



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ANA CRISTINA LEITE CORRÊA

ESTUDO DO PROCESSO DE SALGA E SECAGEM DE CAMARÃO
(*Litopenaeus vannamei*) CULTIVADO NO ESTADO DO PARÁ

BELÉM/PA
2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ANA CRISTINA LEITE CORRÊA

ESTUDO DO PROCESSO DE SALGA E SECAGEM DE CAMARÃO
(*Litopenaeus vannamei*) CULTIVADO NO ESTADO DO PARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.
Orientador: Profa. Dra. Nádia Cristina Fernandes Corrêa

BELÉM/PA

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Corrêa, Ana Cristina Leite, 1969-

Estudo do processo de salga e secagem de camarão
cultivado no estado do Pará / Ana
Cristina Leite Corrêa. - 2011.

Orientadora: Nádia Cristina Fernandes
Corrêa.

Dissertação (Mestrado) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química,
Belém, 2011.

1. Camarão- Secagem. 2. Camarão-
Conservação. 3. Camarão- Criação- Pará. 4.
Modelos matemáticos. I. Título.

CDD 22. ed. 664.944

ANA CRISTINA LEITE CORRÊA

ESTUDO DO PROCESSO DE SALGA E SECAGEM DE CAMARÃO
(*Litopenaeus vannamei*) CULTIVADO NO ESTADO DO PARÁ

DATA DA AVALIAÇÃO: 10/08/2011

CONCEITO: APROVADA

BANCA EXAMINADORA

Nádia Cristina F. Corrêa

Profa. Dra. Nádia Cristina Fernandes Corrêa
(PPGEQ/ITEC/UFPA – Orientadora)

Lúcia de Fátima Henriques Lourenço

Profa. Dra. Lúcia de Fátima Henriques Lourenço
(PPGCTA/ITEC/UFPA - Membro)

Luiz Ferreira de França

Prof. Dr. Luiz Ferreira de França
(PPEQ/ITEC/UFPA - Membro)

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de iluminação em todos os momentos.

As **famílias Leite e Corrêa** pelo incentivo e apoio sempre.

Ao **Laboratório Nacional Agropecuário no Pará**, representada pelo Coordenador **Francisco Airton Nogueira** pela liberação, apoio e incentivo na realização do mestrado.

A minha orientadora **Profa. Dra. Nádia Cristina Fernandes Corrêa**, pelo incentivo de voltar aos estudos acadêmicos, pela paciência e acompanhamento durante as pesquisas experimentais e por toda a assistência na elaboração deste trabalho.

Ao **Professor Dr. Luiz Ferreira de França** pela sabedoria para guiar seus alunos, com paciência e compartilhamento do conhecimento da Engenharia Química.

Ao **Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues** pelas contribuições e ensinamentos recebidos.

Ao meu esposo **Francisco Sérgio Fernandes Corrêa**, pela paciência, compreensão nos momentos de ausência devido aos estudos.

Aos meus filhos, **Mateus e Davi**, fonte de inspiração.

Aos **Técnicos do LANAGRO/PA (Raimundo Joaquim, Fábio)** pelo apoio nas análises.

Aos amigos: **Lilian Cristina Magalhães, Luiz Oliveira, Monique Damasceno, Rita Gonçalves, Tamires Carneiros** e demais colegas de trabalho pelo incentivo, amizade e apoio.

RESUMO

Realizou-se o estudo de duas formas de conservação de alimentos, salga e secagem, no camarão oriundo de cultivo no Estado do Pará. O processo de salga foi realizado em salmouras com concentrações de 36% m/m a 80°C e 38% m/m a 100°C, utilizando o camarão *in natura* com casca e sem casca, com e sem agitação para avaliar a influência destas variáveis durante o processo. O processo de secagem foi realizado em camarão pré-cozido/salgado da Fazenda Nossa Senhora de Fátima, localizada no município de Curuçá/Pará, nas temperaturas de 60°C, 80°C e 100°C. Com relação ao tratamento da salga, os fatores que mais influenciaram no processo foram a concentração e a agitação; quanto ao processo de secagem, observou-se um tempo de secagem menor para a temperatura de 100°C. Foi proposta uma modelagem matemática ao processo de salga a partir da Lei de Fick. O melhor ajuste para o processo foi realizado com o camarão sem cabeça e casca, com agitação ($R^2=0,99$), os valores de difusividade efetiva variaram de $0,9 \times 10^{-8}$ a $2,0 \times 10^{-8}$. A cinética da secagem do camarão foi ajustada com os modelos de Henderson e Pabis, Midilli et al., Newton, Page e Wang e Singh. O modelo de Midilli et al. apresentou melhor ajuste aos dados cinéticos de secagem do camarão nas temperaturas de 80°C e 100°C.

Palavras-chaves: salga e secagem, camarão de cultivo, modelagem matemática, transferência de massa, Lei de Fick.

ABSTRACT

We conducted the study of two forms of food preservation, salting and drying, the shrimp come from cultivation in the state of Pará. The salting process was conducted in brines with 36% concentrations m/m at 80°C and 38% m/m 100°C, using the shrimp in natura in shell and shelled, with and without agitation to evaluate the influence of these variables in the process. The drying process was carried out in the pre-cooked and salted shrimp at “Fazenda Nossa Senhora de Fátima”, in the municipality of Curuçá/Pará, at temperatures of 60°C, 80°C and 100°C. Regarding the treatment of salting, the factors that most influenced the process were the concentration and agitation; as the drying process, there was less drying time for the 100°C temperature. It proposed a mathematical model of the salting process from Fick's Law. The best fit for the process was carried out with the shrimp headless, shelled, with shaking ($R^2 = 0.99$), effective diffusivity values ranged from $0,9 \times 10^{-8}$ to $2,0 \times 10^{-8}$. The kinetics of shrimp drying was set with models of Henderson and Pabis, Midilli et al., Newton, Page and Wang and Singh. The Midilli et al. model showed the best fit to the kinetic data drying shrimp at temperatures of 80°C and 100°C.

Keywords: salting, drying, cultivation of shrimp, mathematical modeling, mass transfer, Fick's Law.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1. | Fotografia da anatomia do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> | 5 |
| Figura 2. | Gráfico do ajuste linear do modelo de dois parâmetros para determinação de $W_{A\infty}$ e K para a concentração da solução de 36% | 32 |
| Figura 3. | Gráfico do ajuste linear do modelo de dois parâmetros para determinação de $W_{A\infty}$ e K para a concentração da solução de 38% | 32 |
| Figura 4. | Gráfico da comparação entre os valores experimentais de W_A e os valores preditos pelo modelo de difusão de massa no sistema cilíndrico para a temperatura de 80°C..... | 34 |
| Figura 5. | Gráfico da comparação entre os valores experimentais de W_A e os valores preditos pelo modelo de difusão de massa no sistema cilíndrico para a temperatura de 100°C..... | 34 |
| Figura 6. | Gráfico dos resíduos resultantes do ajuste do modelo de difusão de massa aos dados experimentais para a condição de 36% m/m (80°C) | 35 |
| Figura 7. | Gráfico dos resíduos resultantes do ajuste do modelo de difusão de massa aos dados experimentais para a condição de 38% m/m (100°C)..... | 35 |
| Figura 8. | Gráficos do Modelo de Henderson e Pabis a 60°C, 80°C e 100°C..... | 38 |
| Figura 9. | Gráficos do Modelo de Midilli et al. a 60°C, 80°C e 100°C | 39 |
| Figura 10. | Gráficos do Modelo de Newton a 60°C, 80°C e 100°C..... | 40 |
| Figura 11. | Gráficos do Modelo de Page a 60°C, 80°C e 100°C | 41 |
| Figura 12. | Gráficos do Modelo de Wang e Singh a 60°C, 80°C e 100°C..... | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabela 1. | Modelos matemáticos para cinética de secagem | 16 |
| Tabela 2. | Condições operacionais do processo de salga..... | 20 |
| Tabela 3. | Características físico-químicas do camarão <i>in natura</i> sem casca e cefalotórax..... | 25 |
| Tabela 4. | Características físico-químicas do camarão pré-cozido salgado (Fazenda) sem casca e cefalotórax | 26 |
| Tabela 5. | Evolução da absorção de cloreto de sódio no camarão (% m/m) em uma salmoura a 36% e 80 ⁰ C..... | 28 |
| Tabela 6. | Evolução da absorção de cloreto de sódio no camarão (% m/m) em uma salmoura a 38% e 100 ⁰ C..... | 29 |
| Tabela 7. | Comportamento da umidade dos camarões no processo de salga a 80°C (36% m/m) e a 100°C (38% m/m) com agitação... | 31 |
| Tabela 8. | Valores de concentração de equilíbrio de NaCl no camarão e da constante obtidas com o modelo de dois parâmetros.... | 33 |
| Tabela 9. | Valores da difusividade efetiva do NaCl no camarão..... | 36 |
| Tabela 10. | Coeficientes de determinação (R ²) calculados para verificação do ajuste dos modelos de secagem do camarão pré-cozido/salgado nas temperaturas de 60°C, 80°C e 100°C.. | 37 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Objetivos | 2 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 2 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 2 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1 Carcinicultura | 3 |
| 2.2 Camarão..... | 5 |
| 2.2.1 Anatomia e morfologia do camarão..... | 5 |
| 2.2.2 Produção de camarão mundial..... | 6 |
| 2.2.3 Produção de camarão salgado e seco | 6 |
| 2.3 Transferência de massa | 7 |
| 2.3.1 Transferência de massa por difusão | 7 |
| 2.3.2 Transferência de massa por convecção..... | 9 |
| 2.4 Processos de salga e secagem..... | 11 |
| 2.4.1 Processo de salga..... | 11 |
| 2.4.2 Processo de Secagem | 14 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 18 |
| 3.1 Matéria-prima | 18 |
| 3.1.1 Caracterização físico-química da matéria-prima | 18 |
| 3.2 Salga | 19 |
| 3.2.1 Solução osmótica | 19 |
| 3.2.2 Procedimento experimental – Salga..... | 20 |
| 3.2.3 Modelagem matemática da cinética da salga..... | 21 |
| 3.3 Secagem | 22 |
| 3.3.1 Estudo da cinética de secagem..... | 23 |
| 3.3.2 Modelagem matemática da cinética de secagem..... | 23 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 25 |
| 4.1 Características físico-químicas..... | 25 |
| 4.1.1 Camarão <i>in natura</i> | 25 |
| 4.1.2 Camarão pré-cozido salgado | 26 |
| 4.2 Características do processo de salga | 28 |

| | |
|-------------------------------|-----------|
| 4.2.1 Modelo matemático | 31 |
| 4.3 Cinética da secagem | 37 |
| 5 CONCLUSÃO | 44 |
| 6 REFERÊNCIAS..... | 45 |
| ANEXO 1..... | 57 |
| ANEXO 2 | 57 |
| ANEXO 3 | 58 |

1 INTRODUÇÃO

A pesca é uma atividade de grande valor em quase todo o mundo, sendo que a criação de camarões (carcinicultura) é uma atividade relativamente nova e no Brasil com pouca expressão econômica. Atualmente, pode-se dizer que quase 30% de todo camarão comercializado no mundo é oriundo de cultivo. As principais vantagens para o produtor de camarão são a curta duração dos cultivos, altos preços do produto no mercado e condições climáticas favoráveis para o cultivo (DUARTE, 2011).

Os camarões marinhos cultivados pertencem à família *Penaeidae* com duas espécies dominantes, *P. monodon*, no Oriente e o *Litopenaeus vannamei*, no Ocidente. No Brasil, essa atividade iniciou em 1973, no Rio Grande do Norte, com o “Projeto Camarão”(SAMPAIO, 2011).

No Brasil, tem-se predominando o cultivo semi-intensivo e intensivo do camarão branco *Litopenaeus vannamei*, espécie exótica com capacidade de adaptação as mais variadas condições de cultivo, o que contribui para elevá-lo à condição de principal espécie de carcinicultura brasileira (EMBRAPA, 2006).

O pescado é um alimento de elevado valor nutritivo e, entre os alimentos de origem animal é um dos mais perecíveis, o que o torna suscetível à deterioração, por apresentar pH próximo à neutralidade, alta atividade de água e elevado teor de nutrientes. Em vista disto, a cada dia se buscam tecnologias para melhor aproveitamento do pescado, visando aumentar o tempo de vida útil do produto.

Dentre as técnicas de conservação de alimentos, têm-se o processo de salga e secagem, sendo o controle da temperatura e da umidade fundamentais para a qualidade do produto final.

Uma vez que o processo de salga pode ser realizado utilizando temperaturas, tempo e concentrações diferentes de cloreto de sódio, há um grande interesse em caracterizar a dinâmica desse processo a fim de encontrar as melhores condições para essas variáveis.

Associado ao processo de salga, a secagem é tradição na Região Norte, sendo que estes processos são realizados de forma empírica, surgindo à necessidade do estudo das condições de temperatura e tempo ideais para o

processo. Daí a necessidade de desenvolver um modelo matemático que contemple as principais características do processo.

Para realizar o estudo do processo combinado de salga e secagem foi selecionado o camarão de cultivo, por ser uma espécie comum na Região Norte, comercializada de forma salgada e seca nas feiras livres.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliação do processo de salga e secagem do camarão (*Litopenaeus vannamei*) oriundo de carcinicultura.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliação das características físico-químicas do camarão (*Litopenaeus vannamei*) *in natura* oriundo de carcinicultura;
- Estudar a influência da temperatura (80 e 100 °C), composição da solução de NaCl (36% m/m e 38% m/m), tempo e agitação, no processo de salga do camarão (*Litopenaeus vannamei*) *in natura*;
- Modelar a transferência de sal durante o tratamento e determinar o coeficiente de difusão do sal na carne do camarão;
- Avaliar a influência da temperatura de secagem na cinética;
- Ajustar modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais obtidos da secagem do camarão pré-cozido salgado em diferentes temperaturas de secagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Carcinicultura

Com 12% da água doce disponível do planeta, um litoral de mais de oito mil quilômetros e ainda uma faixa marítima, ou seja, uma Zona Econômica Exclusiva, equivalente ao tamanho da Amazônia, o Brasil possui enorme potencial para a aquicultura (BRASIL, Ministério da Pesca e Aquicultura, 2011).

O cultivo do camarão marinho teve sua origem no Sudoeste da Ásia, onde pescadores artesanais construíam diques de terra nas zonas costeiras para o aprisionamento de pós-larvas selvagens que cresciam nas condições naturais prevalentes. Com o avanço das técnicas de cultivo e de reprodução, a atividade passou a ser praticada comercialmente, apresentando bons resultados e uma conseqüente expansão mundial, assumindo grande importância econômica e social em diversos países, principalmente nos emergentes. Gerada pela estagnação da pesca e pela crescente demanda do camarão, a carcinicultura constitui uma alternativa para suprimento da demanda interna e externa (SOUZA FILHO et al.,2003).

O diferencial do camarão oriundo da atividade de cultivo em relação ao camarão extrativo está diretamente relacionado ao controle e à previsibilidade da sua produção, que dentre outros fatores, permite se identificar e corrigir problemas ou falhas que porventura ocorram ao longo do ciclo produtivo (ROCHA, 2011). Este camarão ao ser cultivado adequadamente pode ser produzido em dois ou três ciclos ao longo do ano, enquanto o decorrente da pesca extrativa tem que se adequar às leis federais que, suspendem sua captura durante o período de defeso (TAVARES e SANTOS, 2006).

