	0,1146	0,3712	0,3086	0,778
<b>Impressão Global</b>				
	<b>Efeito</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>t(3)</b>	<b>p</b>
<b>Média</b>	<b>6,5885</b>	<b>0,1056</b>	<b>62,3744</b>	<b>0,000</b>
Concentração da FL	0,1761	0,2122	0,8297	0,468
Temperatura	-0,4339	0,2122	-2,0444	0,133
FL ×T	0,0008	0,2132	0,0037	0,997

Analisando a Tabela 5.43 verifica-se que somente a média é significativa, a 95% de confiança, para a difusividade efetiva, isto é a temperatura e a concentração da fumaça líquida não exerceram efeito na difusividade.

Analisando a Tabela 5.44, verifica-se que apenas a média é significativa a 95% de confiança para todos os atributos sensoriais estudados.

### 5.7.5 Análise Físico-Química.

Os resultados de composição química do produto final defumado e seco se encontram na Tabela 5.45.

Tabela 5.45 – Composição química do produto final defumado e seco e do *in natura*.

Componentes ( base úmida)	<i>In natura</i>	Defumado e seco
Umidade (%)	77,13 ± 0,22	54,69 ± 0,03
Lipídios (%)	2,60 ± 0,35	3,90 ± 0,68
Proteínas (%)	19,36 ± 0,49	37,12 ± 0,52
Cinzas (%)	1,09 ± 0,02	5,03 ± 0,05

Comparando os valores das Tabela 5.45, verifica-se que ao diminuir o conteúdo de umidade, houve um aumento do conteúdo de proteínas e lipídios. O conteúdo de cinzas aumenta, devido à absorção de cloreto de sódio no músculo durante a imersão da salmoura. Este comportamento também foi observado por RIBEIRO (2005), com matrinchã (*Brycon cephalus*) defumado em fumaça líquida.

### 5.7.6 Análise Microbiológica

Do ponto de vista sanitário o produto salgado, seco defumado apresentou qualidade satisfatória com a contagem de microorganismos de acordo com os padrões legais vigentes estabelecidos pela resolução RDC número 12 de 01 de janeiro de 2001, da Agencia Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) o que garante o cuidado das boas práticas usadas durante o processo de fabricação nos testes experimentais, os resultados das análises são apresentados na Tabela 5.46.

Tabela 5.46-Analise microbiológica de pescado salgado, defumado e seco.

Análises	Legislação	Resultados
Salmonella (em 25g)	Ausente	Ausente
Coliformes Totais (NMP/g)	Max. $10^2$ /g	NMP<3/g
Clostrídios Sulfito-redutores (UFC/g)	Max. $5 \times 10^2$ /g	<10 UFC/g
Staphylococcus coagulase positiva (UFC/g)	Max. $10^3$ /g	<10 <sup>2</sup> UFC/g

### 5.8 Textura (TPA)

A Figura 5.65 apresenta as curvas típicas de TPA obtidas para os ensaios de filé de tilápia e Tabela 5.47 apresenta a nomenclatura utilizada para cada amostra.

Tabela 5.47 – Nomenclatura utilizada nas amostras de filé de tilápia

<b>Amostra</b>	<b>Nomenclatura adotada</b>
<i>In natura</i>	IN
Defumada (15% p/p fumaça líquida) Seca (40°C)	DS
Desidratada (24,6% p/p NaCl; 230min) Seca (50°C)	DOS1
Desidratada (13% p/p NaCl; 37% p/p sacarose; 165min) Seca (50°C)	DOS2

Os resultados obtidos nos ensaios de TPA estão apresentados na Tabela 5.48 , com os respectivos desvios padrão para as 6 repetições realizadas.

Tabela 5.48 - Dados obtidos em ensaios de TPA.

<b>Amostras</b>	<b>Dureza (N)</b>	<b>Adesividade (N.s)</b>	<b>Elasticidade</b>	<b>Coesividade</b>	<b>Gomosidade (N)</b>
IN	4,32 <sup>a</sup> ± 0,84	-0,37 <sup>a</sup> ± 0,06	0,82 <sup>a</sup> ± 0,09	0,003 <sup>a</sup> ± 0,000	0,01 <sup>a</sup> ± 0,00
DS	24,71 <sup>b</sup> ± 4,28	-0,16 <sup>b</sup> ± 0,02	0,64 <sup>a</sup> ± 0,13	0,44 <sup>b</sup> ± 0,05	10,78 <sup>b</sup> ± 1,58
DOS1	72,59 <sup>c</sup> ± 10,36	-0,12 <sup>b</sup> ± 0,04	0,69 <sup>a</sup> ± 0,14	0,55 <sup>cd</sup> ± 0,10	34,04 <sup>c</sup> ± 4,95
DOS2	43,44 <sup>d</sup> ± 8,58	-0,15 <sup>b</sup> ± 0,02	0,85 <sup>ab</sup> ± 0,06	0,55 <sup>cd</sup> ± 0,04	22,57 <sup>d</sup> ± 3,81

\*Letras iguais na mesma coluna correspondem a médias iguais no teste de Tukey a 5% de significância.

Observando a Tabela 5.48 verifica-se que a dureza foi estatisticamente diferente nas 4 amostras analisadas e que das amostras processadas, a DS apresentou menor dureza e a DOS1 apresentou maior dureza.

Observando a diferença entre os picos, o segundo pico tem quase o mesmo tamanho primeiro, dando um indicativo que o peixe retorna quase totalmente a forma original. A elasticidade quanto mais próxima de 1 (um), mais elástica é a amostra, quanto mais próxima de zero, mais plástica.

Somente as amostras *IN*, *DS* e a *DOS1* apresentaram elasticidade iguais, enquanto que a amostra *DS* e a *DOS2* apresentaram elasticidade estatisticamente diferentes a 5% de significância. A amostra *DS* e a *DOS2* mostraram perder elasticidade em relação à amostra *IN*.

Quanto a adesividade, a amostra *IN* apresenta adesividade estatisticamente diferente das amostras processadas a 5% de significância. A amostra *IN* mostra ser mais pegajosa, ou seja, adere na boca durante o processo de comer, sendo necessário uma força maior para desgrudá-la do que nas amostras processadas.

Quanto a coesividade, a amostra *IN* se mostrou diferente das processadas e a *DS* diferente das desidratadas.

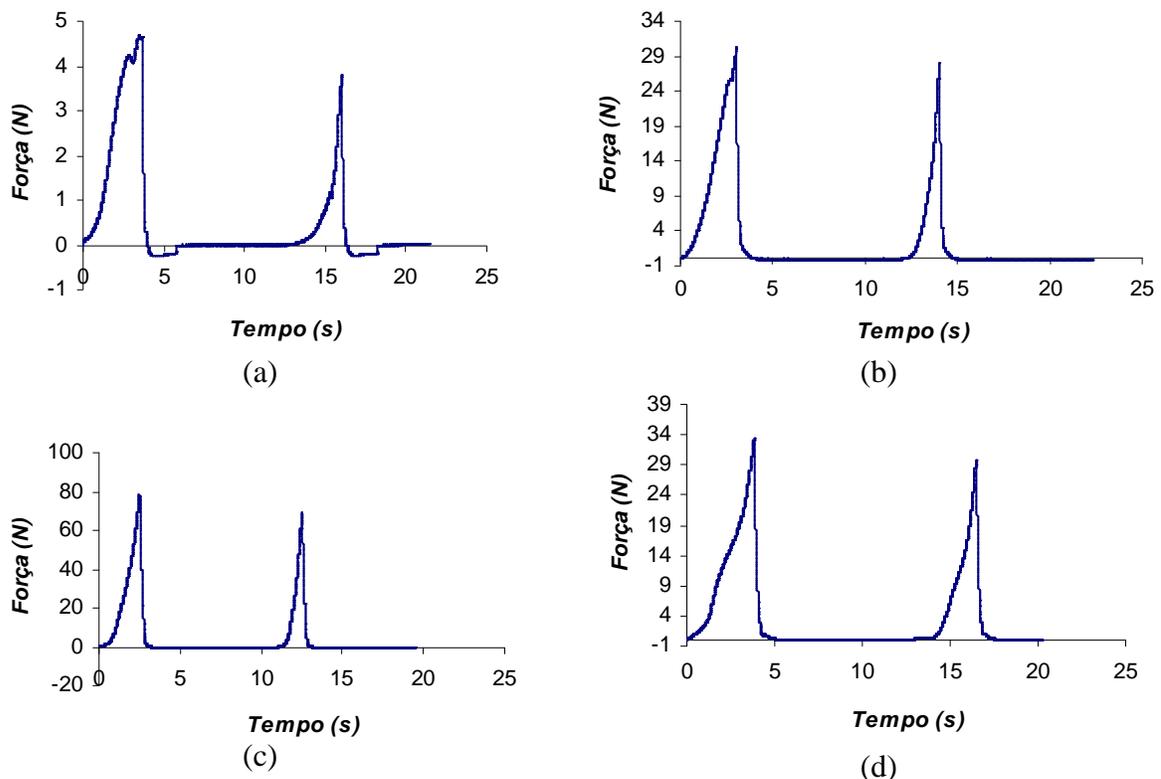


Figura 5.65 Curvas típicas obtidas em ensaios de TPA para filé in natura (a), defumado e seco (b), desidratado NaCl e seco (c) e desidratado em NaCl+ sacarose e seco (d).

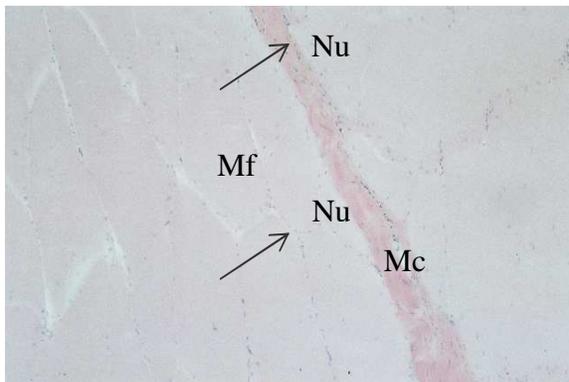
A gomosidade foi estatisticamente diferente entre todas as amostras analisadas, a amostra *IN* apresentou menor gomosidade, portanto, é necessária uma energia menor para desintegrar o peixe in natura, até que ele seja engolido do que para as amostras processadas. Quanto às amostras processadas, a amostra DOS1, apresentou maior gomosidade, seguido da DS e da DOS2.

