



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

**BRENO DINIZ RODRIGUES**

**SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO E EXTRAÇÃO DE  
ASTAXANTINA A PARTIR DE RESÍDUOS DE  
CAMARÃO ROSA: AVALIAÇÃO DOS  
PARÂMETROS TÉRMICOS E FLUIDODINÂMICOS**

**BELÉM**

**2009**



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

**BRENO DINIZ RODRIGUES**

**SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO E EXTRAÇÃO DE  
ASTAXANTINA A PARTIR DE RESÍDUOS DE  
CAMARÃO ROSA: AVALIAÇÃO DOS  
PARÂMETROS TÉRMICOS E FLUIDODINÂMICOS**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**ORIENTADOR:**

Prof. Dr. Antônio M. da Cruz Rodrigues

**BELÉM**

**2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Biblioteca do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química**

---

Rodrigues, Breno Diniz

Secagem em leito fluidizado e extração de astaxantina a partir de resíduos de camarão rosa: avaliação dos parâmetros térmicos e fluidodinâmicos / Breno Diniz Rodrigues; orientador, Antonio Manoel da Cruz Rodrigues.\_ Belém - 2010

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2009

1. Alimentos- secagem 2. Carotenóides 3. Camarão – resíduos 4. Secagem I. Título

CDD 22.ed. 664.944

---



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

**BRENO DINIZ RODRIGUES**

**SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO E EXTRAÇÃO DE ASTAXANTINA  
A PARTIR DE RESÍDUOS DE CAMARÃO ROSA: AVALIAÇÃO DOS  
PARÂMETROS TÉRMICOS E FLUIDODINÂMICOS**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues**  
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Orientador)

---

**Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena**  
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Membro)

---

**Prof. Raul Nunes Carvalho Junior**  
(FEMM/Marabá/UFPA – Membro)

---

**Prof. Dr. Denílson Luz da Silva**  
(PPEQ/ITEC/UFPA – Membro)

Dedico este trabalho a meus pais Ruy  
Guilherme Lima Rodrigues e Maria Selma  
Diniz Rodrigues, como forma de gratidão  
por estarem sempre ao meu lado em  
meus desafios.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Ruy Guilherme Lima Rodrigues e Maria Selma Diniz Rodrigues, pela educação dada, pelo estímulo em vencer cada obstáculo e pela dedicação na minha formação profissional.

Aos meus irmãos Bruno Diniz Rodrigues e Brenda Diniz Rodrigues, que estiveram sempre ao meu lado nas escolhas que fiz.

À Glenda Taise Valois Fantin, pelo amor e apoio durante todas as horas na realização deste trabalho, e aos seus pais Severino Fantin e Mariete Valois Fantin, por sempre acreditarem no sucesso da realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues, pelos ensinamentos, orientação e conhecimentos repassados para a realização deste trabalho, além do grande apoio dado diante das dificuldades.

A Prof<sup>a</sup> Dra Luiza Helena Meller da Silva, pelos valiosos auxílios repassados e pelo apoio durante os experimentos e realização deste trabalho.

Ao Sr. Mário Carneiro, pelo auxílio durante a realização das análises físico-químicas deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Eder Augusto Furtado Araujo e a Pesquisadora Aderjane Ferreira Lacerda, por suas sugestões repassadas para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, pelo suporte fornecido para a realização deste trabalho.

A empresa AMASA S/A, pelo fornecimento da matéria-prima necessária para a execução dos trabalhos.

Ao Grupo Agropalma, através do Eng<sup>o</sup> Homero Sousa e do Sr. João Roberto Pinheiro, pelo fornecimento da matéria-prima oléica utilizada na extração do carotenóide de interesse deste trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho ou durante o caminho árduo durante o curso de pós-graduação.

## RESUMO

A quantificação de pigmentos carotenóides e a caracterização do perfil de ácidos graxos constituem uma possível alternativa, de grande agregação de valor, para o aproveitamento do cefalotórax do camarão-rosa *Farfantepenaeus brasiliensis*. Para a secagem destes materiais orgânicos, o leito de jorro se apresenta como uma boa alternativa de aplicação devido ao seu baixo custo de operação e elevada eficiência de retirada de umidade do material a ser seco. A matéria-prima (cefalotórax) foi macerada em processador de alimentos e estocada sob refrigeração para posteriormente ser submetido ao processo de secagem. Durante as corridas experimentais de secagem, a suspensão foi alimentada através de uma bomba peristáltica depois de ser atingida a estabilidade térmica do processo. Foram utilizadas as temperaturas de 70, 80 e 90°C, em três alturas de leito estático distintas, onde apenas as alturas de 15 e 22 cm, apresentaram comportamento satisfatório ao experimento. O material seco foi submetido à caracterização físico-química básica, apresentando elevado teor de cinzas (21,1%±0,5%) e proteína bruta (53,9%±1,2%). Na determinação do perfil de ácidos graxos foram detectadas 19 variedades de ácidos graxos, sendo o mais freqüente o ácido palmítico-16:0 (12,6%±2,4%) e entre os ácidos da série ômega três o mais abundante foi o eicosapentaenóico-20:5n-3 (6,6%±0,9%). Na realização da extração do carotenóide em oleína de palma refinada, foram utilizados dois modelos cinéticos, de extração e de reação, que apresentaram ótimos resultados na determinação dos parâmetros experimentais do processo. Este tipo de experimento mostrou uma boa eficiência de extração do carotenóide Astaxantina em oleína de palma apresentando valores médios de 21,8%±2,7%, destacando a influência dos parâmetros de secagem em leito de jorro (temperatura e altura do leito estático).

Palavras-chave: Leito de jorro, camarão-rosa, Astaxantina, oleína de palma refinada.

## ABSTRACT

In order to add value to the pink shrimp (*Farfantepenaeus brasiliensis*) processing waste, the quantification of carotenoids and evaluating the profile of fatty acids were present as substantial factors to this objective is achieved. According to some studies, the jet spouted bed appears as a promising alternative for drying of organic materials, such as suspension from the maceration of waste from the processing of fish, because of easy operation and low maintenance cost. After being collected in the form of frozen blocks, the raw material was thawed and chopped in food processor for ten minutes later to be submitted by the drying process by using three different temperatures (70, 80 and 90°C), also varying the static height of bed during the operation of remove the moisture (15 and 22cm, was tested also the height of 20cm but not showed good stability during operation). To characterize the product were basic physical-chemical analysis are performing, and show high levels of crude protein and ash,  $53.9\% \pm 1.2\%$  and  $21.1\% \pm 0.5\%$  respectively to the dry material. From the total lipids was performed to verify the composition of fatty acids of the dry material and the suspension, where palmitic acid (C16:0) was the most abundant and among the series omega three acids was the most abundant was the eicosapentaenoic (20:5n-3), from nineteen determinations found an area significantly greater than 0.3%. In carrying out the extraction of carotenoid in refined palm olein, two kinetic models were used, the extraction and reaction, which showed excellent results in determining the parameters of the experimental process. This type of experiment showed a good efficiency of extraction of the carotenoid Astaxanthin from palm olein in showing average values of  $21.8\mu\text{g/g} \pm 2.7 \mu\text{g/g}$  of dry material, highlighting the influence of parameters on the drying bed of outflow (static height of the bed and temperature).

Keywords: Jet spouted bed, pink-shrimp, Astaxanthin, refined palm olein.

## LISTA DE FIGURAS

1	Camarão-rosa <i>in natura</i> apropriado para o processamento	19
2	Distribuição da pesca extrativa marinha de camarão-rosa por região do Brasil – 2006	20
3	Aspectos da morfologia externa do camarão-rosa	21
4	Estrutura química do $\beta,\beta$ -Caroteno	24
5	Via de bioconversão dos carotenóides no camarão, e via de conversão de retinóis	25
6	Estrutura da <i>r,r</i> -Astaxantina	26
7	Distribuição em percentual da produção mundial de óleo e gorduras	28
8	(a) Palmeira ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.); (b) Corte transversal do fruto	29
9	Fluxograma do processo de produção de óleo bruto de palma	31
10	Fluxograma dos processos de refino físico e refino químico do óleo de palma	32
11	Produtos obtidos pelo fracionamento de vários estágios do óleo de palma	34
12	Diagrama esquemático do leito de jorro convencional	39
13	Curva característica de um leito de jorro	46
14	Representação do sistema experimental	55
15	Fluxograma do desenvolvimento experimental do trabalho	57
16	Curva de calibração da bomba peristáltica utilizada na injeção da suspensão no leito	60
17	Foto do aparato experimental utilizado no processo de extração	61
18	Gráfico da vazão de ar pela queda de pressão para o leito com $H_0=0,15\text{m}$	69
19	Gráfico da vazão de ar pela queda de pressão para o leito com $H_0=0,20\text{m}$	69
20	Gráfico da vazão de ar pela queda de pressão para o leito com $H_0=0,22\text{m}$	70

<b>21</b>	Gráfico da vazão de ar versus queda de pressão para o leito vazio	<b>70</b>
<b>22</b>	Amostras do material desidratado (Amostras A, B, C, D, E e F)	<b>76</b>
<b>23</b>	Curva resultante da varredura para determinação do $\lambda_{\text{Max}}$ da amostra padrão de Astaxantina em cubeta de quartzo de $1 \times 10^{-2}$ m de comprimento	<b>77</b>
<b>24</b>	Curva de calibração para o padrão de Astaxantina solubilizado em oleína de palma	<b>78</b>
<b>25</b>	Oleína antes da Centrifugação (Fase 1)	<b>79</b>
<b>26</b>	Oleína após a Centrifugação (Fase 2)	<b>79</b>
<b>27</b>	Amostra em branco (Oleína de Palma Refinada) e amostra com carotenóides	<b>79</b>
<b>28</b>	Ajuste do modelo cinético de transferência de massa para a Amostra A e Amostra B	<b>81</b>
<b>29</b>	Ajuste do modelo cinético de transferência de massa para a Amostra C e Amostra D	<b>82</b>
<b>30</b>	Ajuste do modelo cinético de transferência de massa para a Amostra E e Amostra F	<b>83</b>
<b>31</b>	Ajuste do modelo cinético de reação para a Amostra A	<b>85</b>
<b>32</b>	Ajuste do modelo cinético de reação para a Amostra B e Amostra C	<b>86</b>
<b>33</b>	Ajuste do modelo cinético de reação para a Amostra D e Amostra E	<b>87</b>
<b>34</b>	Ajuste do modelo cinético de reação para a Amostra F	<b>88</b>