No Brasil, entre 1997 e 2003, a produção, a área e a produtividade do camarão marinho cultivado aumentaram 2.527,7%, 294,6%e 540,4%, respectivamente, colocando o país como maior produtor do continente sul americano (SAMPAIO, 2011).

A espécie de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* alcança índices de produtividade favoráveis para o seu cultivo em escala comercial, com retornos lucrativos em curto prazo. O Pará tem um diferencial positivo na

economia, por apresentar vantagens como tipo de água da região que é mais propícia e adaptável ao cultivo do crustáceo (TAVARES e SANTOS, 2006).

Embora o Pará possua condições ambientais favoráveis à atividade, entretanto, a região tem uma participação pouco significativa na produção nacional, devido a fatores relacionados à infra-estrutura de transporte e crédito (SILVA e SILVA, 2007).

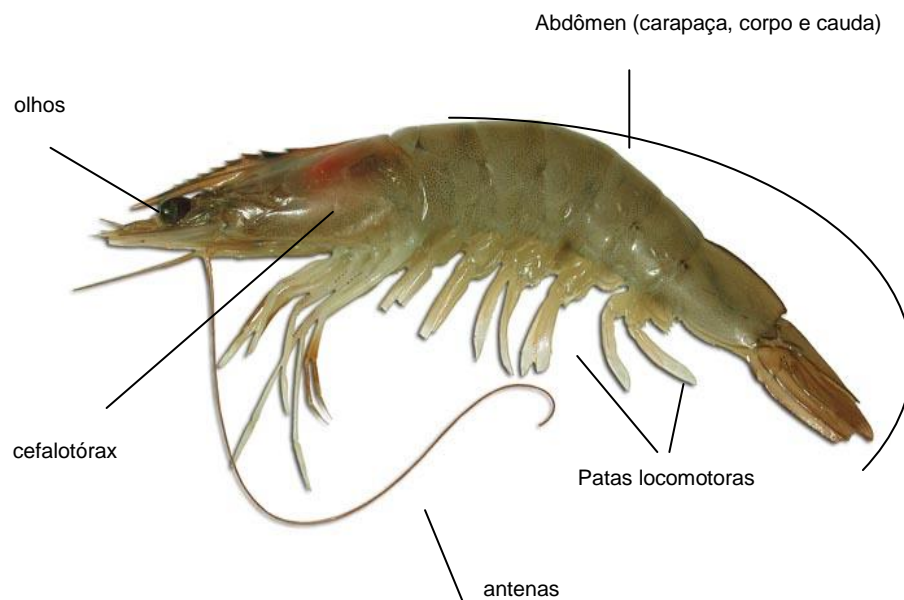
2.2 Camarão

2.2.1 Anatomia e morfologia do camarão

Os crustáceos são artrópodes marinhos, mas existem muitas espécies de água doce. São dominantes no plâncton e estão entre os três ou quatro grupos mais importantes dos bentos, tanto em relação às espécies macroscópicas quanto às intersticiais (BARNES e OLIVE, 1995).

A figura 1 mostra a anatomia do camarão (*Litopenaeus vannamei*) que possui corpo segmentado, cefalotórax mais abdômen, recoberto por um exoesqueleto composto basicamente de quitina e possui apêndices (patas, antenas) articulados (VALENTI, 1998).

Figura 1: Fotografia da anatomia do camarão *Litopenaeus vannamei*



2.2.2 Produção de camarão mundial

O camarão ocupa lugar de destaque no contexto da economia pesqueira mundial, não apenas pelo volume de captura (cerca de 20% do mercado), como também pela sua ampla distribuição geográfica. A costa marítima mundial possui vinte e oito espécies de interesse econômico para a pesca, destacando-se particularmente *Penaeus brasiliensis*, *Penaeus schmittii*, *Penaeus paulensis*, *Penaeus subtilis*, *Penaeus notialis*, *Macrobrachium amazonicum*, *Litopenaeus vannamei* e *Xiphopenaeus kroyeri* (HOLANDA, 2004).

A carcinicultura favorece as regiões que a praticam, pois se destaca como importante segmento sócio-econômico com um sensível avanço financeiro, tecnológico e se apresenta como uma alternativa viável para o incremento do nível da oferta mundial (CASTRO e PAGANI, 2004).

O potencial do Brasil para o desenvolvimento da carcinicultura é de tal magnitude que, se for eficientemente explorado, o país pode vir a competir pela liderança na produção mundial desse setor, pois dispõe de 600.000 ha de áreas apropriadas e, conta com excelentes condições e oportunidades para viabilizar essa exploração (ROCHA, 2011).

Segundo dados da associação brasileira de criadores de camarão - ABCC (2011) as estatísticas do setor pesqueiro e da carcinicultura brasileira, após sucessivas quedas na produção de camarão de cultivo a partir de 2003 (90.190 ton) e 2004 (75.904 ton), a produção brasileira de camarão cultivado permaneceu estável de 2005 a 2009 (65.000 ton) com um aumento significativo em 2010 (80.000 ton), demonstrando a recuperação parcial do setor.

2.2.3 Produção de camarão salgado e seco

Não há na legislação brasileira padrão de identidade e qualidade para o camarão salgado e seco, havendo somente para peixe salgado e peixe salgado seco o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (consulta pública) do MAPA, descrito em BRASIL (2001) e o Decreto nº 39.093 de 30 de abril de 1956, descrito em BRASIL (1956). A nível mundial, o Codex Alimentarius

estabelece que os teores de sal em peixes salgados secos não devem ser inferiores a 12% (CODEX ALIMENTARIUS, 1989), o que pode ser tomado inicialmente como referência no caso do camarão.

De acordo com Kraemer (2000), no Brasil, o camarão salgado e seco é preparado a partir de camarões oriundos da pesca artesanal no litoral do nordeste. A produção consiste na cocção dos camarões em salmoura, contendo aproximadamente uma parte de sal para três de camarão, durante um período de 30 minutos, seguido de drenagem em uma esteira de folha de palmeira entrelaçada, por 4 a 8 horas, com direta incidência da luz do sol. Em dias chuvosos ou nublados, o camarão é drenado e permanece nos cofos cobertos. Os processadores costumam usar a mesma salmoura várias vezes, adicionando sal novo a cada porção de camarão cozido. A vida de prateleira do produto é de 8 a 15 dias, dependendo do grau de secagem.

Há dificuldades na obtenção de dados estatísticos disponíveis sobre a produção de camarão salgado e seco indicando que este setor, embora promissor, necessita de incentivo adequado e fomento do governo.

2.3 Transferência de massa

Existem várias situações do cotidiano que envolve a transferência de massa. Por exemplo, um cristal de açúcar que após ser adicionado se dissolve no extrato de café contido em uma xícara e se difunde por todo o volume. A água evaporando de um lago, aumentando a umidade da corrente de ar que passa em escoamento. O frasco de perfume aberto e que após certo tempo sua fragrância é percebida no ambiente (WELTY, WICKS e WILSON, 1983).

2.3.1 Transferência de massa por difusão

A transferência de massa por difusão é um processo em que moléculas, íons, ou pequenas partículas espontaneamente se misturam, movendo-se de uma região de maior concentração para uma de menor concentração, ou seja, quando existe um gradiente de concentração em um sistema, ocorre uma

tendência natural de a massa ser transferida no sentido de minimizar a diferença de concentração (CUSSLER, 1997).

Os alimentos, em sua grande maioria, são porosos. A porosidade e as características do espaço poroso, como a forma predominante dos poros e a conectividade dos capilares são importantes nos fenômenos de transferência de calor e de massa nesses alimentos durante o processamento. Na indústria de alimentos, o fenômeno de transferência de massa sólido-líquido ocorre em vários processos de transformação, na extração sólido-líquido de óleos, na desidratação osmótica de vegetais e carnes e na salga de carnes e queijos (ANDRES et al., 2005).

Em muitos gêneros alimentícios a incorporação do sal é acompanhada de perda de água. Gerla e Rubiolo (2002) observaram que, no caso de cura úmida da carne suína, a perda de água depende do conteúdo de NaCl na salmoura. Às vezes, o contato prolongado, em condições de equilíbrio, do tecido da carne tratada com concentrações crescentes de NaCl apresentam modificações importantes. O uso do cloreto de sódio, afeta a microestrutura do tecido das carnes e o coeficiente de difusão do sal na salmoura depende da sua concentração.

Em 1967, Del Valle e Nickerson avaliaram os aspectos da dinâmica da migração dos íons de sódio e cloreto para dentro do músculo do peixe (*Xiphias gladius*) do ponto de vista da difusão e condução eletroquímica em várias concentrações de salmoura e em duas temperaturas. Os autores observaram que o coeficiente de difusão do sal depende da concentração de sal no músculo e da temperatura no meio. No início, o coeficiente de difusão diminuiu, até atingir um valor mínimo, e então aumentou com o aumento da concentração de sal, sendo que as variações do coeficiente de difusão foram mais observadas a 25° C que a 5°C.

Os modelos matemáticos são essenciais para a compreensão de inúmeros fenômenos. A execução de um modelo envolve cálculos computacionais e simula o experimento real, tornando mais rápido e barato a repetição do experimento para várias situações possíveis, inclusive aquelas inviáveis experimentalmente (ROSA, MONTEIRO e MANZOLI, 2006).

Modelos matemáticos podem contribuir para uma melhor compreensão dos fenômenos de transporte e controlar as variáveis envolvidas no processo, tais como os tempos de imersão e concentrações de sais adequados na salmoura (GRAIVER et al., 2009).

A transferência de massa durante o tratamento osmótico é, geralmente, fundamentada na Lei de Fick. Esta Lei estabelece que o fluxo de cada componente é proporcional ao gradiente de concentração, como mostrado na Equação 1.

$$J_i = -D\bar{\nabla}C_i \quad (1)$$

Onde J_i é o fluxo do componente i , C_i é a concentração mássica do componente i e D é a difusividade do componente i na matriz do produto. A difusividade depende das variáveis que influenciam a difusão, como temperatura e pressão e das propriedades da matriz porosa: porosidade (ξ) e tortuosidade (τ) (CREMASCO, 2002).

No entanto, para uma modelagem matemática é necessário uma abordagem considerando a conservação das massas das espécies envolvidas no sistema, a qual aplicada a um elemento diferencial de volume, considerando somente a difusão resulta na Equação 2, considerada como a 2ª Lei de Fick.

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \bar{\nabla} \cdot (D\bar{\nabla}C_i) \quad (2)$$

De acordo com a literatura, a 2ª Lei de Fick tem sido empregada para avaliar a transferência de massa durante a salga e maturação de queijo (CUSSLER, 1976; BONA, 2007; BONA et. al., 2005)

2.3.2 Transferência de massa por convecção

Quando num processo de transferência de massa entre um sólido e um fluido a resistência à transferência de massa na fase fluida é significativa, usam-se as equações representativas da convecção para a modelagem do

processo. Por exemplo, num processo de secagem, a taxa de transferência de massa está relacionada com a diferença de concentração de água no ar atmosférico entre a interface sólido fluido e o meio fluido. Assim, o fluxo de massa (J_i) pode ser calculado pela Equação 3.

$$J_i = h_m(C_i - C_\infty) \quad (3)$$

Onde h_m é o coeficiente convectivo de transferência de massa,

C_i é a concentração na interface e,

C_∞ é a concentração no meio fluido.

O coeficiente de transferência de massa depende das propriedades físicas do meio, da geometria do sistema e da hidrodinâmica. Ele pode ser determinado por meio de correlações em termos de grupos adimensionais podendo representar convecção natural e convecção forçada.

Convecção Natural:

$$Sh = \frac{h_m d}{D} = a Re^b Sc^c \quad (4)$$

Convecção forçada:

$$Sh = \frac{h_m d}{D} = f(Gr Sc)^g \quad (5)$$

Onde d é um comprimento característico, Sh (número de Sherwood), Re (número de Reynolds), $Sc = \nu/D$ (número de Schmidt) e Gr (número de Grashoff) são os grupos adimensionais e a, b, c, f e g são os coeficientes ajustados experimentalmente. O número de Grashoff aqui é definido como:

$$Gr = \frac{gL^3(C_{As} - C_{A\infty})}{\nu^2 C_{A\infty}} \quad (6)$$

Como existe uma similaridade das constantes nas equações adimensionais de transferência de calor e massa, as mesmas correlações de transferência de calor são geralmente utilizadas para a determinação de h_m , a partir da igualdade:

$$\frac{Nu}{RePr^{1/3}} = \frac{Sh}{ReSc^{1/3}} \quad (7)$$

Onde Nu – número de Nusselt

Pr – número de Prandtl

2.4 Processos de salga e secagem

2.4.1 Processo de salga

A salga é um processo de desidratação no qual o cloreto de sódio é a substância química utilizada e, pelas suas propriedades físicas e físico-químicas de higroscopicidade, é o agente desidratante do meio (BARUFFALDI e OLIVEIRA, 1998). O cloreto de sódio é considerado um ótimo agente desidratante, por apresentar uma alta capacidade de redução da atividade de água, fazendo com que a força motriz de saída de água do produto seja maior (MEDINA-VIVANCO, SOBRAL e HUBINGER, 2002). Assim, o princípio básico da salga é a desidratação do músculo, diminuindo o teor de água e aumentando o teor de cloreto de sódio (GAVA, SILVA e FRIAS, 2007).

No processo de salga ocorre a redução da água livre que eleva a pressão osmótica do meio e, conseqüentemente, reduz as condições de desenvolvimento e multiplicação dos microrganismos que causam deterioração do alimento. Também nessas condições muitas enzimas responsáveis por transformações químicas nos alimentos e em outros materiais biológicos, e diversas reações bioquímicas têm suas atividades reduzidas (SILVA, 2000; EVANGELISTA, 2001). Além da preservação, a salga reduz o peso e o volume do produto, aumentando a eficiência do transporte e armazenamento, e ainda pode fornecer produtos de sabor diferenciado do mesmo *in natura* (RODRIGUES, 2003).

Segundo Teixeira et al. (2007), o cloreto de sódio é responsável pela troca de água das células com o meio que as circunda, por intermédio de fenômenos de osmose, ajudando-as a absorver nutrientes e a eliminar resíduos.

O processo de salga pode ser efetuado por via seca, úmida (com uso de salmoura), ou ainda, por combinação das duas vias (salga mista). Para garantir melhor conservação do produto, na finalização da salga costuma-se empregar processos complementares como secagem e/ou refrigeração (BARUFFALDI e OLIVEIRA, 1998).

A salga é um processo de conservação muito utilizado em produtos cárneos e pescados. De acordo com Art. 461, Decreto Nº 39.093, de 30 de abril de 1956, entende-se por "pescado salgado" o produto obtido pelo tratamento do pescado íntegro, pela salga a seco ou por salmoura.

A salga de produtos cárneos ou de pescados pode alterar, de maneira positiva, certas características sensoriais do produto, como o sabor, a textura e a cor (CHIRALT et al., 2001). A conservação de carnes com soluções salinas envolve a transferência de sal e de água, no mesmo sentido ou em sentidos opostos, dependendo da concentração de sal na solução na qual o produto está imerso (PARDI et al. 1995). A saída de sólidos naturais do alimento é quantitativamente desprezível, embora possa ser importante no que diz respeito às características sensoriais e nutricionais (TONON, BARONI e HUBINGER, 2006).

De acordo com a literatura vários fatores influem na velocidade de absorção do sal pelo músculo do peixe, como o teor de gordura, a espessura do filé, o frescor da matéria-prima, a temperatura, a pureza química do sal, entre outros. No entanto, a maioria das tentativas para se estabelecer os padrões de qualidade para os produtos curados, principalmente os salgados, refere-se ao binômio teor de sal e umidade do produto (LESSI, 1995; PINHEIRO, 1995).