VIVANCO-PEZANTES (2006) utilizou TPA para avaliar a textura de filé de bonito desidratado e seco, e desidratado em pulso de vácuo e seco. O autor não verificou diferença na dureza ( $5N \pm 2$ ), e encontrou valores muito baixos ( $0,5N \pm 0,2$ ) para a gomosidade, e também para a coesividade ( $0,08 \pm 0,3$ ).

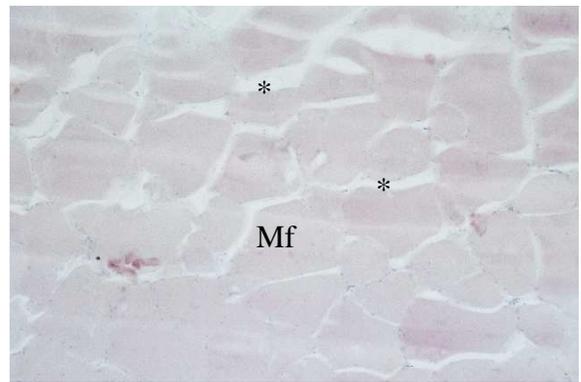
## 5.9 Microscopia

As Figura 5.66 e Figura 5.67 mostram a estrutura celular da tilápia *in natura* e da desidratada osmoticamente com soluções de NaCl (25,6% p/p, 230min imersão e 34°C) e NaCl +sacarose (13% NaCl, 37% sacarose, 185min imersão e 34°C). Pode-se observar que o tecido do músculo de peixe *in natura* apresenta ligações miofibrila-miofibrila e miofibrila-miocomata bem definidas. O processo osmótico causou danos estruturais ao peixe e provocou *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 (OFSTAD *et al.* 2006). TAYLOR *et al.* (2002) em estudo de Salmão do Atlântico (*Salmo solar*), este processo de perda de ligação miofibrila-miofibrila (endomisio), foi evidente com alguma perda da integridade do miocomata, durante a estocagem em gelo.

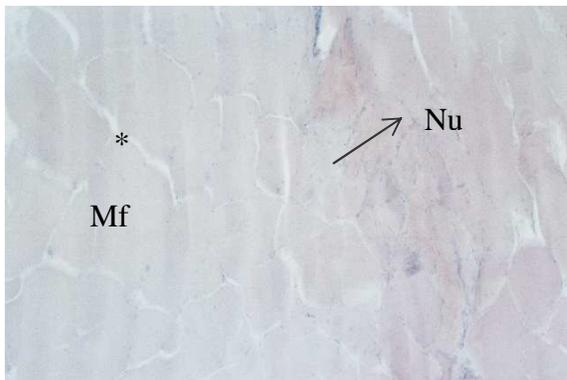
As Figuras 5.65(d) e 5.66(d) mostram que a tilápia desidratada com solução de NaCl + sacarose parece ter conservado melhor a estrutura das fibras do que a desidratada com solução de NaCl. Este processo pode ser explicado pelo efeito barreira do açúcar relatado por alguns autores (COLLIGNAN e RAOULT-WACK, 1992, BOLIN *et al.* 1983, LENART e FLINK, 1984, BOHUON *et al.* 1998) que impede a entrada de NaCl no músculo do peixe, diminuindo portanto o processo de desnaturação da proteína.



Tilápia *in natura*  
(a)



Tilápia desidratada com NaCl  
(b)



Tilápia desidratada com NaCl + sacarose  
(c)

Figura 5.66–Microscopia ótica de Tilápia *in natura* e desidratada osmoticamente, com aumento de 10X e corante Hematoxilina-Eosina. Endomisio (e), miocomata (Mc), miofibrila (Mf), núcleo (Nu) e *Gaping* (\*).

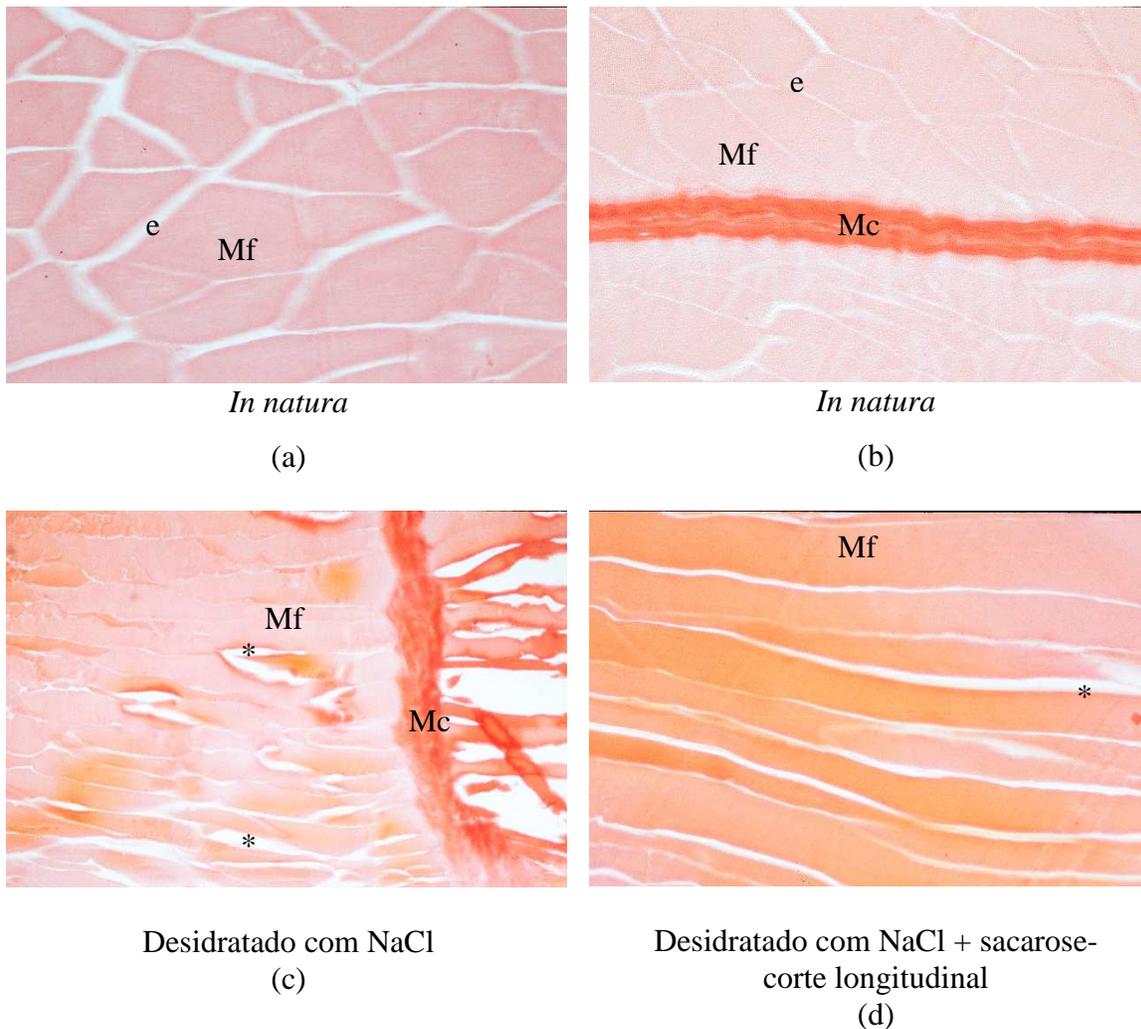


Figura 5.67–Microscopia ótica de Tilápia *in natura* e desidratada osmoticamente, com aumento de 10X e corante Xilidine Ponceau. Endomysio (e), miocomata (Mc), miofibrila (Mf), e *Gaping* (\*).

As Figura 5.68 e Figura 5.69 mostram a microestrutura do músculo da tilápia submetida ao processamento de defumação. A tilápia salgada a 4% de NaCl sofreu o processo de *gaping*, que é a separação das fibras, que é melhor visualizado na Figura 5.69(a). Isto demonstra que uma pequena concentração de NaCl pode interferir na estrutura do material.

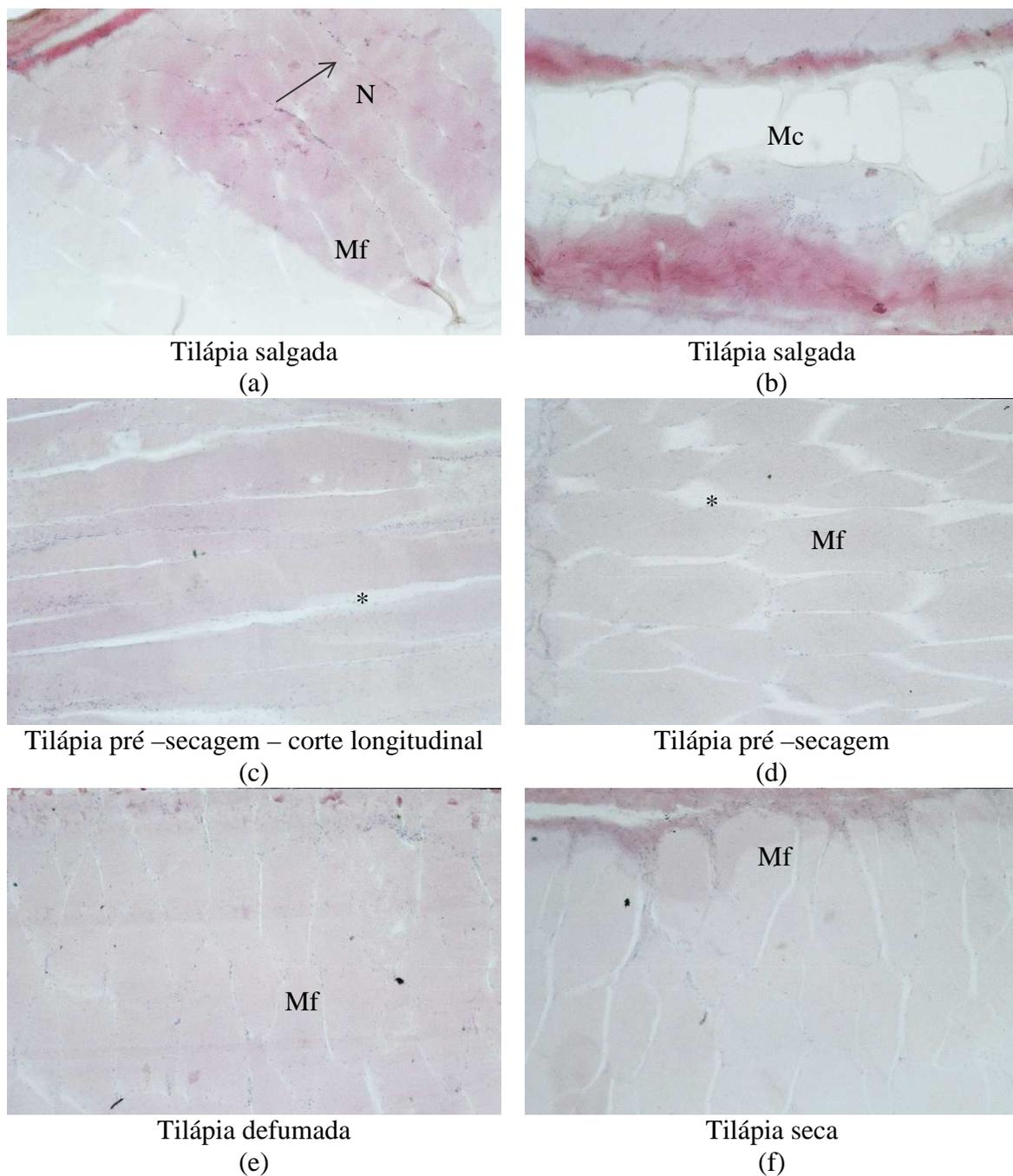


Figura 5.68–Microscopia ótica do processamento de tilápia defumada, com aumento de 10X e corante Hematoxilina-Eosina. Miofibrila (Mf), núcleo (Nu) e *Gaping* (\*).