## LISTA DE TABELAS

1	Nomes triviais e sistemáticos de determinados carotenóides	25
2	Características físico-químicas do óleo de palma	29
3	Composição de ácidos graxos do óleo de palma	30
4	Características físico-químicas da Oleína de palma	35
5	Composição (%) em Ácidos Graxos da Oleína	36
6	Secadores de materiais pastosos com as respectivas características físicas do produto final	38
7	Características dos leitos utilizados na secagem de pasta	42
8	Correlações para queda de pressão máxima	48
9	Correlações para queda de pressão no jorro estável	49
10	Correlações para a velocidade de jorro mínimo	50
11	Codificação dos ensaios de secagem da pasta	60
12	Parâmetros globais do leite de jorro	68
13	Comparação dos valores experimentais da vazão de mínimo jorro com os valores estimados pelas Equações 14, 15, 16, 17 e 20 (Tabela 10, Página 49)	71
14	Comparação dos valores experimentais da $\Delta P_{max}$ com os valores estimados pelas Equações 4, 6, 7 e 8 (Tabela 8, Página 47)	72
15	Comparação dos valores experimentais da $\Delta P_{je}$ com os valores estimados pelas Equações 10, 11, 12 e 13 (Tabela 9, Página 48)	73
16	Análise das características físico-químicas da suspensão utilizada na secagem e do produto seco	74
17	Dados da preparação da curva de calibração do padrão de Astaxantina	78
18	Dados experimentais da extração de carotenóides.	80
19	Dados experimentais de $Y_e$ e os parâmetros $Y_e$ e $k_L \cdot a$ em várias temperaturas calculados através do modelo cinético de transferência de massa	84

<b>20</b>	Dados experimentais para $Y_e$ e os parâmetros $Y_e$ e $k_A$ em várias temperaturas calculados através do modelo cinético de reação	<b>88</b>
<b>21</b>	Perfil de ácidos graxos (%) da suspensão " <i>in natura</i> " e das amostras secas obtidas do cefalotórax do camarão rosa	<b>90</b>
<b>22</b>	Somatória dos percentuais dos ácidos graxos	<b>91</b>
<b>23</b>	Percentuais de redução dos ácidos graxos	<b>92</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

Abs. – Absorbância , [--]

$A_S$  – Área superficial do processo de transferência de massa , [ $L^2$ ]

ASX – Astaxantina

$C_A$  – Concentração de Astaxantina no óleo de palma , [ $ML^{-3}$ ]

$C_{Ae}$  – Concentração de Astaxantina no equilíbrio , [ $ML^{-3}$ ]

$d_b$  – Diâmetro superior do cone , [L]

CBE – Cocoa butter equivalent

$d_c$  – Diâmetro da coluna , [L]

$d_i$  – Diâmetro de entrada do jorro , [L]

$d_p$  – Diâmetro médio da partícula , [L]

$dN_A/dt$  – Razão de transferência de massa , [ $Mt^{-1}$ ]

D – Fator de diluição da amostra seca em óleo de palma refinado , [ $ML^{-3}$ ]

E – Coeficiente de extinção para Astaxantina em óleo de palma , [--]

f – Fração evaporada , [--]

g – Aceleração da gravidade , [ $Lt^{-2}$ ]

$H_o$  – Altura do leito estático , [L]

I. I. – Índice de lodo

$k_A$  – Constante de reação , [ $MM^{-1}t^{-1}$ ]

$k_c$  – Coeficiente de utilização de energia , [--]

$k_e = (\text{Calor de evaporação de umidade})/(\text{Calor total consumido})$  , [--];

$k_L$  – Coeficiente de transferência de massa , [ $ML^{-2}t^{-1}$ ]

LJCC – Leito de jorro cônico – cilíndrico

M – Massa de material inerte , [M]

$\Delta P_{je}$  – Queda de pressão no jorro estável , [ $ML^{-1}t^{-2}$ ]

$\Delta P_m$  – Queda de pressão máxima no leito , [ $ML^{-1}t^{-2}$ ]

PMF – Fração média do ponto de fusão

POO – Palm oil olein

POO-RBD – Palm oil olein – Refinada, branqueada e desodorizada

$Q_{jm}$  – Vazão de mínimo jorro , [ $L^3t^{-1}$ ]

t – Tempo de reação de extração de Astaxantina , [t]

$T_{bs}$  – Temperatura de bulbo seco , [T]

$T_{bu}$  – Temperatura de bulbo úmido , [T]

$T_e$  – Temperatura de entrada do ar no leito , [T]

$T_o$  – Temperatura do ponto de orvalho , [T]

$U_{g,jm}$  – Velocidade mínima de jorro , [L<sup>t-1</sup>]

$V$  – Volume da suspensão , [L<sup>-3</sup>]

$V_o$  – Volume de óleo pigmentado após a extração , [L<sup>-3</sup>]

$W$  – Massa de amostra adicionada ao óleo de palma para a extração , [M]

$Y$  – Rendimento de Astaxantina por massa seca de camarão , [MM<sup>-1</sup>]

$Y_e$  – Rendimento de Astaxantina por massa seca de camarão no equilíbrio , [MM<sup>-1</sup>]

## NÚMEROS ADMENSIONAIS

$$\text{Número de Arquimedes: } Ar = \frac{g \cdot d_p^3 \cdot \rho_g \cdot (\rho_p - \rho_g)}{\mu_g^2} , [--]$$

$$\text{Número de Glukhman: } Gu = \frac{(T_e - T_{bu})}{T_e} , [--]$$

$$\text{Número de Nusselt: } Nu = \frac{h_{fp} \cdot d_p}{k_f} , [--]$$

$$\text{Número de Reynolds: } Re = \frac{d_p \cdot U \cdot \rho_f}{\mu_f} , [--]$$

$$\text{Número de Reynolds em jorro mínimo: } Re_{jm} = \frac{d_p \cdot U_{jm} \cdot \rho_f}{\mu_f} , [--]$$

$$\text{Número de Reynolds no orifício de entrada em jorro mínimo: } Re_{jm,i} = \frac{d_p \cdot U_{jm,i} \cdot \rho_f}{\mu_f} , [--]$$

## LETRAS GREGAS

$\Delta$  – Diferença , [--]

$\epsilon_j$  – Porosidade no jorro , [--]

$\epsilon_f$  – Porosidade na fonte , [--]

$\rho_b$  – Densidade do leito , [ML<sup>-3</sup>]

$\rho_g$  – Densidade do ar , [ML<sup>-3</sup>]

$\rho_p$  – Densidade da partícula , [ML<sup>-3</sup>]

$\rho_s$  – Densidade da suspensão , [ML<sup>-3</sup>]

$\mu_g$  – Viscosidade do ar , [ML<sup>-1</sup>t<sup>-1</sup>]

$\mu_f$  – Viscosidade do fluido , [ML<sup>-1</sup>t<sup>-1</sup>]

$\eta$  – Eficiência térmica , [--]

$\lambda_{\max}$  – Comprimento de onda máximo , [L]

$\theta$  – Ângulo do cone , [rad]

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	16
<b>2 OBJETIVO</b>	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b>	19
3.1 O Camarão-rosa: produção e processamento	19
3.2 Resíduo	22
3.3 Carotenóides: características químicas e sua presença em crustáceos	23
3.3.1 A Astaxantina	26
3.4 Óleo de palma	27
3.4.1 Extração do óleo de palma bruto	28
3.4.2 Óleo de palma refinado	32
3.4.3 Fracionamento do óleo de palma refinado	33
3.4.4 Oleína de palma	35
3.5 Materiais pastosos	37
3.6 Equipamentos de secagem	37
3.7 Leito de jorro	39
3.8 Secagem em leito de jorro	41
3.9 Secagem em leito de jorro com corpos inertes	43
3.10 Fluidodinâmica do processo	46
3.10.1 Queda de pressão máxima e queda de pressão de jorro estável	47
3.10.2 Velocidade de jorro mínimo	49
3.11 Estabilidade do leito de jorro	51
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b>	53
4.1 Insumos	53
4.1.1 Matéria-Prima	53

<b>4.1.2 Padrão de Astaxantina</b>	<b>53</b>
<b>4.1.3 Oleína de Palma Refinada</b>	<b>53</b>
<b>4.1.4 Partículas de polipropileno</b>	<b>54</b>
<b>4.1.5 Reagentes analíticos</b>	<b>54</b>
<b>4.2 Instalação experimental (Câmara de Secagem)</b>	<b>54</b>
<b>4.3 Métodos Experimentais</b>	<b>57</b>
<b>4.3.1 Preparo da pasta</b>	<b>58</b>
<b>4.3.2 Estudo da fluidodinâmica do leito</b>	<b>58</b>
<b>4.3.3 Estudo da secagem da pasta de camarão-rosa</b>	<b>59</b>
<b>4.3.4 Processo de Extração (PE)</b>	<b>61</b>
<b>4.3.5 Modelagem Matemática</b>	<b>62</b>
<b>4.3.6 Determinações analíticas</b>	<b>64</b>
<b>4.3.6.1 Análises físico-químicas</b>	<b>65</b>
<b>Umidade</b>	<b>65</b>
<b>Teor de proteínas</b>	<b>65</b>
<b>Teor de lipídios</b>	<b>65</b>
<b>Teor de cinzas</b>	<b>65</b>
<b>4.3.6.2 Determinação do perfil de ácidos graxos</b>	<b>66</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>68</b>
<b>5.1 Fluidodinâmica do leito de jorro</b>	<b>68</b>
<b>5.2 Secagem da suspensão de pescado</b>	<b>74</b>
<b>5.3 Extração do carotenóide em oleína de palma: estudo cinético</b>	<b>77</b>
<b>5.3.1 Modelo cinético de transferência de massa</b>	<b>80</b>
<b>5.3.2 Modelo cinético de reação</b>	<b>85</b>
<b>5.4 Avaliação da composição de ácidos graxos</b>	<b>89</b>
<b>6 CONCLUSÕES</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO A – Dados do estudo fluidodinâmico do secador tipo leito de jorro</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO B – Dados da extração do carotenóide</b>	<b>108</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O termo resíduo, na indústria alimentícia, refere-se a todos os subprodutos e sobras do processamento dos alimentos e são relativamente de baixo valor (SHOEMAKER, 1986).

Os resíduos da industrialização do pescado se constituem em sérios problemas de sanidade das instalações industriais, envolvendo custos de eficiência de produção e custos energéticos. A conversão de material residual não utilizado em produtos comerciais permite resolver grande parte dos problemas citados, bem como leva ao aparecimento de novos produtos comerciais obtidos pela recuperação da proteína e outros nutrientes ou ainda alimentos que poderão ser utilizados como ingredientes alimentares mantendo o “flavor”, como por exemplo, o dos frutos do mar (HOOD; ZALL, 1979).

Durante o processamento do Camarão-Rosa (*Farfantepenaeus brasiliensis*), através da etapa de descabeçamento, descasque e retirada da extremidade da cauda, é gerada uma grande quantidade de resíduo sólido. Esses resíduos corresponderem a aproximadamente 40% do peso do crustáceo (ASSUNÇÃO; PENA, 2007). Considerando que a produção desta espécie de camarão no Brasil, em 2006, foi de 12.382,5 toneladas, aproximadamente 4.950 toneladas de resíduo foram geradas, levando em consideração somente o que se refere ao processamento do camarão-rosa (BRASIL, 2008).