Segundo Ferreira et al. (2002) a salga para peixe pode ser feita por meio da salga seca (30% de sal para o peso do pescado seguido de drenagem), salga úmida (36 partes de sal para 100 L de água seguido de imersão de até 18 dias e posterior prensagem) e salga mista (30% de sal para o peso do pescado seguido de imersão e prensagem).

Na salga seca, o produto é obtido formando-se camadas homogêneas intercaladas de sal e pescado. Na salga úmida, o produto final é obtido imergindo o pescado em uma salmoura artificial supersaturada (mais que

26,5% de sal a 25°C). A salga mista é essencialmente um processo combinado dos dois processos (GEROMEL, 1982).

O processo de salga realizado na região Amazônica é totalmente empírico, feito sem técnica e sem princípios higiênico-sanitários, desde a fase da captura até o processamento, embalagem e transporte, o que torna impraticável a obtenção de produtos de boa qualidade. Esse é um dos motivos pelo qual ainda não existe um mercado formal para comercialização do produto (LOURENÇO, FERNANDES e CINTRA, 2001).

Dentre os parâmetros que influenciam a transferência de massa na desidratação osmótica estão a concentração e a temperatura da solução osmótica, a agitação, a relação entre a quantidade de solução osmótica/alimento, a estrutura dos alimentos (porosidade, etc), a forma e o tamanho (que determinam a área de superfície e resistência de transferência de massa), a natureza e peso molecular do soluto osmótico, a pressão (pressão alta, ambiente ou a vácuo), entre outros.

A seleção dos parâmetros de processo também depende da aplicação. Por exemplo, no preparo de doces é necessário o ganho elevado de sólidos, o que é favorecido pelo baixo peso molecular do soluto osmótico e baixa concentração da solução. Por outro lado, a desidratação requera perda de água elevado, o que é favorecido por um soluto de alto peso molecular. Por isso, é necessário encontrar o equilíbrio certo entre esses parâmetros do processo para que as taxas de transferências de massa seja controlada (RASTOGI et al., 2002)

No âmbito de desidratação osmótica existe uma grande quantidade de trabalhos científicos que demonstram a influência da concentração da solução desidratante ou a influência da temperatura sobre a taxa de desidratação de um material numa forma geométrica específica. Aiura et al. (2008) estudaram o desenvolvimento dos processos da salga em salmoura saturada (salga úmida) e salga seca de filés de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e avaliaram algumas características indicativas de qualidade do produto durante a estocagem. Os processos foram acompanhados por 156 horas na salga úmida e por 96 horas na salga seca e os filés salgados foram estocados, respectivamente, por 60 e 45 dias à temperatura ambiente. Os teores máximos

de cloreto nos filés (14%) foram atingidos com 72 horas na salga úmida e com 36 horas na salga seca. Os filés de tilápia salgados em salmoura mantiveram as características próprias do produto por um período de 45 dias, e os submetidos à salga seca apresentaram baixa umidade (6%) e alta concentração de extrato etéreo (4,6%). Molina Filho et al. (2006) determinaram as isotermas de sorção da carne de tambaqui desidratada osmoticamente a três temperaturas (5°C, 17°C e 29°C) e com duas concentrações de solução osmótica (10% e 30% de NaCl) pelo método gravimétrico. Foram analisadas as influências da variação da temperatura e concentração de NaCl na atividade de água da carne do tambaqui. Os autores concluíram que a umidade de equilíbrio foi influenciada pela temperatura e concentração da solução osmótica.

2.4.2 Processo de Secagem

A secagem de alimentos é um processo de conservação de alimentos que o homem conhece desde a antiguidade. Provavelmente, este método passou a ser usado a partir do momento em que o homem primitivo verificou que os grãos de cereais, feijões e ervilhas, sendo secos naturalmente no campo, poderiam ser armazenados por longos períodos. Ao imitar esta forma natural, o homem desenvolveu a secagem como um método prático de conservar produtos como carnes, peixes, frutas e condimentos (GIOIELLI e PITOMBO, 2004).

O processo de secagem tem a finalidade de eliminar um líquido volátil contido num corpo não volátil, por meio da evaporação, portanto, é a operação na qual a atividade de água de um alimento é diminuída pela remoção da água, por meio de sua vaporização. O tipo de secagem a ser utilizado depende, dentre outros fatores, do produto a ser desidratado, da sua constituição química e das características físicas do produto final desejado. Portanto, a eficiência do processo de secagem depende das propriedades do alimento, das propriedades do ar de secagem, da umidade relativa, da velocidade do ar de secagem e da temperatura (PARK et al., 2006).

A secagem pode ser efetuada ao sol ou por meio do uso de secadores industriais, em temperatura superior a 30°C, e por tempo suficiente para a redução de umidade e atividade de água (BASTOS, 1977).

A retirada de água de um alimento envolve fenômenos de transporte de massa e energia entre o alimento e a corrente de ar quente, o que requer a aplicação de equação de transporte da água dentro do alimento (SINGH e HELDMAN, 1987). A movimentação da água em um sólido, especificamente em um alimento, pode ser considerada como sendo um escoamento em um meio poroso, onde a geometria, as pressões capilares e a heterogeneidade do sólido são consideradas fatores relevantes no processo, influenciando diretamente no resultado final (COULSON e RICHARDSON, 1968).

A conservação pela secagem se baseia no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. Com a redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem, serão reduzidos a atividade de água, a velocidade das reações químicas no produto e o desenvolvimento de microrganismos (GONELI et al., 2007).

Uma das vantagens da secagem quando comparada com outros métodos de preservação, como refrigeração, irradiação, apertização e tratamentos químicos é o baixo custo e a simplicidade da operação (ROSSI e ROA, 1980).

O processo de secagem tem sido aplicado em vários segmentos da indústria de alimentos, como grãos, frutas, carnes ou peixes secos, produzindo novos produtos com características modificadas em suas texturas, sabor e aroma, cor e valor nutricional.

Em carnes ou peixes outras operações podem ser associadas com a secagem, como a salga e a defumação (GIOIELLI e PITOMBO, 2004).

Na literatura são citados vários métodos para modelar o comportamento da secagem de produtos higroscópicos (teóricos, semi-empíricos e empíricos). Segundo Brooker et al. (1992), nos métodos teóricos normalmente se consideram as condições externas sob as quais a operação ocorre, como também os mecanismos internos de transferência de energia e massa e seus efeitos. Dependendo do material que se está secando, a água pode movimentar-se no seu interior, por mecanismos diferentes.

Os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido consideram, geralmente, como mecanismo principal, a difusão de

massa fundamentada na Lei de Fick, que expressa o fluxo de massa por unidade de área sendo proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK et al., 2002; ROMERO-PEÑA e KIECKBUSCH, 2003).

O método empírico é um método de abordagem com base em dados experimentais e na análise adimensional. Os modelos empíricos de secagem apresentam uma relação direta entre o conteúdo médio de umidade e o tempo de secagem; omitem os fundamentos do processo de secagem e seus parâmetros não têm significado físico; conseqüentemente, não oferecem uma visão apurada dos processos importantes que ocorrem durante o fenômeno, embora descrevam as curvas de secagem para determinadas condições experimentais (KEEY, 1972); entre esses modelos, tem-se o de Thompson et al. (1968) e o de Wang e Singh (1978), tradicionalmente utilizados nos estudos de secagem de produtos agrícolas e de alimentos.

A modelagem empírica tem sido utilizada em estudos de cinética de secagem de muitos tipos de alimentos, como feijão, pequi, tamarindo, caldo-de-cana (GURJÃO et al., 2008; AFONSO JÚNIOR e CORRÊA, 1999; FURTADO et al., 2008; BAINI e LANGRISH, 2006).

Na Tabela 1, são mostrados alguns modelos matemáticos para determinação da cinética de secagem. Nestes modelos, RA representa a razão de umidade, adimensional, t é o tempo de secagem, em h, K , K_0 e K_1 são constantes de secagem, em h^{-1} e a , b , c e n são os coeficientes dos modelos.

Tabela 1: Modelos matemáticos para cinética de secagem (DOYMAZ; TUGRUL; PALA, 2006)

| MODELO | EQUAÇÃO |
|-----------------|--|
| Page | $RA = \exp(-Kt^n)$ |
| Page modificado | $RA = \exp[-(Kt)^n]$ |
| Thompson et al. | $RA = \exp((-a - (a^2 + 4bt))^{0,5}/2b)$ |
| Wang e Sing | $RA = 1 + at + bt^2$ |
| Henderson | $RA = a \exp(-Kt)$ |
| Newton | $RA = \exp(-Kt)$ |
| Dois termos | $RA = a \exp(K_0 t) + b \exp(-K_1 t)$ |
| Midilli et al. | $RA = a \exp(-Kt^n) + bt$ |

Muita ênfase se tem dado ao desenvolvimento de modelos semi-teóricos, que concorrem para que haja harmonia entre a teoria e a facilidade de seu uso. Tais modelos se baseiam, de modo geral, na Lei de Newton para resfriamento aplicada à transferência de massa. Quando se aplica esta Lei, presume-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de água se restrinja apenas à superfície do produto (BROOKER et al., 1992). Entre os semi-teóricos amplamente utilizados se tem os modelos de Dois Termos, de Lewis e de Page Modificado (PANCHARIYA et al., 2002).

Os modelos teóricos levam em consideração a resistência interna do material à transferência de umidade, enquanto nos modelos semi-teóricos e empíricos, a resistência externa entre o produto e o ar é que é correlacionada com a transferência de umidade (HENDERSON, 1974). Por outro lado, as equações empíricas dependem somente de dados experimentais sendo, portanto, de mais fácil obtenção e devem ser usados até que se consiga chegar a um modelo semi-teórico ou teórico (AFZAL e ABEL, 2000).

Em 2004, Castro e Pagani estudaram a secagem da cabeça de camarão às temperaturas de 50°C, 60°C e 70°C e os dados experimentais das curvas de secagem, foram ajustados às equações propostas por Page, Thompson e Cavalcanti Mata. A equação proposta por Page e Cavalcanti Mata representaram, satisfatoriamente, o processo de secagem a essas temperaturas, com um coeficiente de correlação (R^2) variando entre 0,994 e 0,998.

Ribeiro (2009) estudou a secagem da piraíba (*Brachyplatystoma Filamentosum*), *in natura* e defumada, realizando o ajuste dos dados experimentais obtidos utilizando o modelo teórico de Fick e os modelos empíricos de Midilli et al., Page, Wang e Singh e Henderson e Pabis, para geometria cúbica. Os modelos de Midilli et al. e Page apresentaram melhor ajuste em relação aos outros modelos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada nesse trabalho foi o camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) proveniente da Fazenda Nossa Senhora de Fátima, localizada a 160km da capital Belém no município de Curuçá, Estado do Pará. Para o processo de salga foi usado o camarão *in natura*, enquanto que no processo de secagem se utilizou o camarão pré-cozido e salgado elaborado na Fazenda.

3.1.1 Caracterização físico-química da matéria-prima

Para a caracterização físico-química da matéria-prima foi utilizado somente o abdômen do camarão, ou seja, foram retirados seu cefalotórax e sua casca.

As determinações analíticas realizadas foram de acordo com metodologias oficiais:

Umidade: Método gravimétrico, método 932.12 da AOAC (1997), que se fundamenta na perda de água à temperatura de 105°C até peso constante.

Proteínas: A determinação da proteína total foi feita segundo o método Kjeldahl, pela determinação do nitrogênio total, em que se determina o conteúdo de nitrogênio na matéria orgânica, incluindo o nitrogênio protéico propriamente dito e outros compostos nitrogenados não protéicos. Os níveis foram calculados se usando um fator de conversão específico para cada tipo de alimento, que no caso do pescado é de 6,25, de acordo com o método 940.25 da AOAC (1997).

Lipídeos: Os lipídeos totais foram determinados segundo o método B (BRASIL, 2011) o qual utiliza o butirômetro e fundamenta-se no ataque seletivo da matéria orgânica por meio de ácido sulfúrico com exceção dos lipídeos, que

são separados por centrifugação com auxílio do álcool isoamílico que modifica a tensão superficial.

Cinzas: Determinada pelo método gravimétrico, por incineração da matéria orgânica em forno de mufla a 550°C, de acordo com o método padrão 938.08 da AOAC (1997).

pH: Fundamenta-se na medida da concentração de íons hidrogênio da amostra (BRASIL,2011), foi mensurado em triplicata utilizando potenciômetro, marca Metrohm.

Cloretos: O conteúdo de NaCl foi determinado pelo Método de Mohr (método 937.09 da AOAC,1997), no qual os cloretos são precipitados sob a forma de cloreto de prata, em pH levemente alcalino em presença do cromato de potássio como indicador. O final da titulação é visualizado pela formação de precipitado vermelho tijolo de cromato de prata. Essa análise foi feita somente para o camarão salgado.

3.2 Salga

Aproximadamente 06 kg de camarão inteiro fresco foram doados pelo proprietário da Fazenda para a realização deste trabalho. O camarão foi recebido em caixa isotérmica com gelo, no Laboratório Nacional Agropecuário no Pará (LANAGRO/PA) e armazenado em freezer horizontal (CONSUL) à temperatura de -18°C até o momento dos procedimentos experimentais.

3.2.1 Solução osmótica

A solução osmótica foi preparada com água destilada e cloreto de sódio comercial (sal refinado iodado, marca LEBRE, validade setembro/2012) nas concentrações próximas à saturação a 100°C e de 38% (m/m) e a 80°C e 36% (m/m), respectivamente. Utilizou-se uma razão mássica de 1:50 de camarão:

salmoura, quantidade considerada suficiente para evitar mudanças significativas na concentração do sal na salmoura durante o ensaio.

3.2.2 Procedimento experimental – Salga

Os experimentos de salga do camarão foram realizados de acordo com as condições operacionais apresentadas na Tabela 2. Cada ensaio foi realizado se usando um sistema formado de Becker de 500ml, agitador magnético com aquecimento e termômetro.

Os camarões foram descongelados à temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) e pesados em balança semi-analítica (CELTAC, modelo FA2104N) e em seguida dez unidades eram adicionadas em salmoura (solução osmótica). O tempo de salga foi de 40 minutos nos ensaios de 1 a 4, com amostragem nos tempos de 5, 10, 15, 20, 30 e 40 minutos; e de 80 minutos nos ensaios 5 e 6, com amostragem nos tempos de 5, 10, 15, 20, 30 e 40 min, e em intervalos de tempo de 10, 20, 30, 40, 60 e 80 mim. A cada amostragem um camarão era retirado e submetido à pesagem em balança analítica e análise de cloretos pelo Método de Mohr, descrito no item 3.1.1, para a quantificação do ganho de sal no camarão.

Tabela 2: Condições operacionais do processo de salga

| Ensaio | Salmoura % (m/m) | Temperatura (°C) | Camarão | Uso de agitação |
|--------|---------------------|---------------------|---------|--------------------|
| 1 | 36 | 80 | CCCC | Não |
| 2 | 38 | 100 | CCCC | Não |
| 3 | 36 | 80 | SCSC | Não |
| 4 | 38 | 100 | SCSC | Não |
| 5 | 36 | 80 | SCSC | Sim |
| 6 | 38 | 100 | SCSC | Sim |

Legenda: CCCC: camarão com cabeça e com casca; SCSC: camarão sem cabeça e sem casca

3.2.3 Modelagem matemática da cinética da salga

A modelagem matemática foi realizada partindo da equação de Fick (Equação 2), considerando regime transiente numa matriz cilíndrica com fluxo somente na direção radial. Além disso, foram feitas as seguintes considerações: concentração inicial uniforme, concentração da solução constante (alta relação sólido/fluido), concentração de equilíbrio constante na superfície (resistência externa desprezível) e simetria de concentração.