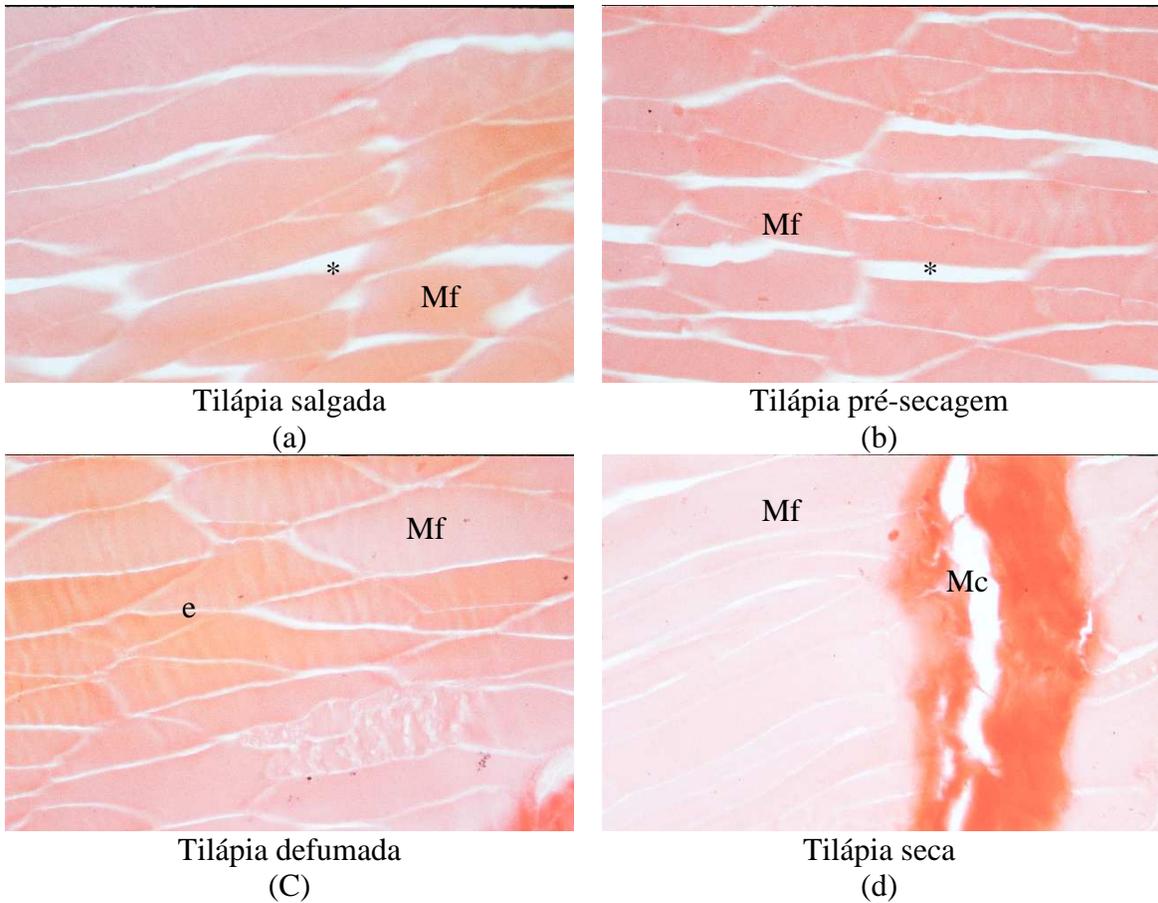


Figura 5.69–Microscopia ótica do processamento de tilápia defumada, com aumento de 10X e corante Xilidine Ponceau. Endomísio (e), miocomata (Mc), miofibrila (Mf), e *Gaping* (\*).

Quando a tilápia sofreu o processo de pré-secagem a 40°C e 30min ocorreu o processo de *gaping*, mostrando que o processo de secagem interferiu na estrutura do pescado. O processo de defumação a 15% p/p de fumaça líquida e 25s de imersão, parece conservar a estrutura da amostra. No processo de secagem também foi observado o *gaping*, no entanto a microestrutura parece ser melhor conservada do que quando a amostra sofreu a pré- secagem, mostrando que a defumação causou a conservação da estrutura do pescado.

Portanto, o processo que conservou melhor a estrutura do músculo de filé de tilápia foi o desidratado osmoticamente em solução de sacarose e o defumado em fumaça líquida.

## 6. CONCLUSÕES

### PRIMEIRO TRATAMENTO

- A concentração de NaCl e a temperatura foram as variáveis que mais influenciaram na perda de peso e perda de água para as amostras de filé de tilápia desidratadas com NaCl, apresentando um efeito positivo.
- A interação NaCl×tempo×temperatura foi significativa no ganho de sólidos para as amostras desidratadas com NaCl.
- O tempo e a concentração de NaCl influenciaram de forma negativa na atividade de água para as amostras desidratadas com NaCl.
- A concentração de NaCl agiu de forma negativa para as amostras desidratadas com NaCl + sacarose, mostrando o efeito barreira da sacarose.
- O resultado da regressão não linear de Fick, considerando quatro termos da série, para todos os dados experimentais não foi satisfatório, apresentando erros relativos médios altos.
- Solução de sacarose + NaCl são mais eficientes em promover perda de água e ganho de sólidos em amostras de filés de tilápia
- As amostras pré-tratadas em solução de NaCl apresentaram menores valores de atividade de água do que as pré-tratadas com solução de sacarose + NaCl.
- O modelo de Fick não se ajustou bem aos dados experimentais desidratação osmótica e secagem de tilápia desidratada. O modelo de PAGE apresentou melhor ajuste em relação ao modelo difusional.
- As amostras avaliadas de tilápia desidratada e seca tiveram uma boa aceitabilidade em relação aos atributos avaliados, apresentando diferença em relação ao sabor das amostras in natura em relação à amostra desidratada com solução de NaCl + sacarose.

## SEGUNDO TRATAMENTO

- O modelo de Fick não se ajustou bem aos dados experimentais de secagem de tilápia defumada. O modelo de Page apresentou melhor ajuste em relação ao modelo difusional.
- As amostras de tilápia defumada e seca tiveram uma boa aceitabilidade em relação aos atributos avaliados e não houve efeito dos parâmetros dos processos.

## QUALIDADE FINAL

- As amostras de filé de tilápia tratadas se mostraram duras, elásticas, pouco adesivas, coesivas e gomosas, sendo que, a dureza e a gomosidade foram os parâmetros de textura mais influenciados pelos tratamentos.
- A amostra de filé de tilápia desidratada com NaCl apresentou maiores danos na estrutura do material, causando *gaping*, enquanto que a desidratada com NaCl + sacarose e a defumação líquida conservou melhor a microestrutura muscular da tilápia.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKMAN, R.G. Nutritional Composition of fats in seafoods. **Progress in Food and Nutrition Science**, n. 13, p. 161-241, 1989.

ADICON. **Boletim Técnico de Pescado Defumado**. São Paulo: ADICON Ind. E Com de Aditivos Ltda, 1998.7p

ALVES, D.G. **Utilização do processo combinado de desidratação osmótica e secagem para obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa**. Campinas, 2003. 157p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas.

ANTONIO, G.C. **Avaliação do efeito dos Pré-tratamentos de Desidratação Osmótica e Secagem HTST na obtenção de Snacks de Batata Doce (*Ipomoea Batatas Lam*)**. Campinas, 2006. 185p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas.

ANTUNES, A. J.; CANHOS, W. P. **Aditivos em alimentos**. São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, 1983. 178p.

ANVISA (Agência de Vigilância Sanitária). **Regulamento Técnico Sobre Padrões de Qualidade para Alimentos**. Resolução –RDC.n.12, de 02 de janeiro de 2001.

AOAC. Official Methods of Analysis. 16<sup>a</sup> edição. **Association of Official Analytical Chemists**, Washington, DC, EUA, 1997.

AZOUBEL, P. M. **Estudo da cinética de desidratação por Imersão e Secagem de Tomate Cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*)** Campinas, 1999. 99p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas.

AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H.S.; BERISTAIN, C.I. Kinetic model for osmotic dehydration and relationship with Fick's second law. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 27, p. 409-418, 1992.

BARBOZA JUNIOR, J. L. **Influência da temperatura e da concentração na desidratação osmótica de abóbora (*Cucurbita máxima*) e cenoura (*Daucus carota* L.) utilizando metodologia de superfície de resposta**. Campinas, 2002. 83p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas.

BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomatoes in binary and ternary solutions. In: 8th International Congress on Engineering and Food (ICEF 8), 2000, Lancaster, Pennsylvania, **Proceedings**, CD-Rom.

BARRERA, C.; SOBRINO, I.; BETORET, N.; TARRAZÓ, J.; FITO, P. Osmotic dehydration of pineapple slabs: fluxes and mass transfer kinetics. In: 9<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING AND FOOD (ICEF 9), 2004, Montpellier, France, **Proceedings**, CD-Rom.