Este subproduto, facilmente deteriorável, deve ser descartado rapidamente, tornando-se um agente poluidor, ou recuperado imediatamente, para obtenção de subprodutos utilizáveis em rações animais ou como complemento para alimentação humana (BELLO et al., 1989).

Sob o ponto de vista nutricional a carne de animais aquáticos é reconhecidamente uma excelente fonte protéica, considerando uma variação entre as espécies. O teor é sempre alto, da ordem de 15 a 25%, sendo que a proteína encontrada em animais aquáticos apresenta maior digestibilidade em relação à proteína de mamíferos e aves (GUZMÁN, 1994). O camarão aparece também não só como uma potencial fonte protéica, mas como também de cálcio, vitaminas, pigmentos e uma infinidade de compostos voláteis (HEU; KIM; SHAHIDI, 2003).

Fatores como o desenvolvimento tecnológico, a tendência de crescente globalização da economia e, principalmente da exigência do consumidor, que incorporou novos valores às suas preferências, fizeram com que as indústrias de alimentos no Brasil, nos últimos anos, adotassem a postura de inovar e aprimorar o processo de desenvolvimento de novos produtos (ASSUNÇÃO; PENA, 2007).

De acordo com estudos na área de recuperação destes resíduos, podem ser facilmente transformados em produtos com grande potencial mercadológico, como Farinha de Camarão (Casca e Cabeças), extração do “Flavor” para adição em alimentos processados, Silagem, Omega-3, Quitina e Quitosana, Carotenóides, etc. A recuperação desse material (subprodutos a industrialização) constitui-se em uma alternativa promissora para o aumento de suprimento de proteína de alta qualidade, na elaboração de produtos derivados, economicamente viáveis e de alto padrão de qualidade. Esta recuperação também minimiza o grave problema de poluição ambiental, já que tradicionalmente, estes resíduos são lançados diretamente nos efluentes das indústrias pesqueiras, além de gerar lucros para as indústrias de processamento (RODRIGUES, 2000).

Uma possível alternativa de grande agregação de valor para este material é a sua utilização para extração de pigmentos carotenóides, por existir potencial e demanda pelas indústrias de alimentos, farmacêutica e de ração animal. Pigmentos estes presentes em abundância em crustáceos (Camarão, Lagostas e Caranguejo), aparecendo a Astaxantina como o carotenóide encontrado em maior abundância (OGAWA et al., 2007).

Com relação ao equipamento de secagem, o leito de jorro é apresentado na literatura, como uma ótima alternativa para a secagem de pastas e suspensões, produzindo produtos em pó de alta qualidade e de baixo custo de operação. O sistema vem sendo bastante utilizado na desidratação de materiais termo sensível como os farmacêuticos e alimentícios (GUBULIN; FREIRE, 1989; RÉ; FREIRE, 1986; HUFENÜSSLER; KACHAM, 1985). Comparado com outras técnicas de secagem, os secadores de leito de jorro apresentam algumas vantagens, como por exemplo, o curto tempo de residência do produto no leito, altas taxas de transferência de massa e calor e um bom controle da temperatura do leito (RODRIGUES, 2000).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

É compreensível, portanto, que uma maneira apropriada para a utilização destes recursos deverá beneficiar o meio ambiente e, também, a grande demanda por farinhas e concentrados protéicos de pescado utilizado na indústria de rações para animais e carotenos para serem incorporados em produtos alimentícios.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi à avaliação do processo de secagem em leito de jorro de uma suspensão de cefalotórax de camarão-rosa, a identificação, a extração e a quantificação do principal pigmento desta matéria-prima, o carotenóide Astaxantina, coletados a partir de uma planta de beneficiamento de camarão no Pará - Brasil.

### **2.2 Objetivos específicos**

Como objetivos específicos se podem citar:

- Secagem de suspensões em leito fluidizado tipo jorro com a presença de partículas inertes;
- Caracterização físico-química e determinação do perfil de ácidos graxos do produto seco obtido da operação de secagem;
- Extração de pigmento carotenóide (Astaxantina) a partir do produto seco obtido;
- Avaliação da influência dos parâmetros térmicos e fluidodinâmicos do processo de secagem em leito de jorro, na concentração final de Astaxantina.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 O Camarão-rosa: produção e processamento

O camarão-rosa (Figura 1) é, na verdade, uma denominação genérica para espécies distintas (*Farfantepenaeus paulensis*; *Farfantepenaeus brasiliensis*; *Farfantepenaeus subtilis*) da família Penaeidae, mas muito similares em aparência. Estas espécies vivem em regiões arenosas e lodosas nas enseadas de pouca profundidade ou ao longo da costa (Águas tropicais e subtropicais do Atlântico, desde a América do Norte até o litoral do Rio Grande do Sul), formando grandes grupos, principalmente no período reprodutivo. Alimentam-se de pequenos animais ou matéria orgânica em decomposição nos fundos arenosos onde vivem (IWAI, 1973).



**Figura 1.** Camarão-rosa *in natura*. Disponível em: <[www.pesca.sp.gov.br/imagens.php?pag=20](http://www.pesca.sp.gov.br/imagens.php?pag=20)>. Acesso em: 28 ago. 2009.

A pesca extrativa de camarões marinhos no Brasil constitui-se uma das atividades de maior importância no cenário pesqueiro nacional, sendo o Estado do Pará o maior produtor (Figura 2).

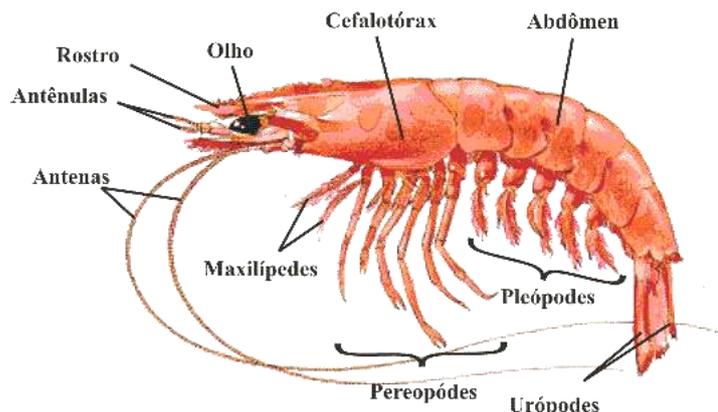


**Figura 2.** Distribuição da pesca extrativa marinha de camarão-rosa por região do Brasil – 2006 (Dados: IBAMA, 2008).

O camarão-rosa se tornou uma das principais espécies pescadas no Brasil, de onde parte da produção industrial é destinada ao mercado externo, na forma de caudas congeladas. Apenas uma pequena parcela do camarão inteiro é processada e exportada. Durante o processamento várias partes do crustáceo são retiradas formando um grande amontoado de resíduos, tais como: o cefalotórax, as pleópodes, entre outras (ver a divisão do camarão-rosa na Figura 3) (ASSUNÇÃO; PENA, 2007).

Os camarões apresentam o corpo dividido em duas partes: cefalotórax e abdômen (Figura 3). O cefalotórax é constituído por vários segmentos (6 cefálicos e 8 torácicos) formando uma peça única, a carapaça. Dos segmentos cefálicos o primeiro só é visível nos estágios embrionários, desaparecendo na fase adulta. O abdômen é constituído por seis segmentos seguidos de uma estrutura pontiaguda, o telso (SEBRAE, 2005).

O corpo é alongado, achatado lateralmente e revestido por um exoesqueleto formado basicamente por quitina (carboidrato) e sais de cálcio. A extremidade anterior da carapaça apresenta um prolongamento em forma de espinho, o rostro, ao longo do qual se encontram estruturas dentadas em sua superfície superior e inferior. Localizado inferiormente à base do rostro estão inseridos os pedúnculos oculares (SEBRAE, 2005).



**Figura 3.** Aspectos da morfologia externa do camarão-rosa. Disponível em: < <http://br.geocities.com/estevesneto2001/25zoo/stbz/pp.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2008.

De acordo com o boletim informativo do IBAMA de dados estatísticos referentes à pesca, em cinco anos (2001 – 2006) houve um crescimento de 146,10%, passando de 5.030,5 toneladas em 2001 para 12380 toneladas em 2006 (IBAMA, 2008).

Atrelado a este crescimento na produção, durante o processamento a quantidade de resíduo, por consequência, também está se elevando e assim aumentando o nível de poluição das águas continentais (ASSUNÇÃO; PENA, 2007).

Como na maioria das indústrias de processamento de pescado este resíduo é descartado diretamente nos rios devido à localização das mesmas serem as margens, vem crescendo a preocupação de indústrias alimentícias no que diz respeito ao reaproveitamento deste resíduo, o qual é rico em quitina, pigmentos e carbonato de cálcio. Buscam-se alternativas para o reaproveitamento em produtos com valor agregado (ASSUNÇÃO; PENA, 2007).

Crustáceos com lagosta e camarão são também importantes fontes de carotenóides naturais podendo ser uma boa alternativa para a obtenção destes carotenóides naturais, pois além da sua disponibilidade, possuem uma maior absorção quando relacionado aos sintéticos (SAHINDRA; MAENDRAKAR, 2005). Vários trabalhos têm sido realizados sobre a ocorrência e significância de carotenóides em camarões e lagostas (SACHINDRA et al. 2005). Considerando o valor potencial destes pigmentos, VELU et al. (2003) estudou a caracterização destes carotenóides em *Streptocephalus dichotomu* e *Moina micuras*. A Astaxantina tem sido citada como principal carotenóide na maioria dos crustáceos como camarões, lagostas e caranguejos (SANTOS, 2006).

Em crustáceos como o camarão normalmente a Astaxantina é encontrada livre ou associada com outros compostos. Na forma associada pode ser esterificada em grupos hidroxílicos contendo diferentes ácidos graxos como o palmítico, oléico, esteárico e linoléico. Em sua forma livre, os grupos hidroxílicos presentes em complexas estruturas químicas com proteínas ou lipoproteínas apresentam-se sem a necessidade de uma esterificação. Normalmente, nas pastas de camarão, a Astaxantina é encontrada na forma esterificada com ácidos graxos (monoésteres e diésteres), e apenas 10% ou menos aparece em sua forma livre. Por apresentar maior percentual de Astaxantina na forma esterificada, é possível a solubilização em óleo deste carotenóide (ISMADJI, 2008).

Outro uso dos resíduos da indústria de processamento de camarão com grande potencial são os produtos alimentícios desidratados. A secagem de produtos biológicos, como o material residual do processamento, é bastante utilizada como método de conservação e é particularmente importante devido à decisiva influência na melhoria da qualidade do produto e a diminuição do seu potencial de deterioração durante o período de armazenagem (RODRIGUES, 2000).