Admitindo que todos os mecanismos de transferência de massa que ocorrem no meio estejam, empiricamente, contemplados na difusividade efetiva, D_{ef} , o fluxo do difundente será governado pela contribuição difusiva do balanço diferencial de massa que pode ser expressa em coordenada cilíndrica, considerando-se difusão unidimensional na direção radial, pela Equação 8.

$$\frac{\partial W_A}{\partial t} = D_{ef} \left(\frac{\partial^2 W_A}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W_A}{\partial r} \right) \quad (8)$$

Onde W_A é a fração mássica de NaCl e D_{ef} a difusividade efetiva de NaCl na matriz sólida, representada pelo camarão.

Para a solução da equação diferencial (Equação 8) serão usadas as condições limitantes $W_A(r, 0) = W_{Ao} = 0$, $W_A(R, t) = W_{A\infty}$ e $W_A(0, t) = \text{finito}$, sendo R o raio do camarão.

A solução da Equação 8 fornece uma equação representativa da distribuição do soluto NaCl no camarão, dada como uma série de Fourier, cujo primeiro termo pode ser tomado como uma solução aproximada, representada pela Equação 9.

$$\frac{W_{A\infty} - W_A}{W_{A\infty} - W_{Ao}} = \frac{2}{\lambda_1 J_1(\lambda_1 r/R)} \exp\left(-\frac{\lambda_1^2 D_{ef} t}{R^2}\right) J_0(\lambda_1 r/R) \quad (9)$$

Onde λ_1 é a o autovalor da função correspondente ao primeiro termo da série, e J_1 e J_0 são constantes da função de Bessel de 1ª espécie.

Para efeito de ajuste dos dados experimentais, foi desenvolvido um modelo para o cálculo da fração mássica média no sólido, aplicando-se o teorema da média à Equação 9 resultando na Equação 10.

$$\frac{W_{A\infty} - \bar{W}_A}{W_{A\infty}} = \frac{4}{\lambda_1^2} \exp\left(-\frac{\lambda_1^2 D_{eff} t}{R^2}\right) \quad (10)$$

Para o ajuste dos dados experimentais foram usados os valores $\lambda_1 = 2,4048$, visto que a resistência externa é desprezível, ou seja, Biot tende a infinito e o valor experimental do $R = 0,01$ m.

A concentração de equilíbrio do cloreto de sódio no camarão foi determinada usando-se a Equação 11 obtida do balanço de massa na interface sólido/fluido considerando a saída de água e a entrada de cloreto de sódio (SOURAKI, 2012). Este modelo é apropriado para prever a cinética do processo osmótico usando-se dados obtidos num período relativamente curto de tempo e relaciona o ganho de cloreto de sódio (\bar{W}_A) com o tempo (OCHOA-MARTINEZ et al., 2007).

$$\bar{W}_A = \frac{KW_{A\infty}t}{1+Kt} \quad (11)$$

Onde \bar{W}_A é a fração mássica média do cloreto de sódio no camarão no tempo t (s), $W_{A\infty}$ é a fração mássica no equilíbrio e K (s^{-1}) é a constante do modelo relativo à taxa de difusão.

3.3 Secagem

As amostras de camarão salgado processado na Fazenda Nossa Senhora de Fátima, acondicionadas em saco plástico (50 L), foram recebidas no Laboratório de Operações de Separação (LAOS/UFPA) e armazenadas em freezer vertical (CONSUL) à 18 °C até o momento dos procedimentos experimentais.

3.3.1 Estudo da cinética de secagem

Para avaliar qual a melhor temperatura a ser utilizada na secagem do camarão salgado, foi realizado o estudo da cinética de secagem nas temperaturas de 60°C, 80°C e 100°C utilizando-se uma estufa de recirculação (QUIMIS mod.Q 314 M122). Os experimentos foram feitos em triplicata, onde para cada condição de temperatura, foram utilizadas aproximadamente 5 g do camarão inteiro. A perda de peso das amostras foi acompanhada com auxílio de balança semi-analítica (Gehaka mod. AG 200) em intervalos de tempo de 5 minutos até peso constante.

3.3.2 Modelagem matemática da cinética de secagem

Os dados cinéticos de secagem foram ajustados utilizando-se as equações empíricas e semi-empíricas 12 a 16.

Modelo de Henderson e Pabis

$$RA = \frac{TA - TA_e}{TA_i - TA_e} = a \exp(-Kt) \quad (12)$$

Modelo de Midilli et al.

$$RA = a \exp(-Kt^n) + bt \quad (13)$$

Modelo de Newton

$$RA = \frac{TA - TA_e}{TA_i - TA_e} = \exp(-Kt) \quad (14)$$

Modelo de Page

$$RA = \frac{TA - TA_e}{TA_i - TA_e} = \exp(-Kt^n) \quad (15)$$

Modelo de Wang e Singh

$$RA = \frac{TA - TA_e}{TA_i - TA_e} = 1 + at + bt^2 \quad (16)$$

Onde

RA é a razão de água, adimensional;

t é o tempo, h;

K é constante de secagem;

a, b, n são coeficientes do modelo;

TA é o teor de água no momento t, % base úmida;

TA_e é o teor de água no equilíbrio, % base úmida;

TA_i é o teor de água inicial, % base úmida.

A avaliação do melhor ajuste foi feita pelo valor do coeficiente de determinação do ajuste (R^2), considerando que quanto mais próximo de 1, melhor será o ajuste.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características físico-químicas

4.1.1 Camarão *in natura*

Os resultados da caracterização físico-química do camarão *in natura* sem casca e cefalotórax são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Características físico-químicas do camarão *in natura* sem casca e cefalotórax

| PARÂMETROS | (%) |
|------------|--------------|
| Umidade | 75,93± 0,02 |
| Proteína | 19,96 ± 0,14 |
| Lipídeos | n. d. |
| Cinzas | 1,49 ± 0,07 |
| pH | 6,73± 0,00 |

Médias e seus desvios padrões; n. d. = não detectado

Quando os resultados encontrados de umidade (75,93%), proteína (19,96%), lipídeos (não detectado), cinzas (1,49%) e pH (6,73) são comparados com dados disponíveis em literatura para a espécie *Litopenaeus vanamei* e para outras espécies de camarão, algumas observações podem ser relatadas.

Kirschnik (2003) obteve para camarão *in natura* da espécie *Macrobrachium rosenbergii* valores de umidade de 77,74%, Moucherek Filho, Vaz e Maranhão (2003) obtiveram para espécie de camarão não identificada pelos autores, 78,8%. Já em 2001, Pedrosa e Cozzolino encontraram o valor de umidade de 88,34% para a espécie *Penaeus brasiliensis* e Rocha et al. (2007) verificaram uma umidade de 78,6% para a mesma espécie em estudo nesse trabalho. Esses dados mostram que a umidade obtida para o *Litopenaeus vanamei* de 75,93% se encontra abaixo dos valores da literatura. Tal comportamento pode ser devido à espécie estudada ser oriunda de cativeiro, onde os fatores tipo de alimentação, salinidade da água, tempo de

vida do camarão podem afetar o seu conteúdo de água, além do que a forma e o tempo de acondicionamento do camarão também podem contribuir para esta variabilidade.

Os valores de proteínas (19,96%), lipídeos (n.d.) e cinzas (1,49%) estão de acordo com os dados obtidos por Moucherek Filho, Vaz e Maranhão (2003) para camarão *in natura* – espécie não identificada (proteínas 18,3%, lipídeos 0,1% e cinzas 1,4%). Comparando com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2006) tem-se para o camarão cru *Penaeus brasiliensis* valores de umidade igual a 89,1%, proteína igual a 10,0%, lipídeos 0,5% e cinzas 0,8%, indicando que a espécie estudada é mais rica em proteínas.

Em 2011, Santos encontrou para o camarão *Litopenaeus vanamei* um valor médio de pH de 7,13. Conforme Contreras-Guzmán (1994), Gonçalves e Gomes (2008), o valor de pH entre 7,0 e 8,5 é característico de crustáceos (pH alcalino). O pH de 6,73 pode ter sido afetado pela composição da água dos tanques de produção da espécie em cativeiro. Mesmo assim, nota-se que não há uma diferença acentuada quando comparado com os valores da literatura.

4.1.2 Camarão pré-cozido salgado

Os resultados da caracterização físico-química do camarão pré-cozido salgado (Fazenda) sem casca e cefalotórax são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Características físico-químicas do camarão pré-cozido salgado (Fazenda) sem casca e cefalotórax

| PARÂMETROS | (%) |
|------------|--------------|
| Umidade | 57,88 ± 0,25 |
| Proteína | 30,85 ± 0,49 |
| Lipídeos | n.d |
| Cinzas | 8,39 ± 0,45 |
| Cloretos | 5,10 ± 0,31 |

Médias e seus desvios padrões; n. d. = não detectado

O valor encontrado de umidade (57,88%) para o camarão salgado/cozido encontra-se em desacordo com o Decreto nº 39.093 de 30 de abril de 1956, que considera que o pescado salgado/seco não deve conter mais que 35g/100g de água, ou seja, cerca de 25% de umidade. Comportamento este já esperado em virtude do camarão processado na fazenda não ser submetido a secagem após o seu cozimento em salmoura. Dados da literatura mostram que autores que trabalharam com camarão salgado/seco, como Kraemer (2000) e Sampaio (2004) também encontraram valores de umidade superiores ao permitido pela legislação brasileira, 33,79% e 28,77% a 35,70%, respectivamente. Pontes, Guimarães e Souza (1988) também encontraram, para o camarão canela (*Macrobrachium acanthurus*) salgado, o teor de umidade elevado sendo de 51,60% (parte comestível). O mesmo comportamento foi observado por Cirilo, Santos e Nunes (2011) que encontraram para o camarão (*Macrobrachium jelskii*) salgado/cozido o valor de 52,13%.

Pontes, Guimarães e Souza (1988) obtiveram para cinzas o valor de 16,60% para o camarão canela salgado. No entanto, os autores não discriminam a parte do camarão analisada, indicando que pode ser o camarão inteiro, ou seja, a amostra deve conter o cefalotórax e casca. Castro e Pagani (2004), estudando a secagem e composição química do cefalotórax de camarão (*Litopenaeus vannamei*), verificaram um teor de cinza variando de 12,2% a 14,5%, constatando que este componente pode ser encontrado em concentrações maiores no cefalotórax. Nota-se que o valor de cinzas encontrado para o camarão salgado/cozido de cerca de 8% está abaixo dos valores da literatura, no entanto, segundo Chirol (2007), este valor pode sofrer alteração de acordo com o tipo de alimentação destinada ao camarão. Ressaltando-se ainda a provável variação no processo de salga dos produtos.

Pontes, Guimarães e Souza (1988) encontraram para o camarão canela (*Macrobrachium acanthurus*) salgado, o teor de cloretos de 13,74% e Cirilo, Santos e Nunes (2011) verificaram para o camarão (*Macrobrachium jelskii*) salgado/cozido valor de cloretos de 12,68%, valores acima do encontrado

neste trabalho que foi de 5,10%, diferença esta provavelmente causada pelos distintos processos de salga utilizados pelos autores da literatura.

4.2 Características do processo de salga

Para acompanhar o comportamento do processo de salga determinou-se o teor de cloretos nos tempos e temperaturas pré-estabelecidos, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 5 e 6, como as médias e desvios padrão dos valores obtidos nas análises realizadas em triplicatas.

Tabela 5: Evolução da absorção de cloreto de sódio no camarão (% m/m) em uma salmoura a 36% e 80°C

| t (h) | CCSA | SCSA | SCCA |
|-------|---|------------|------------|
| | Teor de cloreto de sódio no camarão (% m/m) | | |
| 0,083 | 5,62±2,79 | 5,21±0,62 | - |
| 0,167 | 6,22±1,72 | 7,60±0,55 | 8,90±0,64 |
| 0,250 | 8,84±3,22 | 9,13±0,61 | - |
| 0,333 | 8,86±1,87 | 9,80±0,25 | 11,69±0,12 |
| 0,500 | 9,78±2,38 | 11,47±0,51 | 13,10±0,00 |
| 0,667 | 10,72±2,60 | 12,86±0,47 | 15,00±0,21 |
| 1,000 | - | - | 15,22±0,69 |
| 1,333 | - | - | 15,80±0,23 |

Legenda: CCSA: camarão com casca, sem cabeça, sem agitação

SCSA: camarão sem casca, sem cabeça, sem agitação

SCCA: camarão sem casca, sem cabeça, com agitação

Tabela 6: Evolução da absorção de cloreto de sódio no camarão (% m/m) em uma salmoura a 38% e 100°C

| t (h) | CCSA | SCSA | SCCA |
|-------|---|------------|------------|
| | Teor de cloreto de sódio no camarão (% m/m) | | |
| 0,083 | 9,52±1,22 | 8,90±0,54 | - |
| 0,167 | 9,23±5,13 | 10,91±0,88 | 12,77±1,97 |
| 0,250 | 14,61±0,41 | 12,49±0,74 | - |
| 0,333 | 16,19±2,48 | 12,79±0,70 | 13,82±0,68 |
| 0,500 | 20,87±5,06 | 14,52±1,04 | 16,14±1,14 |
| 0,667 | 15,19±2,33 | 16,07±1,05 | 15,60±0,37 |
| 1,000 | - | - | 15,40±0,80 |
| 1,333 | - | - | 16,52±1,22 |

Nota-se nas Tabelas 5 e 6 que em todas as condições de processo de salga há um ganho de sal no tempo, mas, ressalta-se que na condição de salga se usando somente o abdômen do camarão no sistema com agitação observa-se que a partir de 0,667h parece ocorrer uma saturação do sal no camarão (cerca de 15%). Tal comportamento ocorre provavelmente pelo alcance da capacidade máxima de ganho de sal em virtude da modificação da constituição física do meio sólido onde ocorre a difusão, ou seja, verifica-se um enrijecimento da carne do camarão com o tempo de contato a 80°C e 100°C o que pode dificultar o processo. A influência da concentração de cloreto de sódio na salmoura inicial foi observada por Volpato (2005) em estudo da cinética da salga de peito de frango, o qual verificou que a concentração de cloreto de sódio no peito de frango no final do processo aumentou com o aumento da concentração de cloreto de sódio na solução inicial.

O efeito da cocção de carnes, que depende do binômio temperatura-tempo, ocorre sobre o conteúdo de proteínas, gorduras e vitaminas. Com o calor as proteínas se desnaturam, ocorrendo coagulação e, quando a carne é bem cozida ocorre o seu endurecimento, sendo esse denominado de “endurecimento protéico”. Ao atingir 64°C as proteínas miofibrilares se tornam menos tenras e vão perdendo a capacidade de perder água (EMBRAPA, 2011). No caso específico do camarão, em virtude do mesmo apresentar maior

quantidade de proteína, a desnaturação de proteína pode também ter contribuído para a limitação da difusão do sal no meio sólido.

Nota-se também que o processo de salga foi melhor conduzido no sistema SCCA, visto que nos processo CCSA era perceptível a aderência de sal na casca e patas do camarão levando a instabilidade na quantificação de sal.