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

BEIRAO, L.H.; TEIXEIRA, E. M. et. al. Processamento e industrialização de moluscos. In SEMINÁRIO E WORKSHOP “TECNOLOGIA PARA O APROVEITAMENTO INTEGRAL DE PESCADO”. **Resumos**. Campinas: ITAL, 2000, p. 38-84.

BELCHIOR, F. **Revista Nacional da Carne**, fevereiro, ed. Número 312. 2003.

BERAQUET, N.J.; MORI, E.E.H. Influência de diferentes métodos de defumação na aceitabilidade da cavalinha (*Scomber japonicus* Houltt). **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.14, p.1-24, 1984.

BETORET, N.; ANDRÉS, A.; ALEXANDRE, B. B.; MARTÍNEZ, L.; FITO, P. Kinetics of osmotic dehydration of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) slices. Influence of temperature and sodium chloride concentration. In: 9<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING AND FOOD (ICEF 9), 2004, Montpellier, France, **Proceedings**, CD-Rom.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochem. Physiol.**, v. 37, p. 911-917, 1959.

BOERI, R. L.; MOSHIAR, S. M.; LUPIN, H. M. Estudio comparativo de los procesos de salado húmedo y seco de merluza (*Merluccius hubbsi*). **Rev. Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v.22, n. 1, p. 139-145, 1982.

BOHUON, P.; COLLIGNAN, A.RIOS,G.M.; RAOULT-WACK, A. L. Soaking process in ternary liquids: Experimental study of mass transport parameters. **Journal of Food Science**, v. 53, n.3, p. 935-939, 1998.

BOLIN, H. R.; HUXSOLL, C.C.; JACKSON, R.; Ng, K.C. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. **Journal of Food Science**, 48, p. 202-205,1983.

BONILHA, P.R.M.; FALCÃO, D.P. Ocorrência de enteropatógenos em alfaces e suas águas de irrigação. **Alimentos e Nutrição**, v. 5, p. 87-97, 1994.

BOURNE, M. C. Texture Profile Analysis. **Food Technology**, v.63, p. 62-72, 1978.

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

BOX, G. E. P.; HUNTER, 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.

BRENNAN, J. G.; WANG, N. A mathematical model of simultaneous heat and moisture transfer during drying of potato. **Journal of Food Engineering**, v.24, p.47-60, 1980.

- BRON, I. U. **Alterações Anatômicas e Físico-Químicas Associadas ao Armazenamento Refrigerado de Pêssego**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Dissertação (Mestrado). 2001. 66p.
- CASTAGNOLLI, N. **Piscicultura de peixes água doce**. Jaboticabal: Funep, 1992.
- CHIRIFE, J.; FAVETTO, G.J. Some physical-chemical basis of food preservation by combined methods. **Food Research International**, Oxford, v.25, n.5, p.389-396, 1992.
- CLEMENT,S.; LOVELL, R. T. Comparison of Culture Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, v.119, p. 299-310, 1994.
- CODEBELLA, A., GENTELINI, A. L., SIGNOS, A., MARTINS, c. V. B., BOSCOLO, W. R.Characterização Bromatológica do Filé e Pasta Protéica da Carcaça de Tilápia do Nilo. In: Encontro Anual de Iniciação Científica, 11, 2002, Maringá. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2002. 1 CD – ROM.
- COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; POLIGNÉ, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, 49, p. 153-162, 2001
- COLLIGNAN, A.;RAOULT-WACK, A. L. Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar/salt solutions. **Lebensm,-wiss,u,-technol**,v.27, p.259-264, 1994.
- COLLIGNAN, A.; RAOULT-WACK, A. L.; THEMELIN, A. Energy study of food processing by osmotic dehydration and air drying. **Agricultural Engineering Journal**, v.1, n.3, p. 125 – 135, 1992.
- CONTRERAS –GUZMÁN, E.S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: FUNEP, 1994
- CONTRERAS, J.E.; SMYRL,T.G. An evaluation of concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. **Can. Inst. Food Science Tecnology**, v.14, n.4,p.310-314, 1981.
- CORZO, O.; BRACHO, N. Application of PELEG model to study mass transfer during osmotic dehydration of sardine sheets. **Journal of Food Engineering**. (75). p. 535-541, 2006b.
- CORZO, O.; BRACHO, N. Equilibrium water and salt contents of sardine sheets during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**. (65). p. 333-339, 2004
- CORZO, O.; BRACHO, N. Shrinkage of osmotically dehydrated sardine sheets at charging moisture contends. **LWT**. (39). p. 357-363, 2006a.
- CRANK, J. **The mathematics of diffusion**, 2<sup>a</sup> ed. S.I. Claredon Press Oxford, 1975. 414p.
- CUNHA NETO, A.,SILVA, C.G.M.;STAMFORD, T.L.M. Staphylococcus Enterotoxigênicos em Alimentos in Natura e processados no Estado de Pernambuco, Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, no 3,p.263 –271, 2002.
- DAMS, R.I.; BEIRÃO,L.H.;TEIXEIRA,E. Avaliação da qualidade microbiológica da pescadinha (*Cynoscion striatus*) inteira e em filés nos principais pontos críticos de controle de uma indústria de

pescado congelado. **Boletim do Centro de Pesquisa e processamento de Alimentos**.v.14,n.2,p.151-162, 1996.

DEL VALLE, F. R., NICKERSON, J. T. Salting and drying fish 3: Diffusion of water. **Journal of Food Science**, v. 33, p. 499-503,1968.

DIPOA. **Inspeção industrial sanitária**. Disponível em:  
< <http://www.agricultura.gov.br/sda/dipoa/riispoa.html#tituloii>.>Acesso: Dez. 2006.

DUNAJSKI, E. Texture of fish muscle. **Journal of Texture Studies**, v. 10, p. 301-318, 1979.

EL-AOUAR, A. A. **Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de mamão formosa (*Carica papaya L.*)**. Campinas, 2000. 108 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas.

EL-AOUAR, A. A. **Estudo do processo de secagem de mamão formosa (*Carica papaya L.*) fresco e pré-tratado osmoticamente**. Campinas, 2005. 215 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas.

ERICKSON, L. E. Recent developments in intermediate moisture foods. **Journal of Food Protection**, Ames, vol. 45, n. 5, p. 484 – 491, 1982.

EYO, A. A. Carcass composition and filleting yield of ten fish species from Kainji Lake: **proceedings of the FAO expert consultation on fish technology in Africa**. FAO fishers Report, Rome, n. 467, p. 173-175, 1993. Supplement.

ERTEKIN, F. K.; ÇAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peas: influence of process variables on mass transfer. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.20, p.87-104, 1996.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture –2006**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.

FENNEMA, O. R. Comparative water holding properties of various muscle foods. A critical review relating to definitions, methods of measurement, governing factors, comparative data and mechanistic matters. **Journal of Muscle Foods**, 1, 363–381, 1990.

FERREIRA, V.L.P. **Análise sensorial – Testes discriminativos e afetivos**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, p. 73-77, 2000. (Manual Série Qualidade).

FUZHARA, T. O.; FRANCO, B.D.G.M. Bactérias patogênicas e bactérias indicadoras de higiene em carne suína comercializada em Santo André-SP. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 13,n.1, p. 77-88, 1993.

FRIEDMAN, H.H.; WHITNEY, J. E.; SZCZENIAK, A.S. The texturometer –A new instrument of objective texture measurement. **Journal of Food Science**. V. 28, p. 390-396 ,1963.

GALLART-JONET, L.; BARAT, J.M.; RUSTAD, T; ERIKSON, U.; ESCRICHE, I.; FITO, P. A Comparative study of brine salting of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo solar*). **Journal of Food Engineering**, v. 79, p.261-270, 2007.

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.

GONÇALVES, A. A, PRENTICE-HERNANDEZ. Defumação Líquida de Anchova (*Pomatomus saltatrix*): Efeito do Processamento nas Propriedades Químicas e Microbiológicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 18.n 4. 1998.

GUDMUNDSDOTTIR, G.;STEFANSSON, G. Sensory and chemical changes in spice-salted herring as affected by handling. **Journal of Food Science**, 62 (4), 894-897, 1997.

HANN, R. A. Drying of Yellow-Poplar at temperatures above 100°C. **For. Prod. J.** V.6, 1964.  
HATTULA, T.; ELFVING, K.; MROUEH, -M.; LOUMA, T. Use of liquid smoke flavouring as an alternative to traditional flue gas smoking of Rainbow Trout Filets (*Oncorhynchus mykiss*), **Lebensm,-wiss,u,-technol**,v.34, p.521-525, 2001.

HUSS, H. H.; VALDIMARSSO, G. Microbiologia de Pescado Salgado. **Fishe. Tech. New**, n. 15, p. 3-5, 1994.

HYLUY, D.J.; PINHEIRO, H.C.G.; MOURÃO, A.F.; MACEDO, E.P.; CARVALHO, M.L.M.; PINTO, A. Avaliação da qualidade dos produtos pesqueiros no estado do Ceará. **Higiene Alimentar**, v.10, n.45, p. 37, 1996.

IBAMA. **Estatística de Pesca-2004- BRASIL**. Brasília: IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais), 2006.

ISLAM, M. N.; FLINK, L. N. Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. **Journal Food Technology**, v. 17, p. 387-403, 1982.

JASON, A. C. A Study of evaporation and diffusion Process in drying of fish muscle. In: **Fundamentals Aspects of the Dehydration of Foodstuffs**. The Society of Chemical Industry. New York, p.103-135, 1958.

JELLINEK, G. **Sensory Evaluation of Food. Theory and Practice**. Ellis Horwood Ltda., Chichester, England, 429p., 1985.

JOHNSTON, I. A. Muscle Development and Growth: Potential Implications for Flesh quality in Fish. **Aquaculture**, v. 177, p. 99 – 115, 1999.

JORY, D.E.; ALCESTE, C.; CABRERA, T.R. Mercado y comercialization de tilápia en los Estados Unidos de Norteamérica. **Panorama Acuícola**, v.5, n. 5, p. 50-53, 2000.

KUBITZA, F.; KUBITZA, L. M. M. Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade. **Panorama da Aqüicultura**, v. 10, no 59, p. 44-53, 2000.