A secagem de materiais biológicos como o pescado, dependendo do tempo de exposição e da temperatura a que são submetidos, podem provocar alterações reversíveis ou irreversíveis nas propriedades funcionais das proteínas. As propriedades funcionais são funções físico-químicas que afetam o processamento e o comportamento das proteínas em um alimento, determinando o campo de aplicação, bem como a possibilidade de competição no mercado, sob a forma de ingredientes (RODRIGUES, 2000).

### **3.2 Resíduo**

Segundo o Dicionário Aurélio (1986) resíduo é o remanescente de qualquer matéria que sofreu alteração por algum agente exterior, sendo este um processo mecânico, químico, físico, etc.

Os resíduos sólidos industriais e urbanos merecem cada vez mais atenção de especialistas e do poder público dos países que se dedicam ao trabalho de melhoria da qualidade ambiental. A aplicação de tecnologias apropriadas e ecológicas, com a redução da utilização de recursos naturais, de desperdício, da

geração de resíduos e poluição, é uma ação de prioridade mundial (NASCIMENTO; MOTHÉ, 2007).

No Brasil, o aproveitamento de resíduos no ciclo de produção de pescado é pouco significativo, apenas na indústria de conservas, este resíduo é utilizado para a elaboração de farinha de pescado. Os resíduos da industrialização do pescado representam um sério problema para a planta industrial, principalmente por serem poluentes e de difícil descarte, interferindo na eficiência do processo produtivo (GUILHERME; CAVALHEIRO; SOUZA, 2007).

Durante o processamento do camarão, através da etapa de descasque, é gerada uma grande quantidade de resíduo sólido, devido à cabeça e às cascas corresponderem a aproximadamente 40% do peso do animal. Este resíduo é constituído por 70 a 75% de água, e por sofrer rápida decomposição, devem ser prontamente utilizados (ASSUNÇÃO; PENA, 2007).

Tradicionalmente, sua utilização restringia-se à produção de farinha de camarão, mas recentemente novas alternativas de aproveitamento têm sido avaliadas para agregar valor a este subproduto, como a silagem de camarão, a extração de pigmentos carotenóides, obtenção de quitina, utilização como fonte de proteínas, etc.

### **3.3 Carotenóides: características químicas e sua presença em crustáceos**

Os carotenóides são compostos químicos da classe de hidrocarbonetos (carotenos) e de seus derivados oxigenados (xantofilas). Sua estrutura básica reflete seu modo de biossíntese e consiste de oito unidades isoprenóides unidas e uma série de duplas ligações conjugadas, conferindo-lhes a característica cromófora (DAVIES, 1976).

Os carotenóides constituem o grupo de pigmentos orgânicos mais difundidos na natureza, existindo nos organismos fotossintéticos, nos fungos, algas e bactérias, bem como em todos os grupos de animais, desde os protozoários até o homem (SANTOS, 2006).

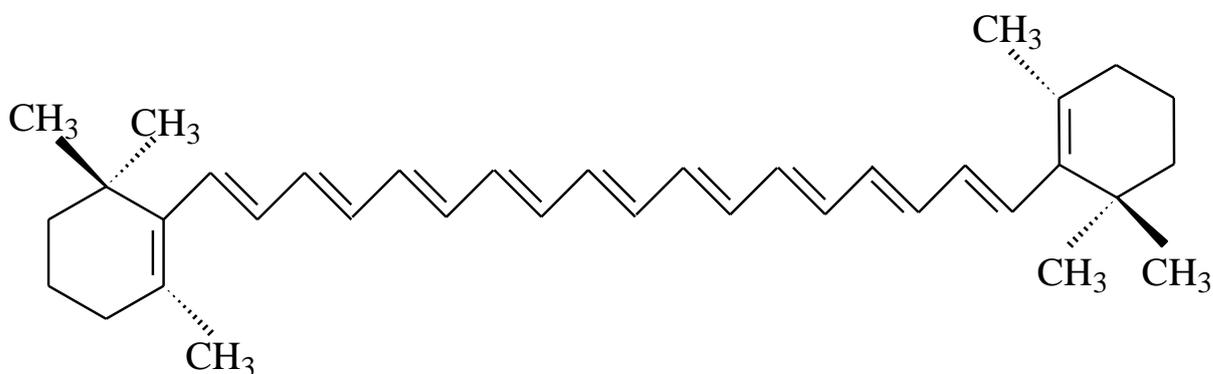
As propriedades de absorção da luz dos carotenóides derivam da presença do grupo cromóforo, na cadeia polimérica insaturada. Um cromóforo de sete ou mais duplas ligações conjugadas confere a capacidade de absorver a luz na

região visível, atribuindo-lhes coloração do amarelo ao vermelho. O sistema poliênico também confere à molécula alta susceptibilidade à degradação oxidativa e à isomerização geométrica causada pela luz, calor ou ácidos (DAVIES, 1976).

Esta classe de compostos orgânicos não pode ser sintetizada pelos animais, porém podem ser absorvidos através da dieta. Apenas microrganismos não fotossintéticos como fungos e leveduras, algas, bactérias e as plantas são capazes de realizar esta síntese. A absorção e o metabolismo dos carotenóides são determinados pela sua estrutura (TOLASA, 2005; OGAWA et al., 2007).

Os carotenóides são encontrados na alimentação humana, principalmente em vegetais onde estão localizados nas raízes, folhas, talos, semente, frutas e flores. Além disso, alguns crustáceos e seus derivados podem ser utilizados na obtenção destes pigmentos.

Atualmente são conhecidos mais de 600 carotenóides naturais, todos derivados do mesmo esqueleto isoprenóide  $C_{40}$ , por modificações tais como hidrogenação, oxidação, ciclização, substituição, eliminação, adição e rearranjo. A estrutura básica é ilustrada pelo  $\beta,\beta$ -caroteno (Figura 4) (PASSOS, 2007).



**Figura 4.** Estrutura química do  $\beta,\beta$ -Caroteno (PASSOS, 2007).

Na Tabela 1 estão relacionados alguns dos mais importantes carotenóides presentes em fontes animais e vegetais, com suas respectivas nomenclaturas sistemáticas (SANTOS, 2006).

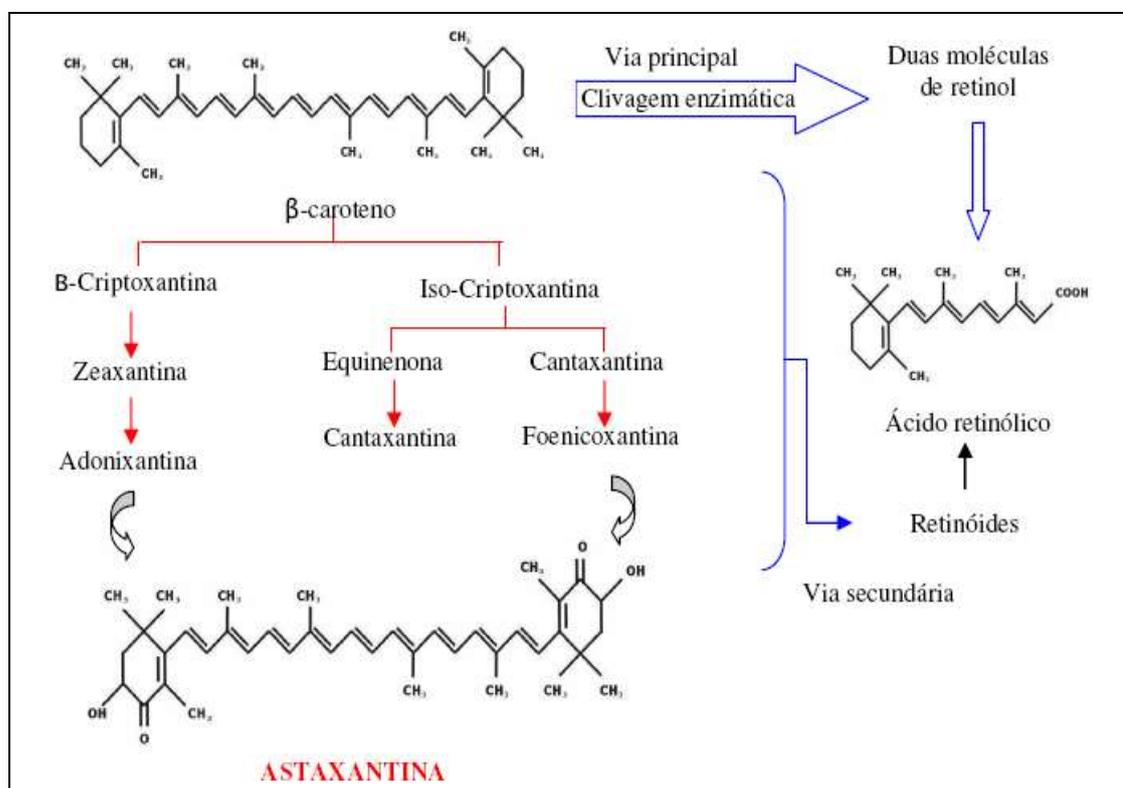
**Tabela 1.** Nomes triviais e sistemáticos de determinados carotenóides.

Nome Trivial	Nome Sistemático
Astaxantina	3,3'-dihidroxi- $\beta,\beta$ -caroteno-4,4'-dione
Cantaxantina	$\beta,\beta$ -caroteno-4,4'-diona
$\beta$ -caroteno	$\beta,\beta$ -caroteno
Licopeno	$\Psi$ - $\Psi$ -caroteno
Zeaxantina	$\beta,\beta$ -caroteno-3,3'-diol

Fonte: SANTOS, 2006.

Em crustáceos os carotenóides estão presentes na forma de complexos protéicos (carotenoproteínas), principalmente na carapaça, apêndices torácicos, sangue, olhos, ovos, hepatopâncreas e ovário. Assume-se que os carotenóides em crustáceos apresentam várias funções relevantes no processo biológico como reprodução, incubação, crescimento e estabilidade de proteínas (NÉGRE-SADARGUES *et al.*, 2000 apud SANTOS, S., 2006).

Os intermediários na transformação de carotenóides dietéticos (Figura 5), tais como a equinenona e a cantaxantina são geralmente detectados em menores quantidades (SANTOS, 2006).



Fonte: SANTOS, 2006.