Quando os processos CCSA e SCCA são comparados nota-se um ganho de sal quando se agita o sistema de salga. Fato esse esperado, em virtude da melhor distribuição do sal na salmoura não permitindo um provável acúmulo de sal em pontos do sistema de salga. Segundo Chenlo et al., (2002) o processo osmótico envolve a utilização de soluções com um ou mais solutos, que normalmente, apresentam viscosidade elevada que afeta a taxa de transferência de massa do processo, para minimizar este efeito costuma-se conduzir o processo de desidratação osmótica sob agitação.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados da umidade dos camarões nos processos SCCA a 36% e 38%, medidos ao final da salga (1,333h = 80 min). Nota-se que a umidade do produto final ficou dentro da faixa prevista no Decreto nº 39.093 de 30 de abril de 1956, o qual determina que o pescado salgado-seco não deve conter mais que 35g/100g de água.

Observa-se, também, a diminuição do conteúdo de água ao longo do tempo de salga, fato esperado no processo de osmose. Ressalta-se novamente que a 0,667h, o sistema parece entrar em condição de equilíbrio osmótico o que já havia sido observado quanto ao ganho de sal, o que pode ser resultante da desnaturação protéica do camarão nessa condição.

Tabela 7: Comportamento da umidade dos camarões no processo de salga a 80°C (36% m/m) e a 100°C (38% m/m) com agitação

| Tempo (h) | 36% | 38% |
|----------------|-------|-------|
| 0,167 | 42,79 | 32,61 |
| 0,333 | 37,73 | 29,18 |
| 0,500 | 40,00 | 27,92 |
| 0,667 | 37,85 | 27,99 |
| 1,000 | 34,60 | 30,72 |
| 1,333 (80 min) | 34,50 | 30,89 |

4.2.1 Modelo matemático

Os resultados obtidos no processo de salga e mostrados nas Tabelas 6 e 7 foram ajustados a um modelo matemático obtido a partir da solução da equação resultante do balanço de massa aplicado à difusão num cilindro, como descrito no item 3.2.3, na forma seguinte:

$$\bar{W}_A = W_{A\infty} \left[1 - \frac{4}{\lambda_1^2} \exp\left(-\frac{\lambda_1^2 D_{eff} t}{R^2}\right) \right] \quad (17)$$

Os valores da concentração de equilíbrio, $W_{A\infty}$, assim como o parâmetro do modelo relativo à taxa de difusão, K , para cada experimento foram obtidos pela linearização da Equação 11, representado pela reta ajustada com a Equação 18, usando-se os dados experimentais, como mostrado nas Figuras 2 e 3.

$$\frac{1}{\bar{W}_A} = \frac{1}{KW_{A\infty}} + \frac{t}{W_{A\infty}} \quad (18)$$

Figura 2: Gráfico do ajuste linear do modelo de dois parâmetros para determinação de $W_{A\infty}$ e K para a concentração da solução de 36%

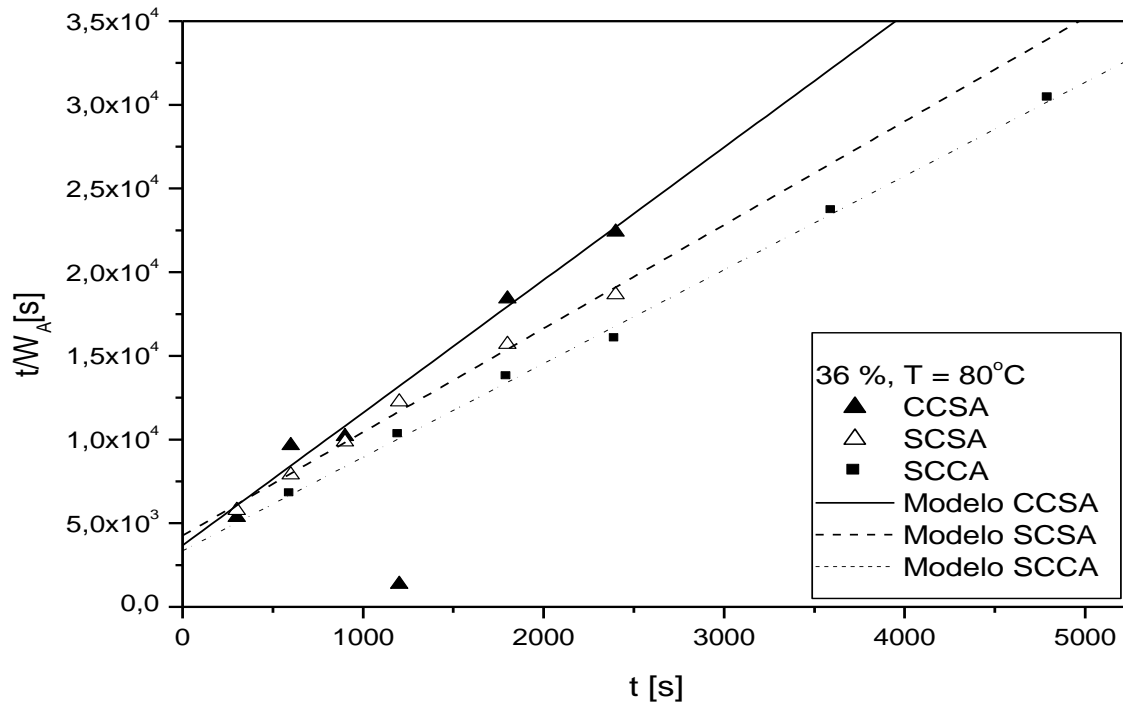
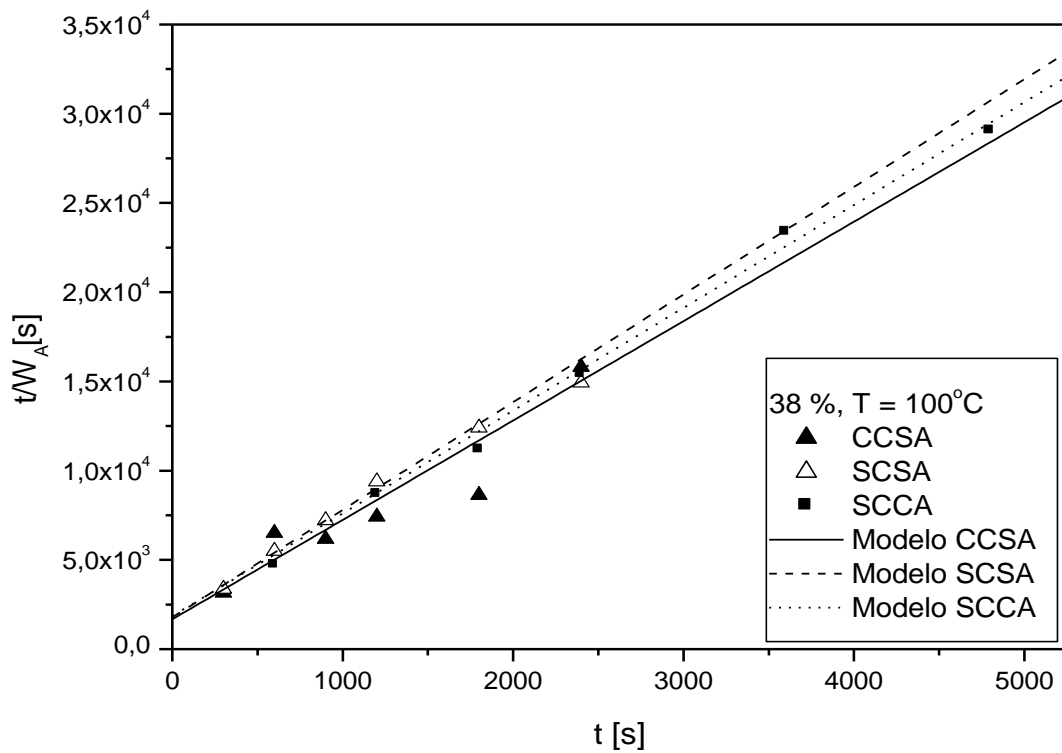


Figura 3: Gráfico do ajuste linear do modelo de dois parâmetros para determinação de $W_{A\infty}$ e K para a concentração da solução de 38%



A Tabela 8 mostra os valores das concentrações de equilíbrio do cloreto de sódio no camarão, dadas em fração mássica ($W_{A\infty}$), e da constante do modelo (K) nas várias condições de temperatura (T), concentração da solução salina (CS) e condições operacionais, além do coeficiente de correlação (R^2).

Tabela 8: Valores de concentração de equilíbrio de NaCl no camarão e da constante obtidas com o modelo de dois parâmetros

| T (°C) | CS(%) (%) m/m | Condição | $W_{A\infty}$ | K (s ⁻¹) | R^2 |
|--------|------------------|----------|---------------|----------------------|-------|
| 80 | 36 | SCCA | 0,1785 | 0,00168 | 0,99 |
| | | SCSA | 0,2564 | 0,00089 | 0,99 |
| | | CCSA | 0,1295 | 0,00288 | 0,92 |
| 100 | 38 | SCCA | 0,1736 | 0,00387 | 0,99 |
| | | SCSA | 0,1659 | 0,00338 | 0,99 |
| | | CCSA | 0,1795 | 0,00333 | 0,87 |

Os dados apresentados na tabela 8 do coeficiente de correlação R^2 mostram que os processos de salga SCCA e SCSA nas condições propostas de 36% (%m/m) e 38% (%m/m) foram os que apresentaram melhor ajuste ao modelo. Observa-se, também, que para o processo SCCA a concentração de equilíbrio não apresentou grande diferença, provavelmente devido ao uso da agitação que forneceu estabilidade ao processo.

As Figuras 4 e 5 mostram a comparação entre os valores experimentais de W_A e os valores preditos pelo modelo de difusão de massa no sistema cilíndrico para as condições propostas neste trabalho, onde pode-se observar que o processo de salga do camarão sem casca e sem agitação é o mais eficiente seguido do processo de salga com agitação e sem casca, sendo o processo de salga com casca e sem agitação o menos eficiente.

Figura 4: Gráfico da comparação entre os valores experimentais de W_A e os valores preditos pelo modelo de difusão de massa no sistema cilíndrico para a temperatura de 80°C

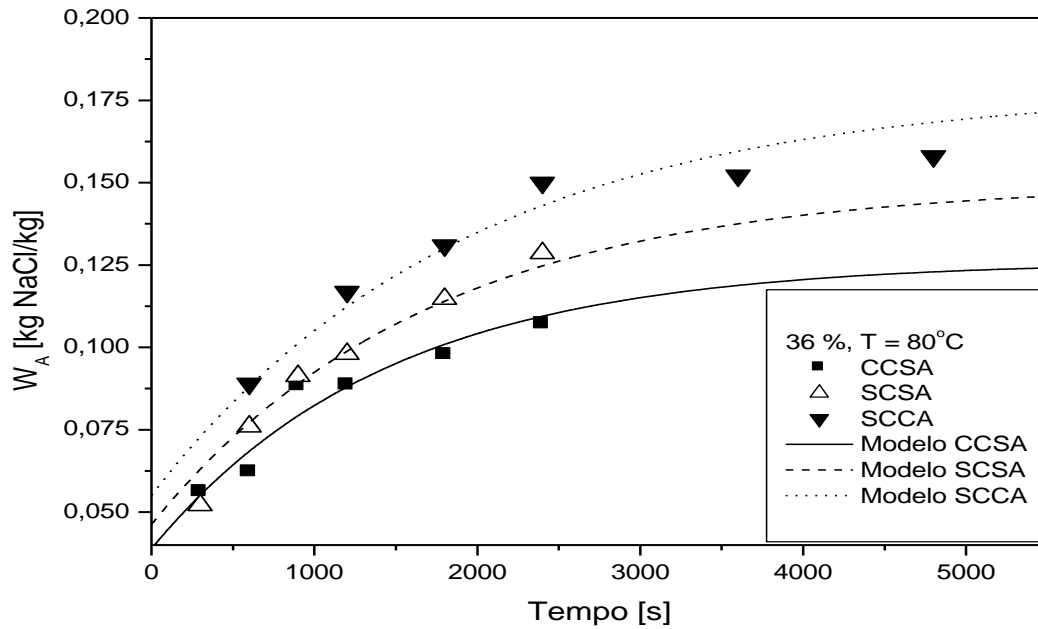
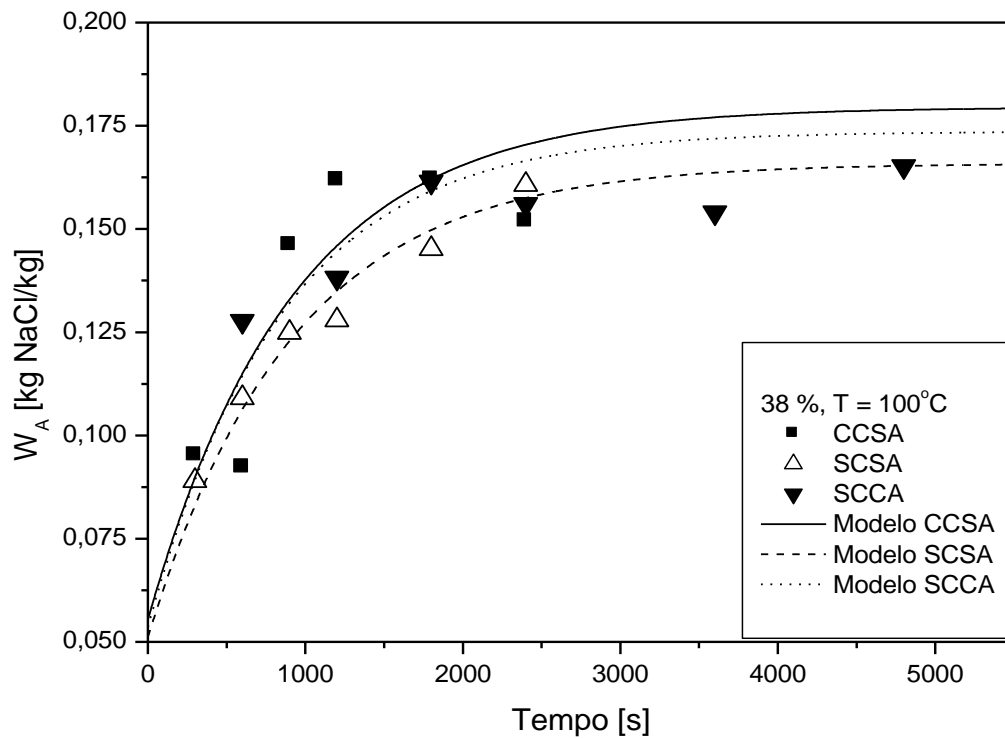


Figura 5: Gráfico da comparação entre os valores experimentais de W_A e os valores preditos pelo modelo de difusão de massa no sistema cilíndrico para a temperatura de 100°C



As figuras 6 e 7 apresentam o resíduo resultante do ajuste do modelo de difusão de massa, podendo-se observar que o sistema de salga SCSA e SCCA apresentaram uma distribuição relativamente uniforme.