- LABUZA, T. P. The properties of water in relationship to water binding in food: a review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.1, n. 2, p. 167-190, 1977.
- LAZARIDES, H.N.; KATSANIDIS, E. NICHOLAIDIS, A. Mass transfer during osmotic pre-concentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p. 151 - 166, 1995.
- LEITAO, M. F Microbiologia do pescado e controle sanitário no processamento. **Boletim do ITAL**, n .50, p. 1-35, 1977
- LEITAO, M. F. Microbiologia do pescado salgado. **Coletânea do Ital** - Campinas, (13), p. 123-130, 1983.
- 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. I. Criteria for the end-point of the osmosis process. **Journal of Food Technology**, v. 19, p. 45-63, 1984.
- LERICI, C. R. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on Drying Behavior and product quality. **Journal of Food Science**, v.50, p.1217-1219, 1985.
- LESSI, E. Tecnologia do Pescado Salgado. **In: Seminário sobre Tecnologia de salga e Defumação de Pescado**, Campinas, p. 14-17, 1995.
- LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Eng. Chem.**, 13(5): 427-432, 1921.
- LOHMEYER,C. Propriedades bacteriostáticas das Fumaças Líquidas Naturais,. **Revista Nacional da Carne**, n. 271,set., 1999.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption. isotherm equation. Part I: fruit, vegetables and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie.**, v. 18, p. 111-117, 1985.
- MACEDO-VIEGAS, E. M; SOUZA, M.L.R., KRONKA, S.N. Estudo da carcaça de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), em quatro categorias de peso. **Revista Unimar**, Maringá, v. 19, p. 863-870, 1997.
- MADRUGA, M. S. Formação de aroma cárneo. **Boletim do SBCTA**, v. 31 (1), p. 33-41, jan/jun, 1997.
- MAGNUSSON, H.; MOLLER,A. Ripeness in the brine of sugar-salted herring. **International Journal of Food Microbiology**, 1, 253-261, 1985.
- MEDINA- VIVANCO, M. L. **Estudo da difusão de cloreto de sódio no filé de tilápia (*Oreochromis niloticus*) utilizando volumes limitados de salmoura**. Campinas, 1998, 103 p. Dissertação (mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos,

Universidade Estadual de Campinas.

MEDINA-VIVANCO, M. L. **Desidratação osmótica em soluções ternárias, secagem e transições térmicas de filé de tilápia (*Oreochromis niloticus*)** Campinas, 2003, 211 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

MEILLGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 3 ed. Boca Raton. Florida: CRC Press, 1999.

MELLO, M. L. S. ; VIDAL, B. C., **Práticas de Biologia Celular**. Campinas: Edgard Blücher. P. 71, 1980.

MENDES, E. S.; MENDES, P. P. ; COELHO, M. I. S. ; SOUZA, J. C. R. ; CRUZ, M. C. S. ; ASSIS, A. S. ; ALVES, C. A. B.. Aspectos microbiológicos do camarão *Litopenaeus vannamei* defumado e sua vida de prateleira. **Revista Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 16, n. 99, p. 75-80, 2002.

Minitab Inc. (2003). **MINITAB Statistical Software**, Release 14 for Windows, State College, Pennsylvania.

MINOZZO, M.G. 2002 **Elaboração de Patê Cremoso a Partir de File de Tilápia do Nilo (*Oreochromis Niloticus*) e Sua Caracterização Físico-Química, Microbiológica e Sensorial** . Curitiba, 2005, 110 p. Dissertação (mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná.

MOREIRA, H.L.M. Análise da estrutura de populações e diversidade genética de estoques de reprodutores de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) estimadas por microsatélite. 1999. **Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular)** – Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOREIRA, R.; SERENO, A. M. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. **Journal of Food Engineering**, v.57, p.25-31, 2003.

MOYNE, C.; DEGIOVANNI, A. Importance of gás Phase momentum equation in drying above the boiling pont of water. **Drying'85**. Hemisphere publishing corp. Washington, DC., p. 109-115, 1985.

MULET, A. Drying Modelling and Water Diffusivity in Carrots and Potatoes. **Journal of Food Engineering**. V. 22, p.329-348, 1994.

MYERS, R. H. **Response surface methodology**. Boston: Allyn and Bacon. 1971.

NKETSIA-TABIRI, J.; SEFA-DEDEH, S. Optimisation of process conditions and quality of salted dried tilapia (*Oreochromis niloticus*) using response surface methodology. **Journal Science Food Agriculture**. V.69, p. 117-127, 1995.

- NOGUEIRA, R.I. **Processo de secagem de banana (*Musa acuminata* subgrupo Cavendish cultivar Nanica)**. Campinas, 1991, 53p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- NUGENT,C. 1988. Session II, The status of wild and cultured tilapia genetic resources in various contries. In: PULLIN,R.S.V. et al., (Ed.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Manilla, Philippines: ICLARM, 1988. p.20-21. (**ICLARM Conference Proceedings, nº 15**).
- OFFER, G.; TRINICK, J. On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. **Meat Science**, 8, 245–281. 1983.
- OGAWA, M; MAIA, E.L. **Manual de Pesca – Ciência de tecnologia do pescado**. São Paulo: Varela, V.1, p. 429, 1999.
- OFSTAD, R.; OLSEN,R.L; TAYLOR,R. HANNENSONNON, K.O. Breakdown of intramuscular connective tissue in cod (*Gadus morthua L.* ) and spotted wolffish (*Anarchichas minor O.*) related gaping. **LWT**. V.39, p. 1143-1154, 2006.
- PACHECO, D. O peixe de ouro da aqüicultura brasileira. **Revista Nacional da Carne**, março, ed. Número 325. 2004.
- PAGE, G.E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. Indiana, 1949. Dissertação (Mestrado). Purdue University.
- PARK , Difusional model with and without shrinkage during salted fish muscle drying. **Drying Technology**. 16 (3-5). P. 889-905, 1998.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R.; PARK, T. H. K. B. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis L.*). **Journal of Food Engineering**, v.52, p.293-298, 2002.
- PELEG,M. An empirical-model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v. 53, p. 1216-1219, 1988.
- PIGOTT, G.; TUCKER, B. **Sea effects of tecnologia on nutrition**, 1<sup>st</sup> edit., Edit. Marcel Dekker, INC, New York, USA, 1990.
- PINHEIRO, C. R.; **Avaliação física, química e sensorial do pescado**. In: Seminário sobre Tecnologia de salga e defumação de pescado, Campinas, p. 149-158, 1995.
- PINHEIRO, L.M.S.; PINHEIRO, R.T.; MARTINS, L.A.S. PINHEIRO, L.E.L., Rendimento industrial de filetagem da tilápia tailandesa (*Oreochromis spp.*) **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.58, n.2, p.257-262, 2006.
- PINTO, L. A. A.; TOBINAGA, S. Modelos de secagem em camada fina de alimentos: uma revisão da literatura. **Vetor**, Rio Grande, n.6, p.33 – 49, 1996.

PINTO, L. A. A. **Cinética da secagem de filé de peixe: uso de um modelo difusivo com variações de volume**. São Carlos, 1996. 154 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos.

POLIGNÉ, I.; COLLIGNAN, A. Quick marination of anchovies (*Engraulis enchorasicolus*) using acetic and gluconic acids. Quality and stability of end product, **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.33, p. 202-209, 2000.

PONTING, J.D. Osmotic dehydration of fruit. **Food Technology**, v. 10, p. 125-128, 1996.

PRANDL, O.; FISHER, A.; SCHIMIDHOFER, T.; JURGEN, S. **Tecnología e higiene de la carne**. 1ra edición, edit. Acribia, Zaragoza, España, 1994.

RAMACHANDRAN, A. TERUSHIGE, M. Smoked salmon processing in Japan – a new approach. **Info Fish International**. v.4. p.12-47, 1994.

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

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, v.13, p.48-59, 2002.

RAVINDRA, M.R.; CHATTOPADHYAY, Optimization of osmotic preconcentration and fluidised bed drying to produce dehydrated quick-cooking potato cubes, **Journal of Food Engineering**, v.44, p. 5-11, 2000.

REGENSTEIN, J.; REGENSTEIN, C. **Introduction to fish Technology**, 1<sup>st</sup> edit., editorial Van Nostrand Reinhold, New York, USA, 1991.

REVISTA NACIONAL DA CARNE. Defumação de Embutidos: processos e equipamentos. **Revista Nacional da Carne**. n. 225, nov, 1995.

RIBEIRO, S. C. A. **Secagem e defumação líquida de filé de peixe matrinhã (*Brycon cephalus*)**. Campinas, 2000. 101 p. Dissertação (mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

RIBEIRO, S.C.A. **Estudo do Processo de desidratação Osmótica e Secagem de Filés de Mapará (*Hypophthalmus edentatus*)**. Campinas, 2005. 250p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas.

RIBEIRO, L. P.; LIMA, L. C.; TURRA, E. M.; QUEIROZ, B. M.; RIBEIRO, T. G.; MIRANDA, M. O. T. Efeito do peso e do operador sobre o rendimento de filé em tilápia vermelha spp. In: **AQUICULTURA BRASIL 98**, 1998, Recife. Anais... Recife: ABRAq, 1998. v. 2, p. 773-778.

RODRIGUES, A. M. C. **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.

ROSENTHAL, A. J. **Food Texture: Measurement and Perception**. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc., p.99-147, 1999.

SALES, R., **Processamento da Tilápia do Nilo (*Oreochromis (O.) niloticus*) em Dietas Experimentais com Ratos**. Campinas, 1995, Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas.

SANCHES, L. **Pescado: matéria-prima e processamento**. Fundação Cargil, Campinas, 1989, 61p.

SANTOS,L.D.; ZARA, R.F.; VISENTAINER,J.V.; MATSUSHITA,M. SOUZA, N.E.; SOUZA, M.L.R.. Avaliação sensorial e rendimento de filés defumados de tilápia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757) na presença de alecrim (*Rosmarinus officinalis*). **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 406-412, mar./abr., 2007.

SARAVACOS, G.; ROUZEOUS, G.S. Diffusivity of moisture in air-drying of starch gels. In: **Engineering and food**, 1984, London and New York: ed. Brian M. McKenna, Elsevier Applied Science Publishes, v.1, p. 493-507.

SCHINDLER, J. Fumaça Líquida Natural. **Revista Nacional da Carne**. n.232, p.36-42.jun.,1996.

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

SÉROT, T.;LAFFICHER, C. Optimization of solid phase micro-extraction coupled to gas chromatography for the determination of phenolic compounds in smoked herring. **Food Chemistry**, 82 (4), 513-519. 2003.

SHERWOOD, T.K. The drying of solids II. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 21, n. 10, p. 12-16 / 976-980, 1929.

SIGURGISLADOTTIR, S.; HAFSTEINSSON H.; JONSSON, A.; LIE, Ø.; NORTVEDT, R.; THOMASSEN, M. TORRISSEN, O. Textural Properties of Raw Salmon Fillets as Related to Sampling Method, **Journal of Food Science**, 64 (1), 99–104. 1999.