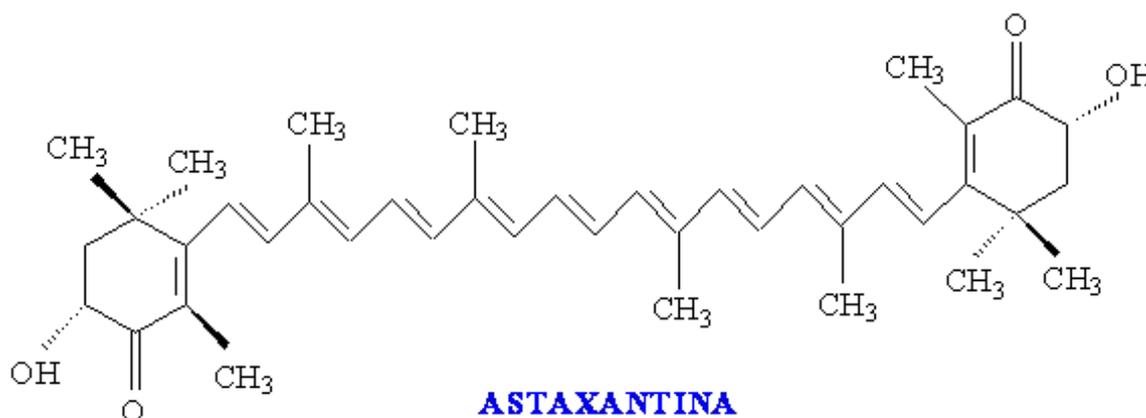
**Figura 5.** Via de bioconversão dos carotenóides no camarão.

O hepatopâncreas de espécies canívoro-necrófagas, como crustáceos, é um órgão marcadamente pigmentado. A ocorrência de carotenóides na epiderme recobrando os olhos está associada à estocagem de pigmentos de origem alimentar, indicando uma função fisiológica determinada (NÉGRE-SADARGUES et al., 2000 apud SANTOS, 2006).

No exoesqueleto de várias espécies de crustáceos são freqüentemente encontradas as proteínas pigmentadas, denominadas de Crustacianinas, onde sua coloração está interligada ao carotenóide Astaxantina. Com o tratamento térmico, a desnaturação da proteína o libera e sua cor avermelhada se revela, sendo estes carotenóides livres absorventes de luz em comprimento de onda entre 400-500nm (ANDRADE, 2003; SANTOS, 2006).

### 3.3.1 A Astaxantina

Em sua forma livre, esterificada ou formando complexos com proteínas, a Astaxantina (Figura 6) é o carotenóide mais abundante em alguns peixes, como salmão e a truta, bem como na maioria dos crustáceos, por exemplo, em camarões, caranguejos e lagostas .



**Figura 6.** Estrutura da *r,r*-Astaxantina (KÖPSEL et al., 2005).

Astaxantina (3,3'-dihidroxi- $\beta,\beta$ -caroteno-4,4'-diona) é um oxicarotenóide de cor vermelho-alaranjado presente no meio marinho, de fórmula  $C_{40}H_{52}O_4$  e peso molecular 596,86g/mol. Na forma cristalina e pura, aparece como um pó fino de coloração escura violeta amarronzada. Seu ponto de fusão é aproximadamente 224°C. É insolúvel em solução aquosa e na maioria dos solventes, mas pode ser

dissolvida a temperatura ambiente em diclorometano, clorofórmio, acetona, DMSO e outros solventes não polares (JOHNSON; AN, 1991).

Por ser a síntese química da Astaxantina complexa e de elevado custo, devido à presença dos centros quirais na sua estrutura molecular, existe um grande interesse no uso de fontes biológicas da mesma (CHOCIAI et al., 2002).

Sendo a Astaxantina, um pigmento solúvel em óleo vegetal, diversos estudos foram realizados utilizando-se tipos distintos de óleos vegetais tais como o óleo de girassol, coco, soja, arroz, óleo de fígado de bacalhau, entre outros (HANDAYANI et al., 2008).

A Astaxantina é empregada na avicultura (aumento da produção e coloração da carne de galinha e gema de ovos), mas sua principal aplicação é na aquicultura de peixes (salmão, truta) e crustáceos (lagosta), para os quais a coloração da carne e/ou carapaça é um fator determinante na aceitação e no preço final do produto. Além disso, este carotenóide possui elevada atividade antioxidante, quando comparado com o  $\beta$ -caroteno e o  $\alpha$ -tocoferol (CHOCIAI et al., 2002).

### 3.4 Óleo de palma

A cultura de dendê (*Elaeis Guineensis*) foi introduzida no Brasil por escravos africanos no início do século XVII, dando origem aos dendezaes subespontâneos no litoral baiano. Voltada, essencialmente, para a subsistência de famílias pobres do litoral nordestino, o primeiro cultivo planejado iniciou-se na década de 60 no Estado do Pará, por iniciativa da então Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), com a colaboração do *Institut de Recherches pour les Huiles et Oleagineux* (IRHO), da França. Esta experiência pioneira foi replicada em outros estados da Amazônia (Amazonas, Amapá e Roraima) e na Bahia, atraindo investimentos privados e impulsionando a implementação de programas de desenvolvimento regional com base no plantio desta oleaginosa (SANTOS, 2008).

O dendê (palma africana) se destaca pelo elevado valor comercial para o setor de alimentos, visto que o óleo obtido é livre de gorduras 'trans' e, portanto, ideal para a produção de biscoitos, margarinas, óleo de cozinha, cremes vegetais, etc. O óleo de palma possui também grande valor para a indústria química (ex.:

produção de detergentes) e de cosméticos, em virtude da existência de carotenóides (betacaroteno) em sua composição e por possuir quantidades significativas de antioxidantes (SANTOS, 2008).

No cenário mundial o óleo de palma desponta com a principal fonte de óleos e gorduras, com 25% do total produzido, o que representa uma produção de 38,5 milhões de toneladas. Em segundo lugar aparece o óleo de soja com 24% do total de óleos e gorduras produzido, como mostra a Figura 7 (MALÁSIA, 2007).



**Figura 7.** Distribuição em percentual da produção mundial de óleo e gorduras (MALÁSIA, 2007).

Em relação ao cenário nacional, a produção de óleo de palma vem apresentando um notável crescimento, com aproximadamente 0,5% da produção mundial, o que representa uma produção de aproximadamente 192 mil toneladas. Destaca-se a Região Norte com quase 90% da produção nacional (SANTOS, 2006).

### 3.4.1 Extração do óleo de palma bruto

O dendezeiro é conhecido cientificamente por *Elaeis guineensis*, Jacq., *Monocotyledonae*, *Palmae*. A planta também é conhecida como palma-de-guiné, dendem (Angola), palmeira dendem, coqueiro-de-dendê. O fruto é conhecido como dendê. É uma palmeira originária da Costa Ocidental da África (Golfo da Guiné), sendo encontrada em povoamentos subespontâneos desde o Senegal até a Angola. Foi trazido, no século XVII, pelos escravos ao Brasil e adaptou-se bem ao clima tropical úmido do litoral baiano (ARRUDA, 2004).

O óleo de Palma que é extraído do destacado mesocarpo do fruto (Figura 8.b) da palma oleaginosa (*Elaeis guineensis* Jacq.) (Figura 8.a), por métodos físicos (prensagem mecânica) ou através do uso de solventes como de outras substâncias químicas. É cultivado na região geográfica que se estende a 10° ao sul e ao norte da linha do equador. Dada a maior quantidade de óleo por hectare de terra, ou seja, mais do que 5 toneladas / hectare / ano, o óleo de palma agrega uma importante contribuição para a produção mundial de óleos e gorduras (RITTNER, 1996).



(a) Palmeira



(b) Fruto

**Figura 8.** (a) Palmeira (*Elaeis guineensis* Jacq.); (b) Corte transversal do fruto.

O fruto da palma produz dois tipos de óleo: óleo de palma, que provém da polpa (Mesocarpo) e o óleo de palmiste, que provém da semente (Endocarpo). Ambos os óleos possuem diferentes composições de ácidos graxos e características físico-químicas conforme mostrado nas Tabelas 2 e 3 (RITTNER, 1996).

**Tabela 2.** Características físico-químicas do óleo de palma.

Parâmetro	Óleo de Palma
Índice de Acidez	2 – 5% (% Ác. Palmítico)
Índice de Iodo (Wijjs)	52 – 55
Umidade	≤ 1%
Índice de Peróxido (mEq/Kg)	≤ 6
Ponto de Fusão (°C)	33 – 39
Fósforo (ppm)	10 – 20
Ferro (ppm)	4 – 12

Fonte: RITTNER, 1996.

**Tabela 3.** Composição de ácidos graxos do óleo de palma.

Ácido Graxo	Óleo de Palma
Ác. Láurico (C 12:0)	1,1 ± 0,1%
Ác. Mirístico (C 14:0)	1,0 ± 0,5%
Ác. Palmítico (C 16:0)	40,7 ± 5,0%
Ác. Esteárico (C 18:0)	5,0 ± 1,0%
Ác. Oléico (C 18:1)	42,0 ± 3,0%
Ác. Linoléico (C 18:2)	10,2 ± 2,0%

C A:B – A: Número de Átomos de Carbonos da Cadeia Principal; B: Número de Ramificações.  
Fonte: GRIMALDI et al., 2005.

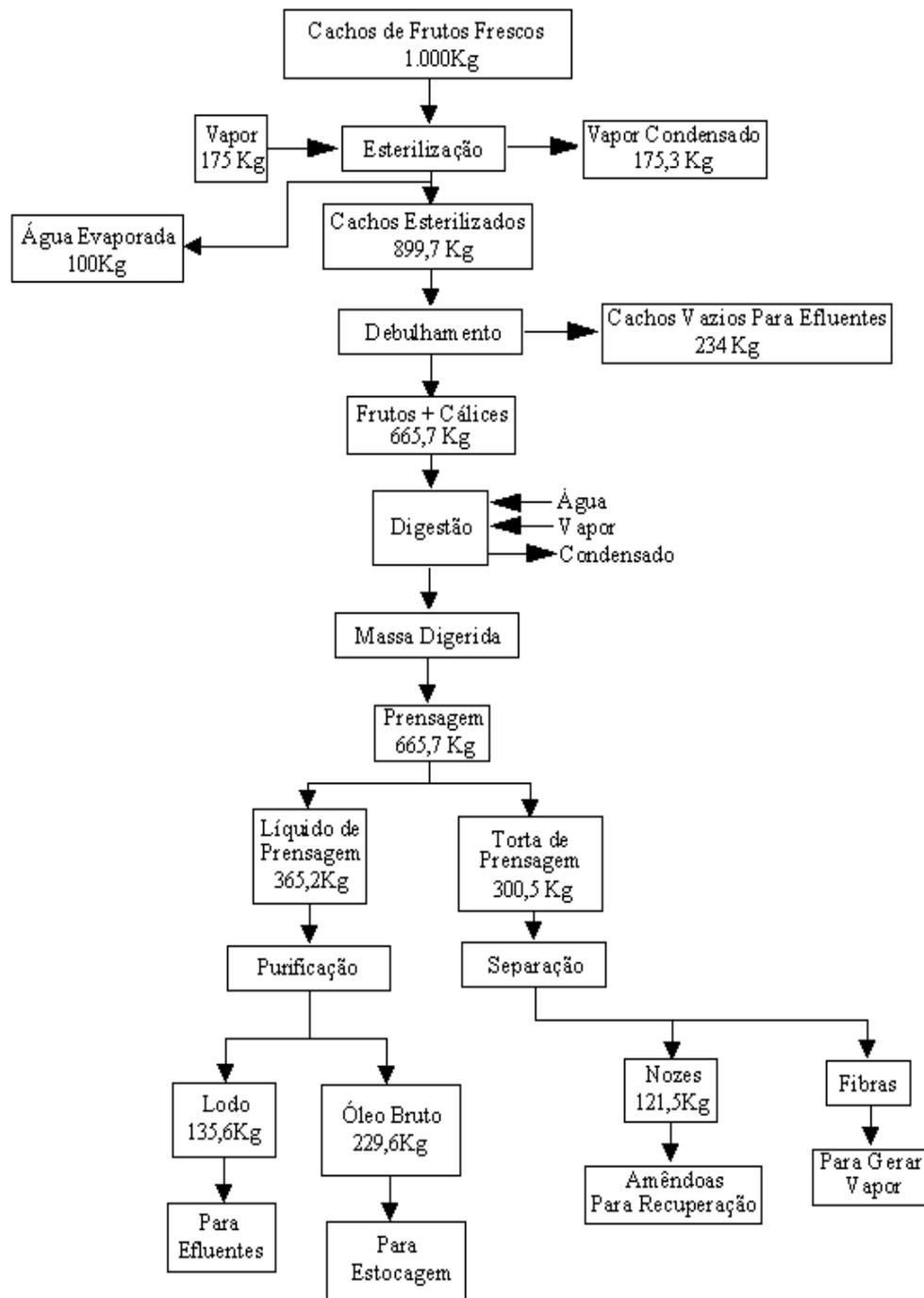
Segundo Hartman e Esteves (1982) os ácidos graxos do óleo de palma e seus componentes secundários são inigualáveis em propriedades nutricionais. Os mais importantes destes são a vitamina E (tocoferol e tocotrienóis) e o carotenóide (principalmente alfa e beta-caroteno). A vitamina E da palma age como um antioxidante biológico que protege contra a oxidação acentuada e o processo de arteriosclerose.