Figura 6: Gráfico dos resíduos resultantes do ajuste do modelo de difusão de massa aos dados experimentais para a condição de 36% (%) m/m (80°C)

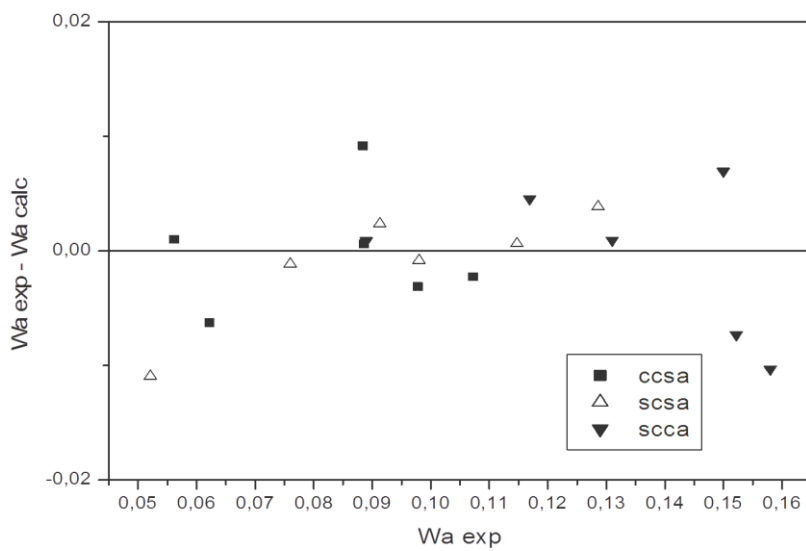
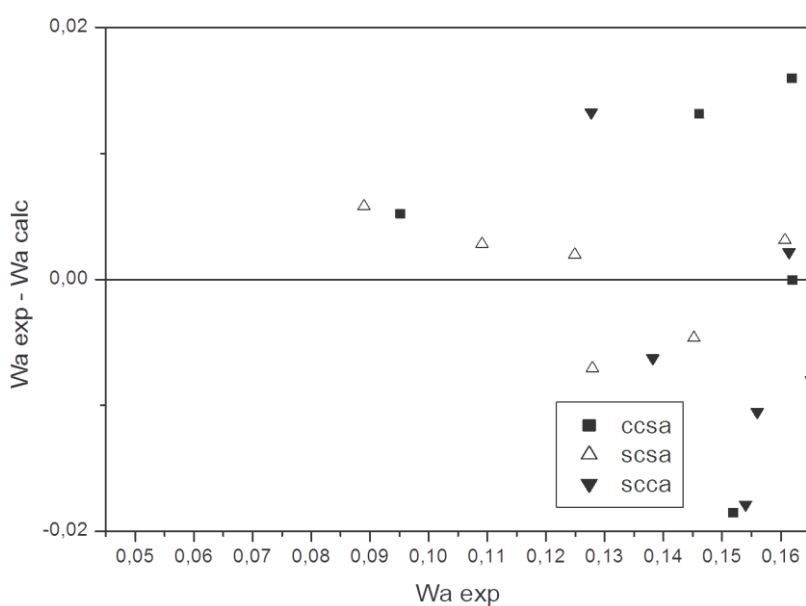


Figura 7: Gráfico dos resíduos resultantes do ajuste do modelo de difusão de massa aos dados experimentais para a condição de 38% (%m/m) (100°C)



A partir dos parâmetros de ajuste do modelo matemático foi possível calcular a difusividade efetiva do NaCl no camarão (D_{ef}). Os valores calculados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Valores da difusividade efetiva do NaCl no camarão

| T (°C) | CS(%) m/m | Condição | Difusividade Efetiva m ² /s |
|--------|--------------|----------|--|
| 80 | 36 | SCCA | $0,9 \times 10^{-8}$ |
| | | SCSA | $1,0 \times 10^{-8}$ |
| | | CCSA | $1,2 \times 10^{-8}$ |
| 100 | 38 | SCCA | $2,0 \times 10^{-8}$ |
| | | SCSA | $1,9 \times 10^{-8}$ |
| | | CCSA | $1,9 \times 10^{-8}$ |

Os valores para a difusividade efetiva do NaCl para a concentração de 36% (m/m) a 80°C foram de $0,9 \times 10^{-8}$ a $1,2 \times 10^{-8}$ e para 38% (m/m) a 100°C a difusividade efetiva ficou na faixa de $1,9 \times 10^{-8}$ a $2,0 \times 10^{-8}$. Observa-se o aumento do coeficiente de difusão com a concentração, situação também obtida por Gravier et al., (2006) para a difusão do cloreto de sódio em carne de porco a temperatura de 4°C e concentrações de NaCl de 30 g/L, 70 g/L, 100 g/L, 140 g/L e 200 g/L; os valores de difusividade foram de $0,60 \times 10^{-10}$, $1,10 \times 10^{-10}$, $1,70 \times 10^{-10}$, $1,85 \times 10^{-10}$ e $5,0 \times 10^{-10}$, respectivamente.

Em 2005, Volpato et al. encontraram valores de difusividade do cloreto de sódio no peito de frango na faixa de $8,99 \times 10^{-10}$ m²/s a $9,55 \times 10^{-10}$ m²/s calculado utilizando a segunda lei de Fick, com tempo de cura de 60h e combinação de salmouras nas concentrações de 2%, 6% de NaCl, 1% e 3% de fosfato, 4% de dextrose e temperaturas de 5°C e 15°C.

Não foi encontrado na literatura dados de difusividade e da constante de distribuição do NaCl para a matriz camarão, por isso relatamos outras matrizes.

4.3 Cinética da secagem

A Tabela 10 apresenta os valores do coeficiente de determinação (R^2) obtidos com o ajuste dos modelos de secagem testados, nas condições de secagem para o camarão pré-cozido/salgado. Pode-se verificar que a 100°C os modelos testados representaram satisfatoriamente os dados experimentais, pois o coeficiente de determinação (R^2), na maioria das situações, encontra-se na ordem de 0,99, existindo diferenças, entre as equações, somente na terceira casa decimal. Dentre os modelos avaliados, o modelo de Midilli et al. foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem do camarão pré-cozido/salgado para as temperaturas de 80°C e 100°C, com valor do coeficiente de determinação (R^2) de 0,991 e 0,998, respectivamente, o que representa um bom ajuste do modelo, segundo Martinazzo et al. (2010). O modelo proposto por Wang e Singh foi o que apresentou pior ajuste aos dados experimentais em todas as condições de trabalho com valor de R^2 variando de 0,899 a 0,977.

Castro e Pagani (2004), Macedo (2008) encontraram na secagem de cefalotórax de camarão resultados satisfatórios para a equação de Page, com coeficiente de determinação (R^2) na ordem de 0,99.

Tabela 10: Coeficientes de determinação (R^2) calculados para a verificação do ajuste dos modelos de secagem do camarão pré-cozido/salgado nas temperaturas de 60°C, 80°C e 100°C

| Modelos de secagem | (R^2) | | |
|--------------------|---------|-------|-------|
| | 60°C | 80°C | 100°C |
| Henderson e Pabis | 0,975 | 0,989 | 0,996 |
| Midilli et al. | 0,977 | 0,991 | 0,998 |
| Newton | 0,975 | 0,988 | 0,996 |
| Page | 0,986 | 0,990 | 0,996 |
| Wang e Singh | 0,974 | 0,899 | 0,977 |

As Figuras 8 a 12 apresentam o ajuste dos dados da cinética aos modelos testados de Henderson e Pabis, Midilli et al., Newton, Page e Wang e Singh.

Figura 8: Gráficos do Modelo de Henderson e Pabis a 60°C, 80°C e 100°C

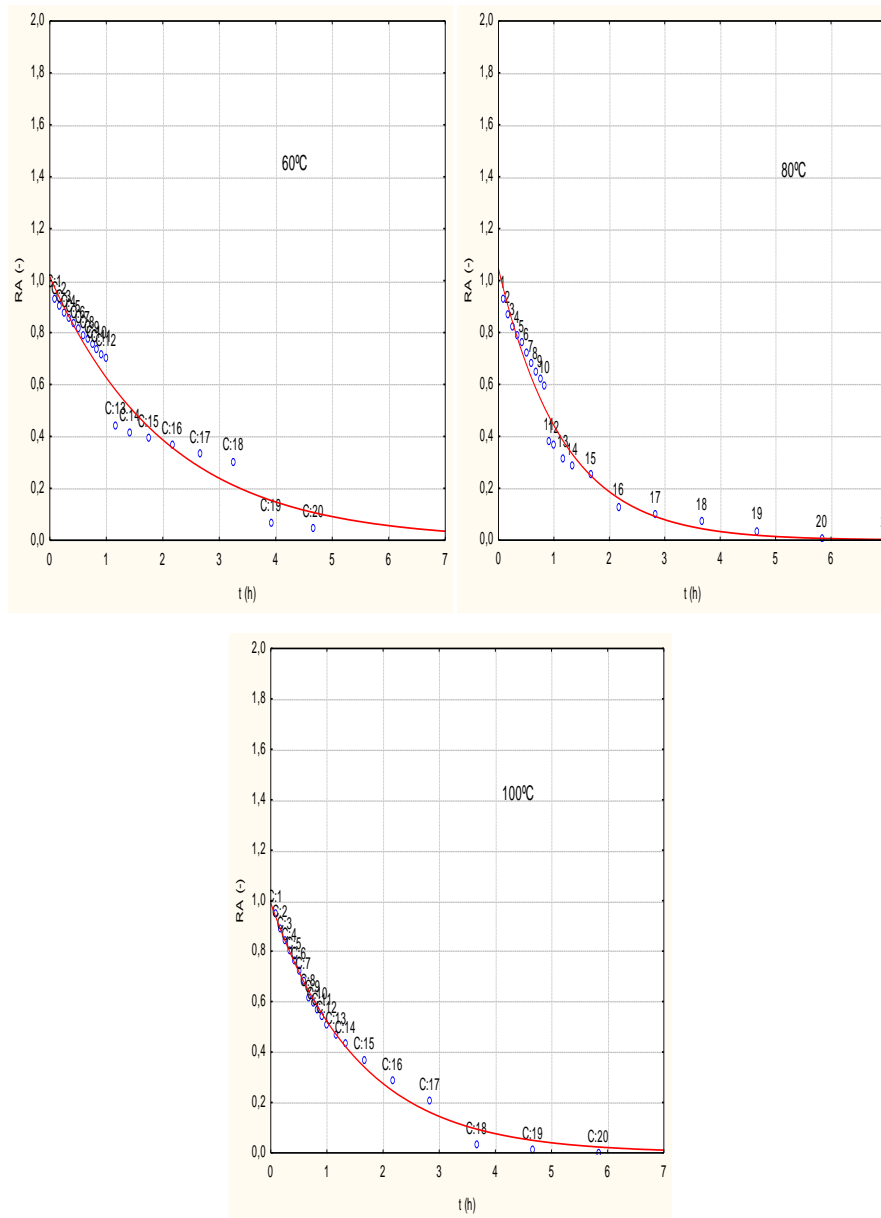


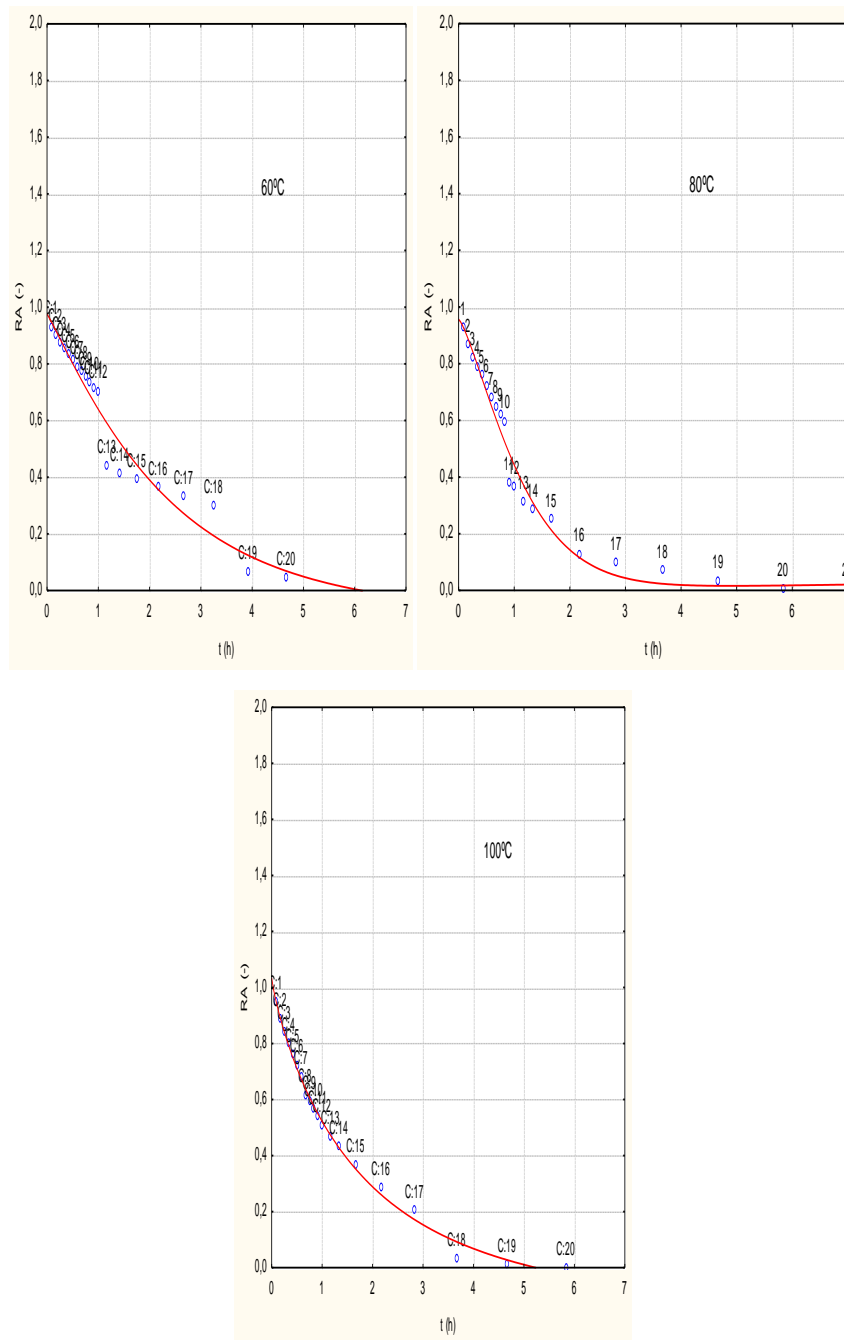
Figura 9: Gráficos do Modelo de Midilli et al. a 60°C, 80°C e 100°C