SIGURGISLADOTTIR, S.; SIGURDARDOTTIR, M. S.; TORRASEN, O.; VALLET, J. L.; HAFSTEINSSON, H. Effects of different salting and smoking processes on the microstructure, the texture, and yield of Atlantic salmon (*Salmo salar*) .lets. **Food Research International**, 33, 847–855. 2000.

SISTEMA ALICEWEB. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de Comércio Exterior**. Acessado 06/11/2006. Disponível: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>

SOUZA, M.L.R.; BACCARIN, A.E.; VIEGAS ,E.M.M.;KRONKA, S.N. Defumação da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) Inteira Eviscerada e Filé: Aspectos Referentes às Características Organolépticas, Composição Centesimal e Perdas Ocorridas no Processamento. **R. Bras. Zootec.**, v.33, n.1, p.27-36, 2004.

SOUZA, M. L. R.; MARANHÃO, T. C. F. Rendimento de carcaça, filé e subprodutos da filetagem da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L), em função do peso corporal. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 23, n. 4, p. 897-901, 2001.

SOUZA, M.L.R. Comparação de seis métodos de filetagem, em relação ao rendimento de filé e de subprodutos do processamento da Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **R. Bras. Zootec.**, v.31, no 3, 2002.

SOUZA, M.L.R. **Processamento do filé e da pele da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): Aspectos tecnológicos, composição centesimal, rendimento, vida útil do filé defumado e testes de resistência da pele curtida**. 2003. 166p. Tese (Doutorado) - Centro de Aquicultura, UNESP, Jaboticabal.

SOUZA, M.L.R.; CAÇADOR, W. C.; MARENGONI, N. G. ; PINTO, A. A. Rendimento do processamento da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): tipos de cortes de cabeça em duas categorias de peso. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.22, n. 3, p. 701-706, 2000.

SOUZA, M.L.R., MACEDO-VIEGAS, E.M.; KRONKA, S.N. Efeito do método de filetagem e categorias de peso sobre o rendimento de carcaça, filé e pele da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 34., 1997, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: SBZ, 1997a.

SOUZA, M.L.R.; MACEDO-VIEGAS, E.M.; KRONKA, S.N. Estudo da carcaça da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes categorias de peso. In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 34., 1997, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: SBZ, 1997b.

STATSOFT. **Statistica for windows**.Tulsa, USA, 1997.

SAS Statistical Analysis System- **User's procedures guide**. Version 8.2, Cary: SAS Institute, Inc 2003. 2 v

STEFFE, J.F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**, 2a ed., USA, Freeman Press, 1996.

STRUMILLO, C., KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design**. 1<sup>a</sup> ed., Gordon and Breach Science Publishers, 1986, 448p.

SUBASHINE, S. Smoking and drying- New technology for old world products. **Infofish International**, v.3, 1993.

TAPIA, M.S.; LOPEZ-MALO, A.; CONSUEGRA, R.; CORTE,P.,WELTI-CHANES,J. Minimally processed papaya by vacuum osmotic dehydration (VOD) techniques. **Food Science and Technology International**, v. 5 (1), p. 41-49, 1999.

TAYLOR, R.G. FA; FJAERA, S.O.; SKJERVOLD, P.O. Salmon fillet texture is determined by myofiber-myofiber and myofiber-myocommata attachment. **Food Chemistry and Toxicology**. V.67,n.6, p.2067-2071.2002.

TELIS,V. R.N.; MURARI,R.C.B.D.L.;YAMASHIDA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.253-259, 2004.

THORARINSDOTTIR, K. A.; ARASON, S.; BOGASON, S.; KRISTBERGSSON, K. The effects of various salt concentrations during brine curing of cod. **International Journal of Food Science and Technology**, 39, 79–89, 2004

THORARINSDOTTIR, K. A.; ARASON, S.; GEIRSDOTTIR, M.; BOGASON, S., ;KRISTBERGSSON, K. Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod (*Gadus morhua*) as determined by electrophoresis and differential scanning calorimetry. **Food Chemistry**, 77, 377–385, 2002.

TOBINAGA, S.; PINTO, L. A. A. Secagem de materiais fibrosos: músculo de peixe. In: FREIRE, J. T.; SARTORI, D. S. **Tópicos especiais em secagem**. V.1, p. 211-251. São Carlos-SP, 1992.

TOMÉ, E.; KODAIARA, M.; MATSUNAGA, Y; Efecto de las condiciones de procesamiento, contenido de grasa y grado de frescura de la materia prima en la calidad de filetes de bagre ahumados / Effect of processing conditions, lipids content and freshness on acceptability of smoked catfish, **Food Science and Technology International**, Vol. 5, No. 2, 167-176, 1999.

TONON, R. V.; BARONI, M. H.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, v.82, n.4, p.509-517, 2007.

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

TROLLER, J. **Water activity and food quality**. In: Water Quality. Edit. HARDMAN, T.M. Elsevier APPL. Sc. U.K. 370 p. 1989.

UBOLDI-EIROA, M. N. Microbiologia de frutas e hortaliças desidratadas. In: AGUIRRE, J. M. de; GASPARINO FILHO, J. (coord.). **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas, ITAL (Manual Técnico), p. 6.1 – 6.26, 1996.

UDDIN, M. B.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 65, p. 473-477, 2004.

UNIFEM – Fundo de Desenvolvimento das Nações Unidas para as Mulheres. **Processamento de Peixe**. Ed. UNIFEM, New York, 94p. 1989.

VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. **Science des Aliments**, Paris, v.11, n.1, p.63-84, 1991.

VIEGAS, E. M M. A. Aqüicultura e o Processamento de Pescado no Brasil. **Revista Nacional da Carne**, n. 278, abril 2000.

VIEIRA, K. V. M.; MAIA, D. C. C.; JANEIRO, D. J.; VIEIRA, R. H.S.F. Influência das condições higiênico-sanitárias no processo de beneficiamento de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em filés congelados. **Higiene Alimentar**, v.14, n. 74, p.37-40, 2000.

VISETAINER, J. V., MATSUSHITA, M., SOUZA, N. E., CATHARINO, R. R., FRANCO, M. R. B. Composição química e de ácidos graxos em tilápias (*Oreochromis niloticus*) submetidas à dieta prolongada. **Revista Nacional da Carne**. São Paulo, n. 313, Mar. 2003.

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

WALDE, P. M. Osmotic dehydration of cod filet with skin in a stagnant brine. **Drying Technology**, v.20, n. 1, p. 157-173, 2002.

WATERMANN, J. J. Fisheries technical paper; **FAO**, n. 160. FAO Rome, 1976.

WILKINSON, C.; DIJKSTERHUIS, G. B.; MINEKUS, M. From Food Structure to Texture. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, p. 442-450, 2000.

WOLF, W.; SPIESS, W.E.L.; JUNG, G. **Sorption isotherms and water activity of food material**. London: Elsevier Science, 1985.

YAMADA, E. A.; GALVAO, M. T.E.L. Defumação e Cozimento. **Boletim de Conexão Industrial do Centro de Tecnologia de Carne do Ital –CTC**, v.1,n.4, 1991.

YANAR Y.; CELIK, M.; AKAMCA, E. Effects of brine concentration on shelf-life of hot-smoked tilapia (*Oreochromis niloticus*) stored at 4°C. **Food Chemistry** .97, p.244–247, 2006.

YANG, D. C. ; LE MAGUER, M. Osmotic dehydration of strawberry in a batch recirculation system. **Journal of Food quality**, V. 15, p. 387-397, 1992.

ZAITSEV, V.; KIZEVETTER, I.; LOGUNOV, L.; MAKAROVA, L.; MENDER, L.; PODSIVALOV, V. **Fish curing and Processing**. Moscow. Ed. Mir Puplicher, 1969. 722p.

ZAITSEV, V.; KIZEVETTER, I.; LOGUNOV, L.; MAKAROVA, L.; MENDER, L.; PODSIVALOV, V. **Fish curing and Processing**. University Press of the Pacific, Honolulu, Hawai. 2004. Cap 5, “Salting and Marinading”, p. 198-260.

ZIMMERMANN, S. Incubação artificial: técnica permite a produção de tilapia-nilo geneticamente superiores. **Panorama da Aqüicultura**, Rio de Janeiro, v.9,n.54,p.15-21,1999.

## APÊNDICE A

### FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL DO BOLINHO DE PEIXE

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_ Amostra no: \_\_\_\_\_

Por favor, avalie a amostra de **bolinho de peixe** recebida e indique na escala abaixo o quanto você gostou ou desgostou da amostra em relação:

- à aparência. 

	-----		-----
Desgostei muitíssimo			Gostei muitíssimo
  
- ao aroma. 

	-----		-----
Desgostei muitíssimo			Gostei muitíssimo
  
- ao sabor. 

	-----		-----
Desgostei muitíssimo			Gostei muitíssimo
  
- à textura. 

	-----		-----
Desgostei muitíssimo			Gostei muitíssimo
  
- à impressão global. 

	-----		-----
Desgostei muitíssimo			Gostei muitíssimo

Comentários: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE B

## FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL DO PEIXE DEFUMADO

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Telefone: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

Amostra no: \_\_\_\_\_

Por favor, avalie a amostra de **filé de tilápia defumado** recebida e indique na escala abaixo o quanto você gostou ou desgostou da amostra em relação:

- à aparência. 

	-----
Desgostei muitíssimo	Gostei muitíssimo
  
- ao aroma. 

	-----
Desgostei muitíssimo	Gostei muitíssimo
  
- ao sabor. 

	-----
Desgostei muitíssimo	Gostei muitíssimo
  
- ao teor de sal. 

	-----
Desgostei muitíssimo	Gostei muitíssimo
  
- à textura. 

	-----
Desgostei muitíssimo	Gostei muitíssimo
  
- à impressão global. 

	-----
Desgostei muitíssimo	Gostei muitíssimo

Comentários: \_\_\_\_\_

## APENDICE C

## DADOS EXPERIMENTAIS DE SECAGEM DO PESCADO DESIDRATADO

Tabela C1- Dados experimentais de secagem do pescado *in natura*.