O óleo de palma bruto é a fonte mais rica da natureza em carotenóides, com concentrações na ordem de 700 -1000ppm. Os principais carotenóides em óleo de palma são: beta-caroteno (55%), alfa-caroteno (35%) e porcentagens menores de licopeno, fitoeno e zeocarotenos. O beta-caroteno apresenta propriedades antioxidantes e anticancerígenas. Embora seja um produto de alto valor nutricional e comercial, o beta-caroteno é degradado durante o refino resultando num óleo de coloração mais clara (RITTNER, 1996).

A presença de antioxidantes naturais (tocotrienóis) e o baixo teor de ácido linolênico (C18:3) proporciona a este óleo alta estabilidade à oxidação. Seu estado semi-sólido à temperatura ambiente ou em alguns casos com separação de fases deve-se a sua composição peculiar de ácidos graxos com cerca de 50% de ácidos graxos saturados, 40% de mono-insaturados e 10% de poli-insaturados. Por não ser submetido a processos de hidrogenação artificial é livre de ácidos graxos trans (RITTNER, 1996).

Na Figura 9 está representado o fluxograma do processo de extração do óleo de palma, através de prensagem mecânica sem a utilização de solventes e outras substâncias químicas.

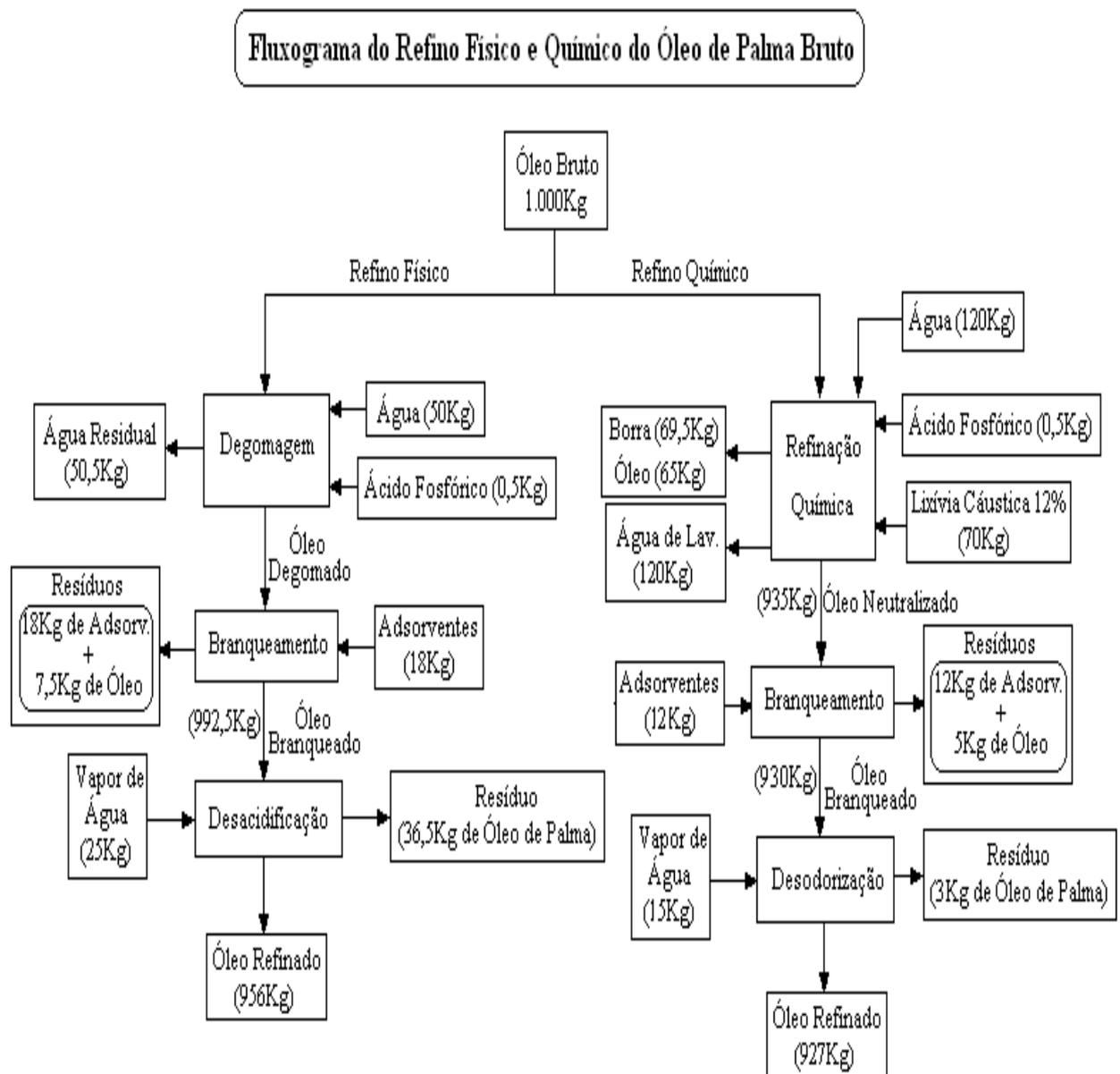
### Fluxograma do Processo de Extração de Óleo Bruto de Palma



**Figura 9.** Fluxograma do processo de produção de óleo bruto de palma (RITTNER, 1996).

### 3.4.2 Óleo de palma refinado

O óleo de palma refinado (PO-RBD) pertence ao grupo do ácido oléico-linoléico, e é o maior e mais variado em termos de composição e de características dos óleos individuais. Este óleo é obtido através do processo de refino aplicado ao óleo bruto que pode ser feito de forma natural (fisicamente) ou através da neutralização dos ácidos graxos com soda cáustica. Os dois processos citados estão descritos na Figura 10 (RITTNER, 1996):



**Figura 10.** Fluxograma dos processos de refino físico e refino químico do óleo de palma (RITTNER, 1996, p. 161).

No refino físico do óleo de palma os ácidos graxos livres são removidos por destilação. Estes ácidos são compostos em quantidades aproximadamente iguais de insaturados e saturados: sendo o grupo dos insaturados composto de 39% de ácido oléico e 10% de ácido linoléico, e o grupo dos saturados por 44% de palmítico e 5% de esteárico (RITTNER, 1996).

Em virtude de sua peculiar composição, rica em ácido palmítico, destaca-se o comportamento do óleo de palma nas transições e coexistência de fases sólidas e líquidas, que lhes confere uma consistência semi-sólida, permitindo flexibilidade para produzir uma grande variedade de produtos (RITTNER, 1996).

### **3.4.3 Fracionamento do óleo de palma refinado**

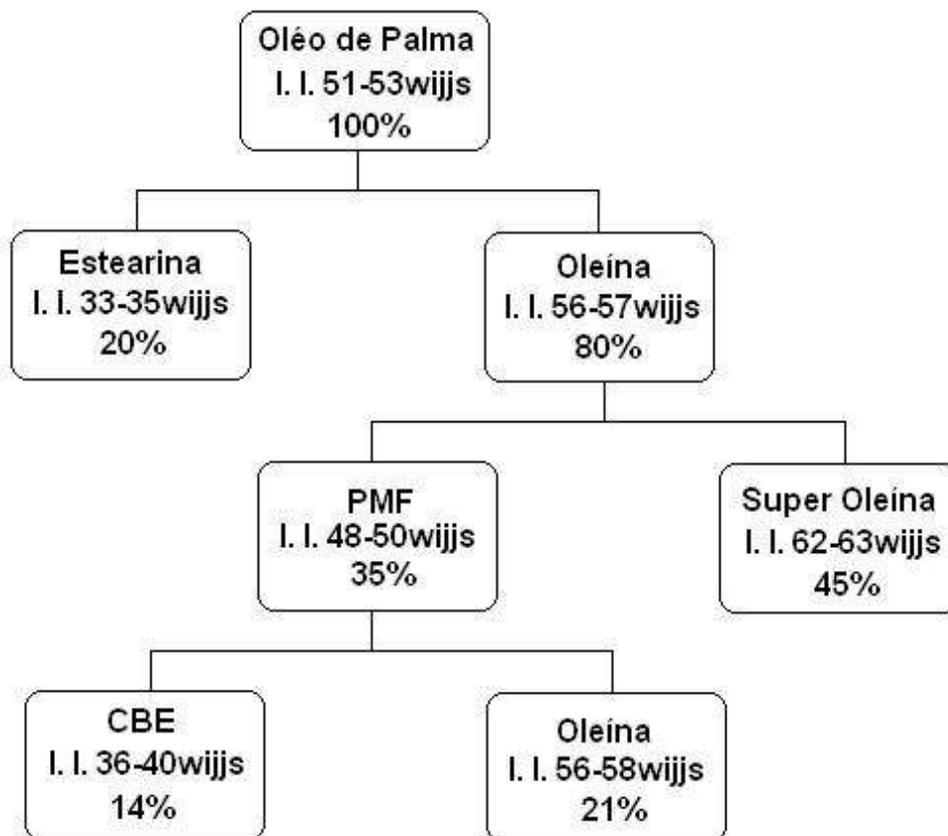
As gorduras podem ser separadas em frações com características físicas diferentes, através de cristalização fracionária, por solvente ou por fusão fracionada. O primeiro processo fornece frações extremamente bem definidas, mas é usado somente para produção de gorduras de alto valor. Já o processo de fracionamento por fusão fracionada ou fracionamento à seco, é muito mais simples e econômico. Esse tipo de fracionamento é aplicado em grande escala, principalmente com óleo de palma, mas também com outras gorduras, inclusive sebo de boi, banha e gordura de leite (LÍPIDIOS, 2008).