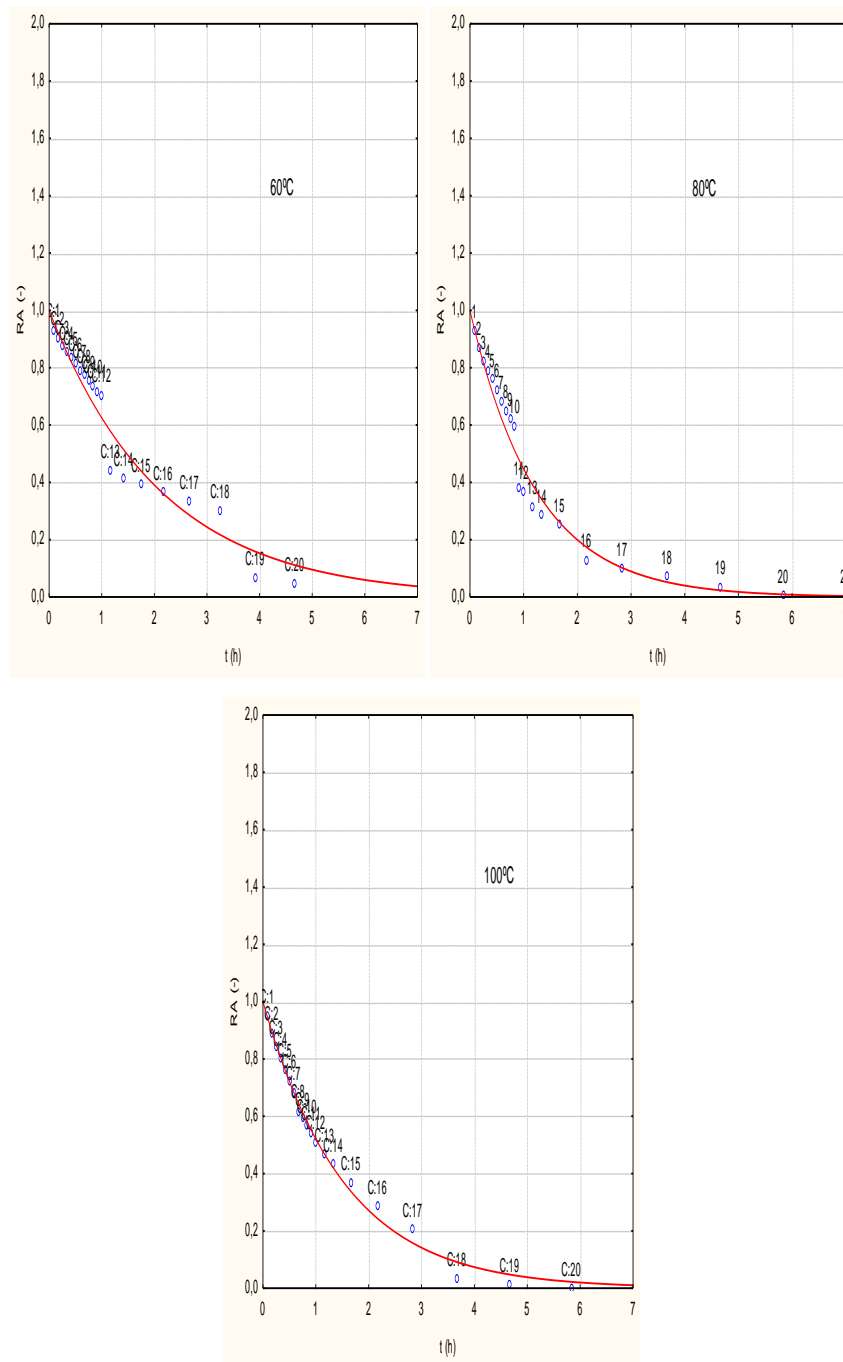
Figura 10: Gráficos do Modelo de Newton a 60°C, 80°C e 100°C

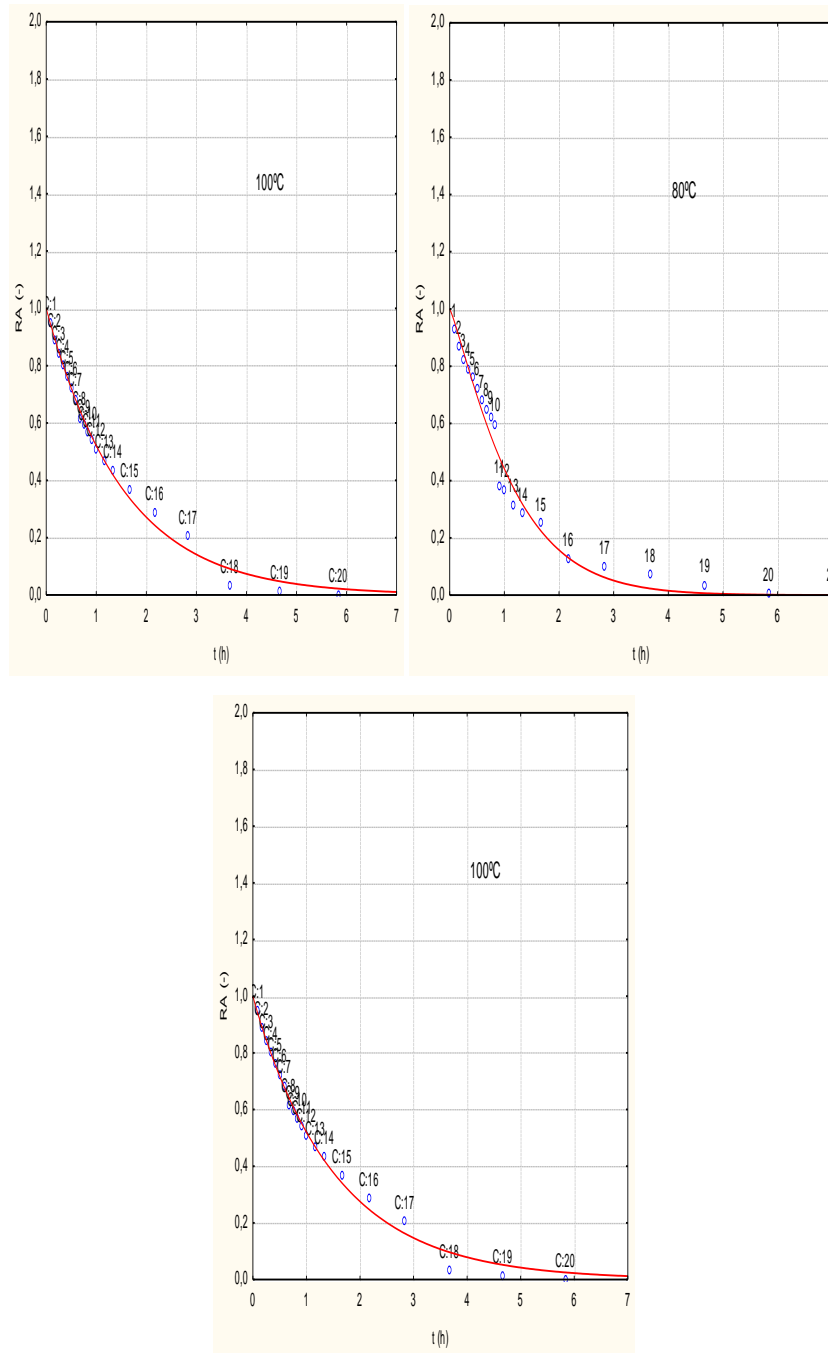
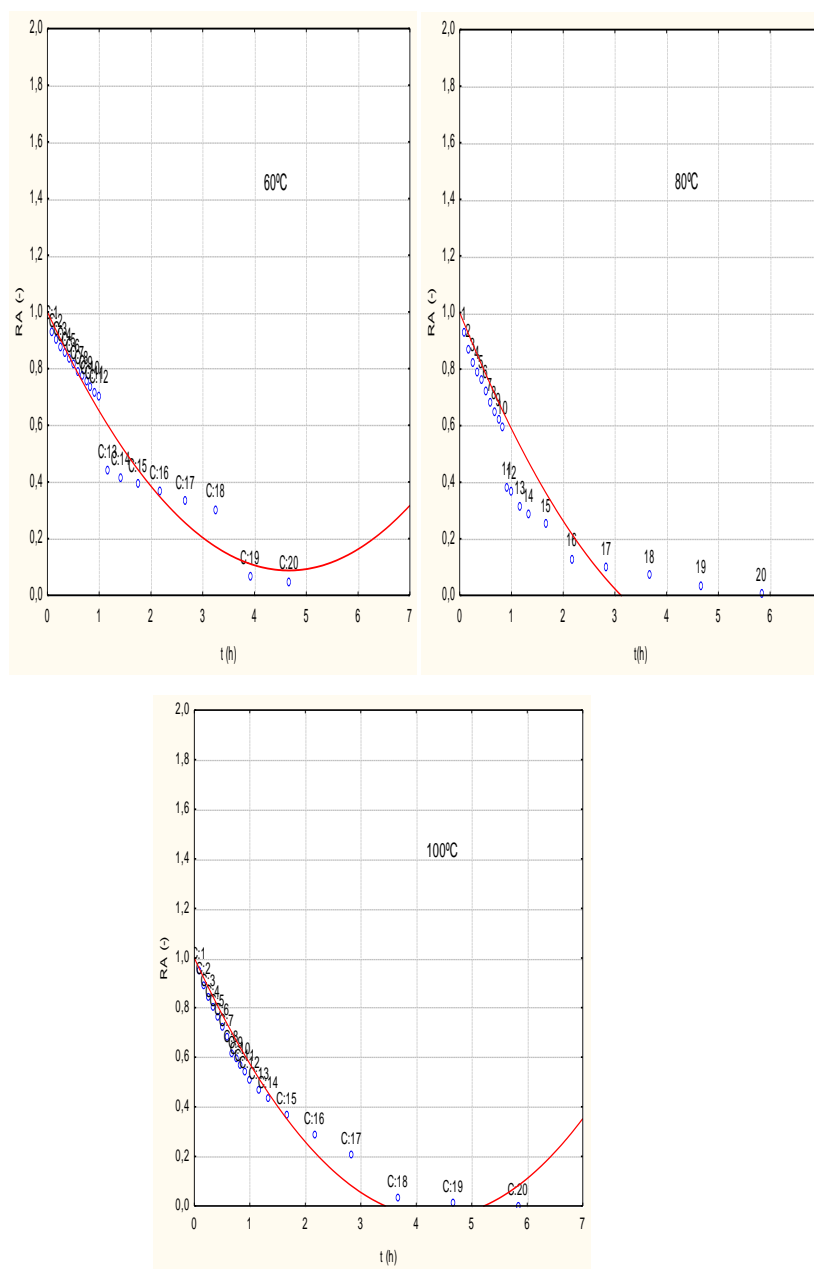
Figura 11: Gráficos do Modelo de Page a 60°C, 80°C e 100°C

Figura 12: Gráficos do Modelo de Wang e Singh a 60°C, 80°C e 100°C



Verifica-se a influência da temperatura no processo de secagem, a aplicação de temperatura mais elevada, 100°C, implica na redução significativa do tempo necessário para que o peso da amostra se mantenha constante, ou seja, para um mesmo tempo de processo, quanto maior for a temperatura do ar, maior é a taxa de secagem.

Observa-se que nas temperaturas de 60°C e 80°C, para um período inicial de secagem o modelo não foi capaz de prever os dados experimentais muito bem. Isto é possivelmente devido ao fato de que durante um período inicial de secagem, o camarão ainda estava com a cabeça e casca e esses componentes poderiam resistir a evaporação da água na superfície do camarão, fato também evidenciado por NIAMNUY et al. (2008).

Nota-se que a razão de água atinge seu ponto de umidade de equilíbrio para as temperaturas de 60°C, 80°C e 100°C nos tempos de secagem de 8h30min, 5h30min e 4h30min, respectivamente. Estes valores encontrados ficaram bem abaixo do tempo de secagem verificados por Castro e Pagani (2004) que obtiveram para a secagem de cefalotórax inteiro de camarão valores de dezenove, dezessete e quatorze horas respectivamente para 50°C, 60°C e 70°C, indicando que a diminuição do tamanho da partícula favorece o tempo de secagem, em virtude da maior área de contato sólido/ar.

A condição de secagem a 60°C associada ao maior tempo de secagem deve ser avaliada quanto à qualidade do produto seco.

5 CONCLUSÃO

- A avaliação das características físico-químicas do camarão *in natura* (*Litopenaeus vannamei*) oriundo de carcinicultura se apresentou semelhante aos de outras espécies.
- O processo de salga realizado no Laboratório apresentou um produto final com teor de umidade aceitável conforme Decreto n° 39.093 de 30/04/56, o que não aconteceu no camarão pré-cozido/salgado na Fazenda.
- O modelo proposto a partir da Lei de Fick apresentou ajuste melhor ao processo de salga realizado no camarão sem casca e com agitação nas condições propostas.
- Os valores do coeficiente de difusão aumentaram de acordo com a temperatura e concentração da salmoura.
- Os dados experimentais da cinética de secagem do camarão salgado nas temperaturas de 60°C, 80°C e 100°C se ajustaram satisfatoriamente aos modelos propostos, sendo que o modelo de Midilli et al. apresentou o melhor ajuste para as temperaturas de 80°C e 100°C.
- A temperatura de 100°C foi a que proporcionou o menor tempo de secagem.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO - ABCC. Estatística do setor pesqueiro e da CARCINICULTURA brasileira. Disponível em: <http://www.abccam.com.br/abcc/estatisticas>. Acesso em: 05 dez 2011.

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.349-53, 1999.

AFZAL, T. M.; ABEL, T. Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying. **Computational Electronic and Agricultural**. v. 26, p. 137-145, 2000.

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

ANDRES, A.; PRADO, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Structural changes in porous foods during vacuum impregnation process. In.: SYMPOSIUM ON THE PROPERTIES OF WATER. Proceedings of the poster section. **International. Practium II**. México: UDLA-Puebla, p. 1821, 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. – AOAC. **Official Methods of Analysis**, 16 ed., Washington, 1997.

BAINI, R.; LANGRISH, T.A.G. Choosing an appropriate drying model for intermittent and continuous drying of bananas. Department of Chemical Engineering, The University of Sydney, Australia, NSW 2006.

BARNES, P. C; OLIVE, R. J. W. **Os Invertebrados: uma nova síntese**. 2.ed.São Paulo: Atheneu, 1995.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. p. 317.

BASTOS, J.R. Influência da secagem sobre algumas propriedades físico-químicas do músculo de cação branco (*Carcharynus porosus*). **Arq. Ciênc. Mar**, v.17, n.2, p.77-78, 1977.

BONA, E.; BORSATO, D.; SILVA, R. S. S. F. da; SILVA, L. H. M. Difusão multicomponente durante a salga mista de queijo prato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n.2, p.394-400, abr/jun, 2005.

BONA, E.; BORSATO, D.; SILVA, R. S. S. F. da; SILVA, L. H. M.; FIDELIS, D. A. de S. Multicomponent diffusion modeling and simulation in prato cheese salting using brine at rest: The finite element method approach. **Journal of Food Engineering**. v. 79, p. 771–778, 2007.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto N° 39.093, de 30 de abril de 1956. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 1956. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/legislacao/sislegis>. Acesso em: 20 agosto 2011.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **O potencial brasileiro para a aquicultura**. Disponível em: <http://www.mpa.gov.br/#aquicultura/informacoes/potencial-brasileiro>. Acesso em: 28 junho 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa n° 25, de 02 de junho de 2011. Oficializa os Métodos Analíticos Físico-Químicos, para Controle de Produtos Cárneos e seus Ingredientes - Sal e Salmoura. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2011. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/legislacao/sislegis>. Acesso em: 20 de agosto de 2011.

BRASIL. Portaria n. 52, de 29 de dezembro de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade de peixe salgado e peixe salgado seco. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 4 jan. 2001. Seção 1, p. 9.

BROOKER, D. B.; BAKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oil seeds**. New York: AVI Book, 1992. p.450.

CASTRO, A. A.; PAGANI, G. D. Secagem e composição química da cabeça de camarão (*Litopenaeus vannamei*) a diferentes temperaturas. **Revista brasileira de produtos agroindustriais**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 123-129, 2004.

CREMASCO, M. A. **Fundamentos de transferência de massa**. 2^a ed.rev. Campinas: UNICAMP, 2002. p. 729.

CIRILO, A. T. de O.; SANTOS, M. C.; NUNES, M. L. Caracterização física e nutricional do camarão “saborica” (*Macrobrachium jelskii*, Miers, 1877) e de produtos derivados. **Scientia plena**, v.7, n.7, 2011.