In Natura T=40°C					In Natura T=50°C					In Natura T=60°C				
T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y	T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y	T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y
0	6,184	3,547	78,01	1,000	0	7,513	3,587	78,20	1,000	0	7,493	4,169	80,66	1,000
15	5,126	2,769	73,47	0,778	15	6,123	2,738	73,25	0,761	15	5,691	2,926	74,53	0,699
30	4,608	2,388	70,49	0,669	30	5,206	2,178	68,54	0,603	30	4,791	2,305	69,75	0,549
45	4,055	1,982	66,46	0,553	45	4,614	1,817	64,50	0,501	45	4,219	1,911	65,64	0,453
60	3,666	1,696	62,90	0,471	60	4,194	1,560	60,94	0,429	60	3,795	1,618	61,81	0,382
75	3,346	1,460	59,35	0,404	75	3,851	1,351	57,47	0,370	75	3,444	1,376	57,91	0,324
90	3,106	1,284	56,21	0,354	90	3,578	1,184	54,22	0,323	90	3,135	1,163	53,76	0,272
120	2,700	0,985	49,63	0,268	120	3,145	0,920	47,92	0,248	120	2,666	0,839	45,63	0,194
150	2,386	0,754	43,00	0,202	150	2,819	0,721	41,89	0,192	150	2,315	0,597	37,39	0,135
180	2,156	0,585	36,92	0,154	180	2,57	0,569	36,26	0,149	180	2,086	0,439	30,51	0,097
210	1,988	0,462	31,59	0,119	210	2,377	0,451	31,09	0,116	210	1,929	0,331	24,86	0,070
240	1,861	0,368	26,92	0,092	240	2,230	0,361	26,55	0,091	240	1,826	0,260	20,62	0,053
270	1,771	0,302	23,21	0,073	270	2,123	0,296	22,85	0,072	270	1,758	0,213	17,55	0,042
300	1,702	0,251	20,09	0,059	300	2,038	0,244	19,63	0,058	300	1,712	0,181	15,33	0,034
330	1,641	0,207	17,12	0,046	330	1,975	0,206	17,06	0,047	330	1,678	0,158	13,62	0,028
360	1,613	0,186	15,69	0,040	360	1,930	0,178	15,13	0,039	360	1,648	0,137	12,04	0,023
420	1,562	0,149	12,93	0,029	420	1,870	0,142	12,41	0,029	420	1,623	0,120	10,69	0,019
480	1,527	0,123	10,94	0,022	480	1,829	0,117	10,44	0,022	480	1,601	0,105	9,46	0,016
540	1,511	0,111	9,99	0,019	540	1,802	0,100	9,10	0,017	540	1,582	0,091	8,38	0,012
600	1,495	0,099	9,03	0,015	600	1,785	0,090	8,24	0,014	600	1,574	0,086	7,91	0,011
660	1,483	0,090	8,29	0,013	720	1,756	0,072	6,72	0,009	660	1,561	0,077	7,14	0,009
720	1,474	0,084	7,73	0,011	780	1,743	0,064	6,02	0,007	720	1,553	0,071	6,66	0,008
840	1,453	0,068	6,40	0,006	840	1,730	0,056	5,32	0,005	780	1,548	0,068	6,36	0,007
960	1,442	0,060	5,69	0,011	900	1,721	0,051	4,82	0,003	1380	1,512	0,043	4,13	0,001
1320	1,430	0,051	4,90	0,006	960	1,713	0,046	4,38	0,002	1440	1,508	0,040	3,88	0,000
1440	1,424	0,047	4,49	0,004	1440	1,703	0,040	3,82	0,000					
1560	1,422	0,046	4,36	0,002										

**Tabela C2-** Dados experimentais de secagem do pescado desidratado osmoticamente com solução de NaCl (temperatura=34°C, tempo=230min e concentração de NaCl=24,6%).

NaCl, T=40°C					NaCl, T=50°C					NaCl, T=60°C				
T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y	T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y	T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y
0	6,104	1,491	59,86	1,000	0	5,348	1,609	61,67	1,000	0	6,861	1,639	62,10	1,000
15	5,580	1,278	56,09	0,855	15	4,658	1,272	55,99	0,788	15	5,958	1,292	56,36	0,787
30	5,241	1,139	53,25	0,761	30	4,336	1,115	52,72	0,689	30	5,508	1,118	52,80	0,681
45	5,033	1,054	51,32	0,703	45	4,168	1,033	50,82	0,637	45	5,311	1,043	51,05	0,635
60	4,899	1,000	49,99	0,666	60	4,047	0,974	49,35	0,600	60	5,177	0,991	49,78	0,603
75	4,783	0,952	48,78	0,633	75	3,94	0,922	47,97	0,567	75	5,066	0,948	48,68	0,577
90	4,697	0,917	47,84	0,610	90	3,857	0,881	46,85	0,542	90	4,968	0,911	47,67	0,554
120	4,540	0,853	46,04	0,566	120	3,726	0,818	44,98	0,502	120	4,813	0,851	45,98	0,518
150	4,405	0,798	44,38	0,529	150	3,616	0,764	43,31	0,468	150	4,671	0,797	44,34	0,484
180	4,294	0,753	42,94	0,498	180	3,529	0,721	41,91	0,441	180	4,535	0,744	42,67	0,452
210	4,195	0,712	41,60	0,470	210	3,443	0,680	40,46	0,415	210	4,404	0,694	40,96	0,421
240	4,101	0,674	40,26	0,444	240	3,368	0,643	39,13	0,392	240	4,255	0,637	38,90	0,386
270	4,024	0,642	39,12	0,423	270	3,302	0,611	37,92	0,371	270	4,127	0,587	37,00	0,356
300	3,950	0,612	37,97	0,402	300	3,238	0,580	36,69	0,352	300	3,976	0,529	34,61	0,320
330	3,871	0,580	36,71	0,380	330	3,177	0,550	35,47	0,333	330	3,831	0,473	32,13	0,286
360	3,816	0,558	35,80	0,365	360	3,128	0,526	34,46	0,318	360	3,706	0,425	29,84	0,257
420	3,698	0,509	33,75	0,332	420	3,034	0,480	32,43	0,289	420	3,375	0,298	22,96	0,179
480	3,593	0,467	31,81	0,303	480	2,95	0,439	30,51	0,263	480	3,283	0,263	20,80	0,157
540	3,502	0,429	30,04	0,278	540	2,878	0,404	28,77	0,241	540	3,123	0,201	16,75	0,120
600	3,412	0,393	28,19	0,253	600	2,811	0,371	27,07	0,221	600	2,988	0,149	12,99	0,088
660	3,334	0,361	26,51	0,231	720	2,694	0,314	23,90	0,185	660	2,875	0,106	9,57	0,061
720	3,264	0,332	24,94	0,212	840	2,597	0,267	21,06	0,155	1380	2,616	0,006	0,61	0,000
1320	2,773	0,132	11,65	0,075	1560	2,252	0,099	8,97	0,049	1440	2,615	0,006	0,57	0,000
1440	2,716	0,109	9,79	0,060	1680	2,225	0,085	7,87	0,041					
1560	2,661	0,086	7,93	0,044	1800	2,195	0,071	6,61	0,031					
1680	2,630	0,073	6,84	0,036	1920	2,176	0,061	5,79	0,025					
1800	2,596	0,060	5,62	0,026	2040	2,154	0,051	4,83	0,019					
1920	2,568	0,048	4,60	0,018	2280	2,127	0,038	3,62	0,010					
2040	2,548	0,040	3,85	0,013	2460	2,114	0,031	3,03	0,006					
2820	2,503	0,022	2,12	0,000	2640	2,101	0,025	2,43	0,002					
2880	2,502	0,021	2,08	0,000	2820	2,094	0,021	2,10	0,000					

**Tabela C2-** Dados experimentais de secagem do pescado desidratado osmoticamente com solução de NaCl + sacarose ( temperatura=34°C, tempo=165min, concentração de NaCl=13% e concentração de sacarose=37%).

NaCl + sacarose , T=40°C					NaCl + sacarose, T=50°C					NaCl + sacarose, T=60°C				
T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y	T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y	T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y
0	6,904	0,967	49,16	1,000	0	6,339	1,120	52,83	1,000	0	7,589	1,142	53,31	1,000
15	6,363	0,813	44,84	0,815	15	5,686	0,902	47,41	0,785	15	6,566	0,853	46,03	0,729
30	6,015	0,714	41,65	0,697	30	5,360	0,793	44,22	0,678	30	6,067	0,712	41,59	0,597
45	5,855	0,668	40,05	0,642	45	5,140	0,719	41,83	0,606	45	5,757	0,625	38,45	0,515
60	5,690	0,621	38,31	0,586	60	4,968	0,662	39,81	0,550	60	5,534	0,562	35,97	0,456
75	5,554	0,582	36,80	0,539	75	4,818	0,611	37,94	0,500	75	5,359	0,512	33,88	0,409
90	5,445	0,551	35,54	0,502	90	4,704	0,573	36,44	0,463	90	5,223	0,474	32,16	0,373
120	5,268	0,501	33,37	0,442	120	4,522	0,512	33,88	0,403	120	5,025	0,418	29,48	0,321
150	5,130	0,462	31,58	0,395	150	4,379	0,465	31,72	0,356	150	4,886	0,379	27,48	0,284
180	5,022	0,431	30,11	0,358	180	4,276	0,430	30,07	0,322	180	4,786	0,351	25,96	0,258
210	4,943	0,408	28,99	0,331	210	4,187	0,400	28,59	0,293	210	4,699	0,326	24,59	0,235
240	4,873	0,388	27,97	0,307	240	4,117	0,377	27,37	0,270	240	4,636	0,308	23,57	0,218
270	4,822	0,374	27,21	0,290	270	4,063	0,359	26,41	0,252	270	4,584	0,294	22,70	0,204
300	4,772	0,360	26,45	0,273	300	4,014	0,342	25,51	0,236	300	4,537	0,280	21,90	0,192
330	4,731	0,348	25,81	0,259	330	3,981	0,331	24,89	0,225	330	4,490	0,267	21,08	0,179
360	4,695	0,338	25,24	0,246	360	3,944	0,319	24,19	0,213	360	4,456	0,258	20,48	0,170
420	4,633	0,320	24,24	0,225	420	3,891	0,301	23,16	0,196	420	4,406	0,243	19,58	0,157
480	4,578	0,304	23,33	0,206	480	3,839	0,284	22,12	0,179	480	4,344	0,226	18,43	0,141
540	4,533	0,291	22,57	0,191	540	3,797	0,270	21,25	0,165	540	4,302	0,214	17,63	0,130
600	4,490	0,279	21,83	0,176	600	3,756	0,256	20,39	0,151	600	4,260	0,202	16,82	0,118
660	4,447	0,267	21,07	0,162	720	3,680	0,231	18,75	0,126	660	4,224	0,192	16,11	0,109
720	4,423	0,260	20,64	0,153	840	3,623	0,212	17,47	0,108	720	4,191	0,183	15,45	0,100
1320	4,194	0,195	16,31	0,075	1560	3,429	0,147	12,80	0,044	780	4,163	0,175	14,88	0,093
1440	4,164	0,186	15,71	0,065	1680	3,413	0,141	12,39	0,039	1440	3,957	0,117	10,45	0,038
1560	4,138	0,179	15,18	0,056	1800	3,397	0,136	11,98	0,034	1560	3,941	0,112	10,09	0,034
1680	4,120	0,179	15,18	0,056	1920	3,384	0,132	11,64	0,029	1680	3,921	0,107	9,63	0,029
1800	4,100	0,174	14,81	0,050	2040	3,370	0,127	11,28	0,025	1800	3,909	0,103	9,35	0,025
1920	4,075	0,168	14,39	0,043	2280	3,351	0,121	10,77	0,018	2040	3,877	0,094	8,60	0,017
2040	4,068	0,161	13,87	0,035	2460	3,336	0,116	10,37	0,013	2280	3,852	0,087	8,01	0,010
2820	3,991	0,159	13,72	0,032	2640	3,325	0,112	10,08	0,010	2880	3,816	0,077	7,14	0,001
2880	3,988	0,137	12,05	0,006	2820	3,314	0,108	9,78	0,006	3000	3,814	0,076	7,09	0,000
3120	3,975	0,136	11,99	0,005	3000	3,303	0,105	9,48	0,003	0	7,589	1,142	53,31	1,000
3240	3,969	0,132	11,70	0,001	3120	3,295	0,102	9,26	0,000	15	6,566	0,853	46,03	0,729