O fracionamento a seco é apenas uma da série de técnicas de separação que estão baseadas principalmente na propriedade dos óleos e gorduras de formar cristais. Este tipo de fracionamento é o processo mais simples e barato de cristalização fracionada, sendo conhecido como tecnologia “natural” (aquela que não utiliza produtos químicos, não produz efluente e não tem perdas). Ao contrário de processos tais como a hidrogenação, a interesterificação e o fracionamento por solvente ou detergente, o fracionamento a seco não utiliza composto químico adicional. Ele consiste simplesmente na cristalização controlada da gordura fundida, conduzida de acordo com um resfriamento específico. A gordura cristalizada é, então, filtrada, dando origem às frações denominadas estearinas e oleínas (GIOIELLI et. al., 2007).

Esta operação pode ser realizada de forma rápida ou lenta, onde o fator que dita a rapidez do processamento é a velocidade com que os glicerídeos são resfriados (RITTNER, 1996).

Em relação ao óleo de palma, este processo se torna mais simples e fácil do que com outros óleos vegetais, em virtude de sua composição de ácidos graxos e triglicerídeos (cerca de 50% de ácidos graxos saturados e 50% de ácidos graxos insaturados).

Como mostra a Figura 11, o fracionamento de óleo de palma pode ser efetuado de vários modos e render assim uma variedade de produtos. Neste processo de múltiplos estágios é obtido uma meia-fração de palma (PMF), que pode ser re-fracionada e render uma gordura com propriedades similar às da manteiga de cacau (CBE). O óleo de palma também pode ser duplamente fracionado para render uma super oleína com índice de iodo (I. I.) de 65wiijs (LÍPIDIOS, 2008).



**Figura 11.** Produtos obtidos pelo fracionamento de vários estágios do óleo de palma (LÍPIDIOS, 2008).

### 3.4.4 Oleína de palma

A oleína é um produto obtido por fracionamento natural do óleo de palma refinado, que apesar de sua origem, possui propriedades físicas que a diferem apreciavelmente do óleo refinado de palma. À temperatura ambiente a oleína apresenta-se na fase líquida, podendo apresentar precipitação de triglicerídeos de maior ponto de fusão caso seja armazenado em ambientes frios. Tem a capacidade de se misturar facilmente a qualquer outro óleo de oleaginosas (NUNES, 2008).

A oleína de palma é composta quimicamente por carotenóides (destacando-se o  $\beta$ -caroteno, precursor da vitamina A), tocoferóis (destacando-se orto-tocoferol, que é uma fonte de vitamina E), ácidos graxos saturados (44%) e insaturados (56%) de cadeias longas, enquanto que o óleo de palma tem uma composição de ácidos graxos aproximadamente 51% insaturados e 49% saturado (NUNES, 2008). A Tabela 4 apresenta algumas características físico-químicas da oleína de palma.

**Tabela 4.** Características físico-químicas da Oleína de palma.

Parâmetro	Limite
Acidez (% Palmítico)	$\leq 0,05$
Índice de Peróxido (mEq/kg)	$\leq 1,0$
Ponto de Fusão ( $^{\circ}\text{C}$ )	$14 \pm 2$
Índice de Refração a $25^{\circ}\text{C}$	1,465
Índice de Iodo (Wijjs)	$\geq 60$
Fósforo (ppm)	$\leq 3$
Sabor/Odor	Neutro

Fonte: NUNES, 2008.

No que dizem respeito aos valores nutricionais, os ácidos graxos dos tecidos animais são na maioria saturados enquanto que as gorduras obtidas de origem vegetal são insaturadas. Os ácidos graxos são os principais componentes da estrutura lipídica com exceção do colesterol (WINTER, 2006).

Na Tabela 5 são apresentados os percentuais de alguns dos ácidos graxos presentes na oleína de palma.

**Tabela 5.** Composição (%) em Ácidos Graxos da Oleína.

Composição de Ácidos Graxos	(%)
Ácido Láurico (C 12:0)	0,4 ± 0,2
Ácido Mirístico (C14:0)	1,0 ± 0,7
Ácido Palmítico (C 16:0)	35 ± 5
Ácido Palmitoleico (C 16:1)	0,4 ± 0,3
Ácido Esteárico (C 18:0)	3,0 ± 2
Ácido Oleico (C 18:1)	48,5 ± 3
Ácido Linoleico (C 18:2)	11,0 ± 2
Ácido Linolenico (C 18:3)	0,4 ± 0,2
Ácido Araquídico (C 20:0)	0,3 ± 0,2

Fonte: NUNES, 2008.

A composição química da oleína de palma provê para exigência diária de ácidos graxos essencial na forma de 11% de conteúdo de ácido linoleico. Considerando um óleo comestível dietético de origem vegetal esta essencialmente livre de colesterol. Por seu baixo teor de ácido linolênico este produto possui elevada resistência à oxidação. Sua composição natural de ácido graxo também requer uma mínima modificação química para uso em uma grande variedade de formulação alimentícia. Isto é vantajoso em relação a todos os outros óleos comestíveis líquidos, pois estes requerem hidrogenação, resultando na formação de ácidos graxos trans, que pode danificar a saúde humana (NUNES, 2008).

A oleína de palma é extensamente utilizada em cadeias de "fast food" para fritura em geral. No preparo destes alimentos, por fritura em imersão, condições severas são utilizadas através de altas temperaturas. Sob tais condições, um óleo líquido insaturado torna-se inadequado, a menos que seja hidrogenado para aumentar sua estabilidade à oxidação. O uso da oleína de palma é preferido, pois têm boas propriedades físicas e maior estabilidade à oxidação em virtude da sua composição de ácidos graxos e antioxidantes naturais (vitamina E) e também por ser um processo mais vantajoso em função do rendimento de extração de óleo de palma (ARRUDA, 2004).

### **3.5 Materiais pastosos**

Estruturalmente, considera-se um material pastoso um sistema sólido-líquido constituído de partículas microscópicas ou coloidais dispersas em uma fase líquida. Suas propriedades dependem: do tamanho e da forma das partículas, concentração de sólidos e das interações partícula-partícula e partícula-líquido (PASSO et al., 1997).

Em virtude do grande número de variedade de pastas, torna-se difícil de distinguir tipos particulares de estruturas, no entanto, de acordo com o conteúdo de sólidos Strumillo e Kudra (1986) classificam os materiais pastosos em quatro grupos: suspensão ou lama bombeável, soluções ou emulsões, pasta dura e pasta fofa.

Quando submetida a determinado processo térmico, o material pastoso sofre modificações em suas propriedades físicas. O material passa do estado elastoplástico, em que responde a uma força aplicada cedendo ou alongando a um elastofrágil, em que se quebra facilmente. Essa transição pode resultar em considerável aderência do material as paredes do equipamento, formando-se aglomerados que requererão maior tempo de secagem (STRUMILLO et al., 1983).

### **3.6 Equipamentos de secagem**

Em função do elevado número de variáveis envolvidas na caracterização da pasta, assim como, a grande variação granulométrica do produto final, não há um padrão de secador recomendado (FREIRE, 1992). Estes fatores justificam a realização de uma investigação independente para cada material a ser processado. A Tabela 6 apresenta uma relação de diferentes tipos de secadores, para diversos materiais pastosos e a classificação do produto final da operação de secagem, quanto sua característica física.

**Tabela 6.** Secadores de materiais pastosos com as respectivas características físicas do produto final.

<b>Pasta</b>	<b>Secador</b>	<b>Produto Final</b>
Soluções e Emulsões	Tambor	Pós Aglomerados
	<i>Spray</i> com granulador	Grânulos
	Rotativo	Pós Granulados Grosseiros
	<i>Spray</i>	Pós Granulados Grosseiros
	Jorro	Pós Finamente Dispersos
Pasta Dura	Bandeja	Pós Aglomerados
	Esteira	
	Rotativo	
Pasta (a)	Esteira	Pós Aglomerados
	Fluidizado	Grânulos
	Pneumático Jorro	Pós Granulados Grosseiros
Pasta Folhas/Lodos (b)	Bandeja; Tambor	Pós Aglomerados
	Rotativo	Pós Granulados Grosseiros
	<i>Spray</i> ; Fluidizado; Jorro	Pós Granulados Grosseiros Pós Finamente Dispersos
Suspensões ou Lamas Bombeáveis (c)	Tambor	Pós Aglomerados
	Rotativo	Pós Granulados Grosseiros
	<i>Spray</i> ; Jorro	Pós Granulados Grosseiros Pós Finamente Dispersos
	<i>Spray</i> com granulador	Grânulos

(a) Pasta com composição entre duras e fofas/lodos;

(b) Pastas duras com alteração estrutural;

(c) Pastas derivadas das fofas/lodos por liquefação.

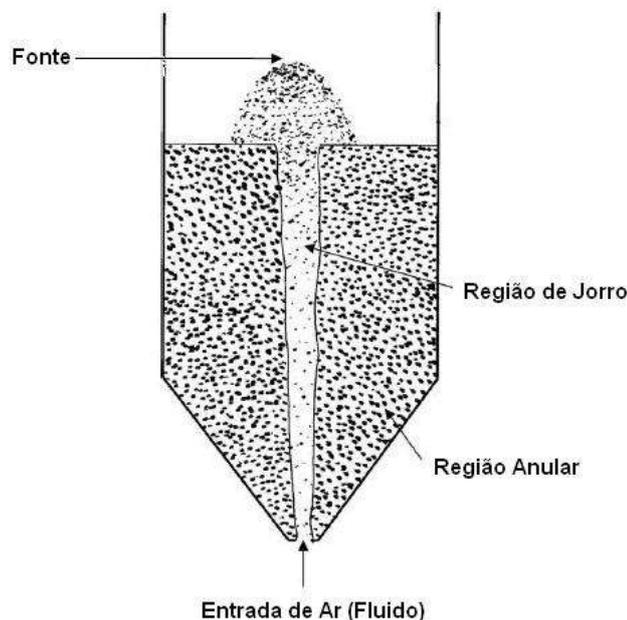
Fonte: MATHUR; EPSTEIN, 1974.