CODEX ALIMENTARIUS. **Codex Standard for Salted Fish and Dried Salted Fish of the Gadidae Family of Fishes. Codex Stan 167**. 1989 . p. 1-10. Disponível em: http://www.codexalimentarius.net/web/standard_list. Acesso em: 20 de agosto de 2011.

CONTRERAS-GUZMÁN, E. S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: FUNEP. 1994.

CHENLO, F.; MOREIRA, G.; PEREIRA, G.; AMPUDIA, A. Viscosities of aqueous solutions of sucrose and sodium chloride of interest in osmotic dehydration processes. **Journal of Engineering**, v. 54, n. 4, p. 347-352, 2002.

CHIRALT, A.; FITO, P.; BARAT, J. M.; ANDRES, A.; GONZALES-MARTINEZ, C.; ESCRICHE, I.; CAMACHO, M. M. Use of vacuum impregnation in food salting process. **Journal of Food Engineering**, v.40, p.141-151, 2001.

CHIROL, K. A. **Rendimento, composição química e perfil lipídico do camarão *Litopenaeus Vannemeide* cultivo orgânico e convencional.** Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFPB, 2007.

COULSON, J. M.; RICHARDSON, J. F. **Tecnologia Química**. 2. ed. Fundação Calouste Gulbenkian, p.657-670,1968.

CUSSLER, E. L. **Diffusion: Mass transfer in fluid systems**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University , 1997.

CUSSLER, E. L. **Multicomponent Diffusion**. Amsterdam: Elsevier, 1976.

DEL VALLE, F.R.; NICKERSON, J.T.R. Studies on salting and drying fish. II Dynamic aspects of the salting of fish. **Journal of Food Science**. v. 32, p. 218-224, 1967.

DOYMAZ, I.; TUGRUL, N.; PALA, M. Drying characteristics of dill andparsley leaves. **Journal of Food Engineering**. v. 77, n.3, p.559-565, 2006.

DUARTE, M. **Carcinicultura: criação de camarões**. Disponível em: <http://www.infoescola.com/zootecnia/carcinicultura-criacao-de-camaroes>. Acesso em 10 de maio de 2011.

EMBRAPA - Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2011. <http://www.cpamn.embrapa.br/pesquisa/Aquicultura/index.htm>.

EMBRAPA – Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2011.
<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/doc/doc77/03nocoescarne.html>.
Acesso em: 21 de dezembro de 2011.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2001.

FERREIRA, M. W. *et al.* Pescados processados: maior vida-de-prateleira e maior valor agregado. **Boletim de Extensão Rural**. Universidade Federal de Lavras, MG, 2002.

FURTADO, G. F.; PORTO, A. G.; ZELA, S. P. Avaliação físico-química do pequi submetido a secagem em camada delgada. *In*: IV Congresso Interno de Iniciação Científica PIBIC/CNPq/PROBIC - UNEMAT, 2008, Cáceres - MT. **Anais do IV Congresso Interno de Iniciação Científica PIBIC/CNPq/PROBIC - UNEMAT**, 2008.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de Alimentos**. Princípios e aplicações. São Paulo: Nobel, 2007.

GIOIELLI, L. A.; PITOMBO, R.N.M. Conservação de alimentos pelo controle da umidade. *In*: SAMPAIO, Geni Rodrigues. **Ocorrência de óxidos de colesterol e análise do perfil lipídico em camarão salgado-seco**. Dissertação (Mestrado). São Paulo, 2004.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. dos. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciênc. Technol. Aliment.**, Campinas, v. 27, jan-mar, 2007.

GONÇALVES, A. A.; GOMES, P. A. Desenvolvimento de um produto de valor agregado: camarão empanado corte butterfly. **Rev. Bras. Eng. Pesca**, v. 3, n.1, p. 1-128, jan. 2008.

GRAIVER, N.; PINOTT, A.; CALIFANO, A.; ZARITZKY, N. Mathematical modeling of the uptake of curing salts in pork meat. **Journal of Food Engineering** .v. 95, p. 533-540. 2009.

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

GERLA, P. E.; RUBIOLO, A. C. A model for determination of multicomponent diffusion coefficients in foods. **Journal of Food Engineering**. v.56, p. 401–410, 2002.

GEROMEL, E. J; FORSTER, R. J. **Princípios fundamentais em Tecnologia de Pescados**. São Paulo: Faculdade de Tecnologia de Alimentos - Governo São Paulo, 1982.

GUERRELHAS, A. C. B. Seed production of *Penaeus vannamei* in Brazil. In.: SIMPÓSIO CENTROAMERICANO DE ACUACULTURA, 4. Teguci Galpa, Honduras p. 152-153. 1997.

GURJÃO, K. C. DE O.; SILVA; A. S.; ALMEIDA, F. DE A. C.; BRUNO, R. DE L. A.; PEREIRA, W. E. Cinética de secagem da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma (“foam-matdrying”). In XX Congresso Brasileiro de Fruticultura. **54th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture**. Centro de Convenções, Vitória-ES, 2008.

KRAEMER, F.B. **Análise microbiológica e físico-química de amostras de camarão salgado-seco comercializados no Estado do Rio de Janeiro**.2000. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2000. p. 79.

KEEY, R. B. **Drying: Principles and practice**. New York: Pergamon, 1972. p.358.

KIRSCHNIK, P. G. **Avaliação do frescor e vida útil do camarão de água doce, *Macrobrachium rosenbergii*, armazenado em gelo.** Programa de Pós-Graduação do Centro de Aquicultura da Unesp, 2003.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. Transactions of the ASAE. v.17, p. 1167-1172, 1974.

HOLANDA, H. D. **Hidrólise enzimática do resíduo do camarão sete-barbas (*xiphopenaeus kroyeri*) e caracterização dos subprodutos.** 2004. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2004.

LESSI, E. **Tecnologia do pescado salgado.** In: MORAIS, Cleso. SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA DE SALGA E DEFUMAÇÃO DE PESCADO. Campinas: ITAL, 1995. p.14-17.

LOURENÇO, L.F.H.; FERNANDES, G.M.L.; CINTRA, I.H.A. Características físicas, químicas e microbiológicas da pescada-branca *Plagioscion quamosissimus* (Heckel) salgada e seca em secador solar. **Boletim Técnico Científico CEPNOR/IBAMA.** Belém. v.1, n.1, p. 135-144, 2001.

MACEDO, C. da S. **Extrato de camarão (*litopenaeus vannamei*) obtido a partir do cefalotórax com CO₂ pressurizado.** 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Belém. 2008.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. de C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.11, n.3, p.301–306, 2007.

MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, P. J. A.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 86, n. 1-2, p. 199-205, 2002.

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

MOUCHEREK FILHO, V. E; VAZ , M. S. O; MARANHÃO, S. C. Avaliação organoléptica e análise bromatológica, para fins nutricionais, do camarão, caranguejo e sururu (*in natura*) consumidos na ilha de São Luís - MA. **Cad. Pesq., São Luís**, v. 14, n. J, p. 24-34, jan./jun. 2003.

NIAMNUY, C.; DEVAHASTIN, S; SOPONRONNARIT, S.; VIJAYARAGHAVAN G.S. Modeling coupled transport phenomena and mechanical deformation of shrimp during drying in a jet spouted bed dryer. **Chemical Engineering Science**. v. 63, p.5503-5512, 2008.

OCHOA-MARTINEZ, C.I; RAMASWAMY, H.S.; AYALA-APONTE, A.A. A Comparison of some mathematical models used for prediction of mass transfer kinetics in osmotic dehydration of fruits. **Drying Technology**, n.25, p.1613-1620, 2007.

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, Davis, v.52, n.4, p.349-357, 2002.

PARDI, M. C. *et al.* **Ciência e Higiene da Carne: Tecnologia de sua obtenção e transformação**. 1 ed. Niterói. EDFF, 1995.

PARK, K. J. *et al.* Seleção de processos e equipamento de secagem. Palestra, 01 de agosto de 2006. Unicamp. SP.

PARK, K. J.; VOHNIKOZA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispata* L.). **Journal of Food Engineering**, v.51, n.3, p.193-199, 2002.

PEDROSA, L. de F. C.; COZZOLINO, S. M. F. Composição centesimal e de minerais de mariscos crus e cozidos da cidade de Natal/RN. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, p.154-157, 2001.

PONTES, M. A. N.; GUIMARÃES, M. C. de F.; CUNHA, E. J. de S. Características físicas e químicas do camarão canela salgado e frito. In.: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DE QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 6, Manaus, 1988. **Anais....** Manaus: CRQ, 1988. p.174-179.

PINHEIRO, C. R. Avaliação física, química e sensorial do pescado curado. In: MORAIS, Cleso. SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA DE SALGA E DEFUMAÇÃO DE PESCADO. Campinas: ITAL, 1995. p.133.

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 & Technology**, n. 13, p. 48–59, 2002.

RIBEIRO, Carmelita de Fátima Amaral. **Processamento de Piraíba (*Brachyplatystoma Filamentosum*): desidratação osmótica, defumação e secagem**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas. 2009.

ROCHA, I. de P. **Carcinicultura Brasileira: processos tecnológicos, impactos sócio-econômicos, sustentabilidade ambiental, entraves e oportunidades**. Disponível em: <http://www.abccam.com.br/abcc/publicacoes>. Acesso em: 17 de maio de 2011.

RODRIGUES, A. E. **Desidratação osmótica e secagem de Maças: I. Comportamento do tecido em Soluções osmóticas. II - Modelagem matemática da difusão**, 2003. Dissertação (Mestrado). São José do Rio Preto, 2003.

ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSCH, T. G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.6, n.1, p.69-76, 2003.

ROSA, F. M. L.; MONTEIRO, M. MANZOLI, J. E. **Modelo matemático e simulação da migração/difusão de componentes de embalagens plásticas para alimentos ou medicamentos submetidas ou não à irradiação**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, 2006.

ROSSI, S.J.; ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural**. São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, p.295, 1980.

SAMPAIO, C. **Histórico da Carcinicultura Marinha: origem, fases e principais espécies cultivadas**. Disponível em: http://www.sbpcnet.org.br/livro/57ra/programas/CONF_SIMP/textos/celiasampai_o.htm. Acesso em: 10 de maio de 2011.

SAMPAIO, G. R. **Ocorrência de óxidos de colesterol e análise do perfil lipídico em camarão salgado-seco**. 2004. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana Aplicada). São Paulo, 2004.

SANTOS, Érica Barbosa. **Avaliação bacteriológica e físico-química do camarão cru, descascado e resfriado**. 2011. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária. Área de Concentração: Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal. Niteroi, 2011.

SOURAKI, B. A.; GHAFARI, Y. B. Mathematical modeling of moisture and solute diffusion in the cylindrical green bean during osmotic dehydration in salt solution . *Food and Bioproducts Processing*, n. 90, p. 64-71, 2012.

SILVA, D. S. B.; SILVA, I. M. Avaliação econômica da produção de camarão marinho no estado do Pará: o caso da fazenda Nossa Senhora de Fátima. Apresentação oral. **Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, Londrina, 2007.

SILVA, J. A. **Tópicos da Tecnologia de Alimentos**. Rio de Janeiro: ed. Varela. p.232,2000.

SOUZA FILHO, J.; COSTA, S. W. da; TUTIDA, L. M.; FRIGO, T. B.; HERZOG, D. **Custo de produção do camarão marinho**. Florianópolis: Instituto Cepa/SC/Epagri, 2003. 24 p.(Cadernos de Indicadores Agrícolas, 1).

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introducción a la Ingeniería de los Alimentos**. Zaragoza (Espanha): Acribia, 1993.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. NEPA-UNICAMP. Versão II. 2. ed. Campinas, NEPA, 2006. 113p.

TAVARES, E. C. B.; SANTOS, M. A. S. **Análise competitiva da cadeia produtiva da carcinicultura no Estado do Pará: o caso do *Litopenaeus vannamei*** (BOONE, 1931).In.: CONGRESSO DA SOBER “Questões Agrárias, Educação no Campo e Desenvolvimento”, 44, Fortaleza, 23 a 27 de Julho de 2006.

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

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 26, n.3, 2006.

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M.; FOSTER, G. H. Mathematical simulation of corn drying: A new model. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.11, n.4, p.582-586, 1968.

VALENTI, W. C. **Carcinicultura de água doce**: tecnologia para a produção de camarão. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1998.p. 386.

VOLPATO, Giandra. **Otimização do processamento de peito de frango cozido**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Florianópolis, 2005.

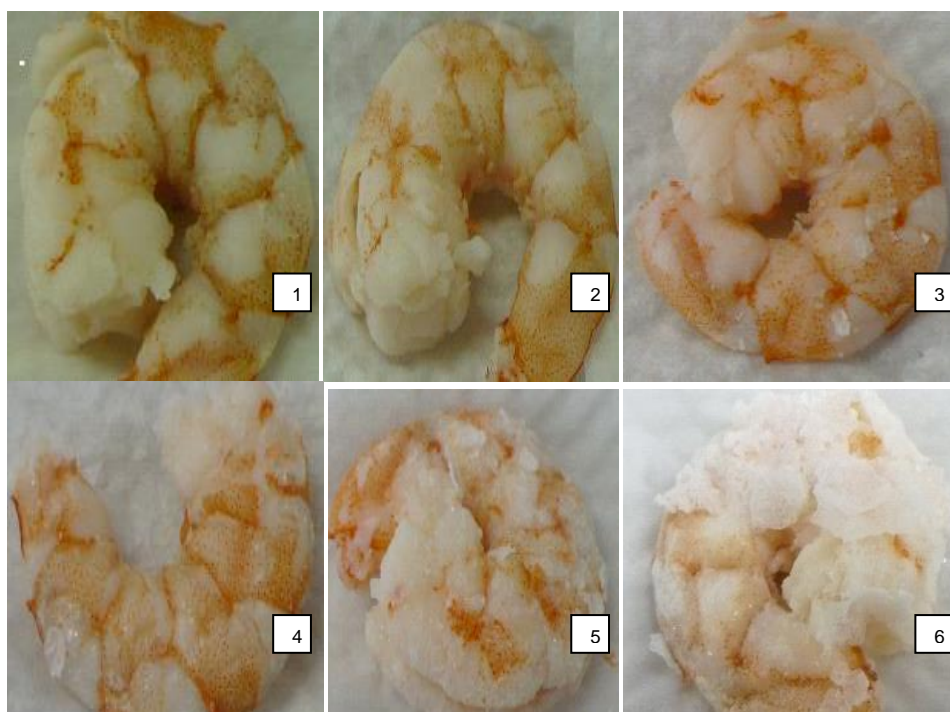
WANG, C. Y.; SINGH, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v.11, ASAE Paper n.78-3001, 1978.

WELTY, J.R.; WICKS, C.; WILSON, R. **Fundamentals of Momentum, Heat and Mass transfer**, 3 ed. Singapore: John Willy, 1983.

ANEXO 1- TABELA DOS VALORES DE γ .

| γ_1 | γ_2 | γ_3 | γ_4 | γ_5 | γ_6 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2,4048 | 5,5201 | 8,6537 | 11,7915 | 14,9309 | 18,0711 |

Fonte: CREMASCO (2002)

ANEXO 2 - FOTOGRAFIA DO CAMARÃO SALGADO A 36% (P/P) A 80°C NOS TEMPOS DE 10 (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4), 60 (5) E 80 (6) (EM MINUTOS).

ANEXO 3 - FOTOGRAFIA DO CAMARÃO SALGADO A 38% (P/P) A 100°C NOS TEMPOS DE 10 (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4), 60 (5) E 80 (6) (EM MINUTOS).