## APENDICE D

## DADOS EXPERIMENTAIS DE SECAGEM DO PESCADO DEFUMADO

Tabela D1: Dados experimentais de secagem do pescado defumado a 40°C.

T=40°C, 15% p/p FL					T=40°C, 25% p/p FL				
T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y	T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y
0	6,360	2,330	69,97	1,000	0	5,12	2,084	67,58	1,000
15	5,630	1,948	66,07	0,830	15	4,466	1,690	62,83	0,803
30	5,164	1,704	63,01	0,721	30	4,091	1,464	59,42	0,690
45	4,779	1,502	60,03	0,631	45	3,799	1,289	56,30	0,602
60	4,495	1,353	57,51	0,565	60	3,589	1,162	53,75	0,538
75	4,241	1,220	54,96	0,505	75	3,405	1,051	51,25	0,483
90	4,042	1,116	52,75	0,459	90	3,256	0,961	49,02	0,438
120	3,720	0,948	48,66	0,384	120	3,024	0,822	45,11	0,368
150	3,448	0,805	44,61	0,320	150	2,824	0,701	41,22	0,308
180	3,246	0,699	41,16	0,273	180	2,676	0,612	37,97	0,263
210	3,092	0,619	38,23	0,237	210	2,565	0,545	35,28	0,229
240	2,968	0,554	35,65	0,208	240	2,477	0,492	32,98	0,203
270	2,871	0,503	33,47	0,186	270	2,4	0,446	30,83	0,180
300	2,787	0,459	31,47	0,166	300	2,342	0,411	29,12	0,162
330	2,714	0,421	29,62	0,149	330	2,28	0,373	27,19	0,143
360	2,670	0,398	28,46	0,139	360	2,25	0,355	26,22	0,134
420	2,587	0,354	26,17	0,119	420	2,179	0,313	23,82	0,113
480	2,521	0,320	24,24	0,104	480	2,127	0,281	21,96	0,097
540	2,466	0,291	22,55	0,091	540	2,086	0,257	20,42	0,085
600	2,416	0,265	20,94	0,079	600	2,042	0,230	18,71	0,072
660	2,381	0,247	19,78	0,071	660	2,017	0,215	17,70	0,064
720	2,342	0,226	18,45	0,062	720	1,995	0,202	16,79	0,057
1320	2,170	0,136	11,98	0,022	1320	1,852	0,116	10,37	0,014
1440	2,125	0,113	10,12	0,011	1440	1,836	0,106	9,59	0,010
1560	2,104	0,102	9,22	0,006	1560	1,824	0,099	8,99	0,006
1680	2,092	0,102	9,22	0,006	1680	1,810	0,099	8,99	0,006
1800	2,077	0,095	8,70	0,004	1800	1,804	0,090	8,29	0,002
1920	2,068	0,087	8,04	0,000	1920	1,797	0,087	7,98	0,000

**Tabela D2:** Dados experimentais de secagem do pescado defumado a 50°C.

T=50°C, 20% p/p FL					T=50°C, 20% p/p FL					T=50°C, 20% p/p FL				
T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y	T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y	T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y
0	6,539	2,405	70,64	1,000	0	5,27	2,285	69,56	1,000	0	6,732	2,337	70,04	1,000
15	5,675	1,956	66,17	0,806	15	4,479	1,792	64,18	0,778	15	5,895	1,923	65,78	0,778
30	5,168	1,691	62,85	0,692	30	4,047	1,523	60,36	0,656	30	5,445	1,699	62,96	0,656
45	4,814	1,507	60,11	0,613	45	3,741	1,332	57,12	0,570	45	5,113	1,535	60,55	0,570
60	4,538	1,363	57,69	0,551	60	3,498	1,181	54,14	0,502	60	4,842	1,400	58,34	0,502
75	4,294	1,236	55,28	0,496	75	3,288	1,050	51,21	0,443	75	4,596	1,279	56,11	0,443
90	4,091	1,131	53,06	0,450	90	3,117	0,943	48,53	0,395	90	4,387	1,175	54,02	0,395
120	3,753	0,955	48,84	0,374	120	2,844	0,773	43,59	0,318	120	4,033	0,999	49,99	0,318
150	3,488	0,817	44,95	0,315	150	2,64	0,646	39,24	0,261	150	3,743	0,856	46,11	0,261
180	3,284	0,710	41,53	0,269	180	2,493	0,554	35,65	0,219	180	3,514	0,742	42,60	0,219
210	3,117	0,623	38,40	0,231	210	2,376	0,481	32,48	0,186	210	3,325	0,648	39,34	0,186
240	2,987	0,556	35,72	0,202	240	2,287	0,426	29,86	0,161	240	3,171	0,572	36,39	0,161
270	2,884	0,502	33,42	0,179	270	2,218	0,383	27,67	0,142	270	3,05	0,512	33,87	0,142
300	2,789	0,453	31,15	0,158	300	2,16	0,346	25,73	0,126	300	2,945	0,460	31,51	0,126
330	2,718	0,416	29,35	0,142	330	2,11	0,315	23,97	0,112	330	2,858	0,417	29,42	0,112
360	2,661	0,386	27,84	0,129	360	2,073	0,292	22,61	0,101	360	2,79	0,383	27,70	0,101
420	2,569	0,338	25,26	0,108	420	2,011	0,254	20,23	0,084	420	2,681	0,329	24,76	0,084
480	2,496	0,300	23,07	0,092	480	1,960	0,222	18,15	0,069	480	2,603	0,290	22,51	0,069
540	2,435	0,268	21,14	0,078	540	1,925	0,200	16,67	0,060	540	2,542	0,260	20,65	0,060
600	2,387	0,243	19,56	0,067	600	1,892	0,179	15,21	0,050	600	2,494	0,236	19,12	0,050
720	2,307	0,201	16,77	0,049	720	1,840	0,147	12,82	0,036	720	2,417	0,198	16,55	0,036
840	2,254	0,174	14,81	0,037	840	1,813	0,130	11,52	0,028	840	2,367	0,173	14,78	0,028
1560	2,094	0,091	8,30	0,002	1560	1,715	0,069	6,46	0,000	1560	2,202	0,092	8,40	0,000
1680	2,088	0,087	8,04	0,000	1680	1,713	0,068	6,35	0,000	1680	2,196	0,089	8,15	0,000

**Tabela D3:** Dados experimentais de secagem do pescado defumado a 60°C.

T=60°C, 15% p/p FL					T=60°C, 25% p/p FL				
T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y	T (min)	m (g)	Xbs (gw/gms)	Xbu (%)	Y
0	6,432	2,359	70,23	1,000	0	6,033	2,393	70,53	1,000
15	5,525	1,885	65,34	0,796	15	5,081	1,857	65,00	0,775
30	5,047	1,636	62,06	0,689	30	4,558	1,563	60,99	0,651
45	4,690	1,449	59,17	0,609	45	4,181	1,351	57,47	0,562
60	4,391	1,293	56,39	0,542	60	3,867	1,175	54,02	0,487
75	4,144	1,164	53,79	0,487	75	3,604	1,027	50,66	0,425
90	3,921	1,048	51,16	0,437	90	3,388	0,905	47,52	0,374
120	3,572	0,865	46,39	0,358	120	3,05	0,715	41,70	0,294
150	3,302	0,724	42,01	0,298	150	2,886	0,623	38,39	0,255
180	3,085	0,611	37,93	0,249	180	2,614	0,470	31,98	0,191
210	2,927	0,528	34,58	0,214	210	2,494	0,403	28,70	0,162
240	2,804	0,464	31,71	0,186	240	2,392	0,345	25,66	0,138
270	2,698	0,409	29,02	0,162	270	2,318	0,304	23,29	0,121
300	2,615	0,366	26,77	0,144	300	2,257	0,269	21,22	0,106
330	2,547	0,330	24,81	0,128	330	2,21	0,243	19,54	0,095
360	2,485	0,298	22,94	0,115	360	2,164	0,217	17,83	0,084
420	2,401	0,254	20,24	0,096	420	2,101	0,182	15,37	0,069
480	2,332	0,218	17,88	0,080	480	2,053	0,155	13,39	0,058
540	2,278	0,190	15,94	0,068	540	2,012	0,132	11,62	0,048
600	2,238	0,169	14,43	0,059	600	1,983	0,115	10,33	0,041
660	2,202	0,150	13,03	0,051	660	1,955	0,099	9,05	0,035
720	2,168	0,132	11,67	0,043	720	1,936	0,089	8,15	0,030
780	2,144	0,120	10,68	0,038	780	1,92	0,080	7,39	0,026
1440	1,995	0,042	4,01	0,005	1440	1,819	0,023	2,25	0,003
1560	1,982	0,035	3,38	0,002	1560	1,812	0,019	1,87	0,001
1680	1,975	0,031	3,04	0,000	1680	1,809	0,017	1,71	0,000