### 3.7 Leito de jorro

O leito de jorro foi projetado originalmente para o processamento de partículas cujos tamanhos impossibilitariam a fluidização no leito fluidizado convencional, necessitando, portanto, altas velocidades de entrada do gás.

A primeira utilização desta técnica foi na secagem de trigo por GISHLER e MATHUR (1954) no “National Research Council” no Canadá.

O leito de jorro, na forma em que foi concebido, é conhecido como leito de jorro convencional (LJC), como mostra a Figura 12. Consta basicamente de uma coluna cilíndrica de base tronco-cônica onde o fluido, no caso o ar quente, é injetado centralmente na base ou na parte superior da coluna contendo as partículas, a uma dada vazão característica do sistema fluido - partícula. Quando o fluido atinge uma vazão suficientemente alta, ele aflora no leito provocando um movimento ascendente das partículas. Estas após atingirem uma determinada altura caem em uma região denominada de anular (MATHUR; EPSTEIN, 1974).



**Figura 12.** Diagrama esquemático do leito de jorro convencional (CUI; GRACE, 2008).

Formam no interior do leito, duas regiões distintas: a de jorro, caracterizada como uma fase diluída de sólidos ( $0,50 < \epsilon_j < 0,80$ ), com o movimento ascendente das partículas em co-corrente com o fluido (transporte pneumático); e a região anular, caracterizada como uma fase densa de sólidos ( $\epsilon_a = \epsilon_{mf}$ ), com o

movimento descendente das partículas em contra corrente com o fluido (transporte com o leito deslizante). Embora às partículas possam voltar ao jorro ao longo da interface jorro-anular, a maior parte retorna pela região inferior da base tronco-cônica (MATHUR; EPSTEIN, 1974).

Na Figura 12 pode-se observar não só o fenômeno característico do leito de jorro em provocar uma circulação de partículas, como também as três regiões distintas, que são:

- Região de jorro (ou central), onde as partículas são arrastadas pelo ar e apresentam um movimento característico de transporte pneumático;
- Fonte, onde as partículas oriundas da região de jorro desaceleram e caem na região anular;
- Região anular, onde as partículas apresentam um movimento descendente, comportando-se como um leito deslizante.

Esse regime de jorro, levando a um movimento cíclico e razoavelmente ordenado das partículas, resulta em alto grau de contato fluido - partícula e altas taxas de circulação de sólidos, tornando possível a operação de secagem à temperatura do gás superior aquelas verificadas em um leito fluidizado convencional. Aplicam-se, assim à secagem de materiais termicamente sensíveis, como sementes de trigo e ervilha, extratos vegetais farmacológicos, no recobrimento de comprimidos, na extração mecânica de corantes naturais de sementes de urucum (GUIMARÃES et al., 1989; HOVMAND, 1987; ROCHA, 1992; RÉ; FREIRE, 1987).

Embora a técnica do leito de jorro seja eficiente para processos envolvendo partículas grandes ( $d_p > 1$  mm), existem sérias limitações quanto à geometria e dimensões da coluna em relação à formação e estabilidade do jorro. Em leitos de jorro convencionais o diâmetro da coluna não deve exceder a um metro e a altura do leito de partículas não pode ultrapassar a altura máxima permitida para a formação de jorro estável (RODRIGUES, 2000).

Algumas das limitações da utilização do leito de jorro convencional foram relacionadas por MUNJUDAR (1989): elevada perda de carga antes de se atingir a formação do jorro, limites nas dimensões geométricas do leito para uma operação eficiente, fluxo de ar definido mais por razões de estabilidade do leito do que pela necessidade de transferência de calor e de massa, faixa de operação limitada, capacidade reduzida por unidade de área, devido aos limites no diâmetro da coluna, máxima altura do leito e a dificuldades no “scale up” (RODRIGUES, 2000).

Como forma de minimizar estas limitações do leito de jorro convencional, algumas modificações na configuração do leito foram desenvolvidas, a fim de se atender as necessidades do processo (PASSOS et al., 1997). Dentre estas, ressaltase a do leito de jorro cônico, bastante estudada e utilizada em países do leste europeu.

A principal vantagem do uso do leito de jorro cônico sobre a do leito convencional é de não apresentar limitações críticas quanto à altura máxima para o leito de partículas, que possa conduzir a uma operação estável (OLAZAR et al., 1992). A queda de pressão no mínimo jorro é também menor nesta geometria. No entanto, serias instabilidades na formação do jorro podem ocorrer devido ao dimensionamento do diâmetro do injetor (MASSARANI et al., 1992).

Do ponto de vista da fluidodinâmica, os principais parâmetros relacionados ao projeto de leito de jorro, são: a velocidade de jorro mínima ( $U_{g,jm}$ ); a queda de pressão máxima ( $\Delta P_m$ ); a queda de pressão de jorro estável ( $\Delta P_{je}$ ); e a altura máxima de jorro estável ( $H_m$ ). Além desses parâmetros, visando-se um melhor entendimento dos diversos fenômenos de transferência envolvidos na operação, é conveniente conhecer a distribuição de velocidade do gás no leito e de porosidade; as dimensões das regiões do leito, além da velocidade e taxa de circulação dos sólidos (RODRIGUES, 2000).

### **3.8 Secagem em leito de jorro**

A secagem de pastas e suspensões em leito de jorro tem sido realizada de maneira bem diversificada. Dentre os tipos de materiais utilizados são citados na literatura, materiais de caráter orgânico, inorgânico e biológico. Os primeiros estudos sobre a aplicação do leito de jorro para este tipo de material, foram realizados na URSS, por REGER et al. (1967), na secagem de tintas e lacas, soluções salinas e de açúcar. Posteriormente surgiu a secagem de sangue animal com a finalidade de se obter suplementos alimentícios ricos em ferro (RÉ; FREIRE, 1986).

Destas publicações conclui-se que a secagem em leito de jorro é uma alternativa barata em comparação com a secagem em secador do tipo *Spray Dryer*. O leito de jorro tem maior capacidade volumétrica de processamento por unidade de área ocupada.

Outro fator positivo da utilização do leito de jorro na secagem de pasta é a sua eficácia na desidratação de produtos termicamente sensíveis, como as suspensões de proteínas com baixa viscosidade e elevado teor de gordura (PASSOS et al., 1997). Na Tabela 7 encontram-se outras aplicações, investigadas principalmente em nível de laboratório nas quais se analisou tanto a umidade quanto a qualidade dos respectivos produtos.

**Tabela 7.** Características dos leitos utilizados na secagem de pasta.

Configuração do Leito de Jorro	Partículas Inertes	Material Pastoso	Qualidade do Produto em Pó	Análise do Produto em Pó	Ref.
* LJCC: $0,14 \leq d_c \leq 0,30$ $d_c/d_i = 6$ $\theta = 60^\circ$ Aplicação da suspensão no topo do leito.	* Polietileno: $d_p = 3,9\text{mm}$ $\Phi \leq 1$ $\rho_s = 820\text{kg/m}^3$ $0,3\text{kg} \leq M \leq 6\text{kg}$	* Sangue Animal: $0,06 \leq W/M \leq 1,2/h$ $c_s = 0,16$	* Similar ao produto obtido em spray dryer.	Organoléptica, Proteína, Umidade, Solubilidade, Densidade, Granulométrica.	RÉ e FREIRE (1986)
* LJCC: $d_c = 0,297\text{m}$ $d_c/d_i = 6$ $\theta = 60^\circ$ Aplicação da suspensão no topo do leito.	* Polietileno: $d_p = 3,16 - 3,26\text{mm}$ $\Phi = 0,82 - 0,86$ $\rho_s = 1011 - 1045\text{kg/m}^3$ $1,1\text{kg} \leq M \leq 7,5\text{kg}$	* Polpa de Umbú: $0,04 \leq W/M \leq 0,31/h$ $0,076 \leq c_s \leq 0,206$	* Apta para o preparo de suco.	Umidade, Teor de Vitamina C.	LIMA (1992)
* LJC: $d_c = 0,60\text{m}$ $d_c/d_i = 16,67$ $\theta = 60^\circ$ Aplicação da suspensão no topo do leito.	* Polietileno: $d_p = 3,54\text{mm}$ $\Phi = 0,74$ $\rho_s = 1000\text{kg/m}^3$ $6\text{kg} \leq M \leq 10\text{kg}$	* Leite Desnatado: $0,15 \leq W/M \leq 1,44/h$ $0,05 \leq c_s \leq 0,09$	* As Propriedades físicas são similares as de produtos comerciais.	Umidade, Distribuição Granulométrica, Cor.	SOUZA JR. (1996)

O processo de secagem ocorre quando a pasta ou suspensão que foi injetada no leito recobre as partículas inertes que preenchem o leito, e é seca pelo ar quente que entra em contato com as partículas. A alimentação da suspensão pode ser feita na base do leito (entrada de ar) ou acima da região anular e de jorro, através de injetores (FREIRE, 1992).

As partículas inertes, em contato com a alimentação são recobertas por uma fina película de suspensão. A evaporação da água nesta película ocorre à medida que os inertes circulam no interior do leito. Ao passar do estado elastoplástico para elastofrágil a película da suspensão torna-se frágil e friável em razão das colisões entre as partículas, favorecendo a abrasão da partícula seca e a elutriação dos finos. O pó formado é arrastado pela corrente de ar e separado em ciclones ou sistemas de filtro (PASSOS et al., 1997). As partículas de inerte, livres do produto, recirculam no leito, sendo novamente recobertas pela suspensão.

Segundo Mathur e Epstein (1974), o processo cíclico de deposição, secagem e quebra das partículas e a elutriação dos finos, ocorrem continuamente sempre que a temperatura do leito, para um dado fluxo de alimentação, seja mantida suficientemente elevada para que a proporção de partículas úmidas e pegajosas no leito, em condições estacionárias, seja pequena e o movimento do leito de partículas não seja posto em perigo pela aglomeração das partículas úmidas. A taxa de remoção do filme costuma ser o fator limitante em quase todos os sistemas. A principal desvantagem do leito de jorro é a dificuldade de um estabelecimento de regime fluidodinâmico estável em grande escala.

### **3.9 Secagem em leito de jorro com corpos inertes**

Na secagem em leito de jorro com corpos inertes, como mencionado anteriormente, o material úmido é pulverizado sobre as partículas inertes, cobrindo-lhes a superfície com uma película de suspensão. Os corpos inertes devem ser resistentes a altas temperaturas e ao atrito, de modo a manter a sua forma geométrica e suas dimensões, evitando alterações na dinâmica do leito durante o processo e de modo a não contaminar o produto seco (STRUMILLO; KUDRA, 1986). O material do inerte não pode ser poroso nem reativo com a suspensão.

O movimento de recirculação das partículas inertes no leito de jorro atua como agente de desagregação e distribuição do material que esta sendo seco, principalmente no caso de suspensões relativamente viscosas, materiais pastosos de alta umidade e eventualmente aderentes, além de participar da transferência de calor (PALLAI-VARSÁNYI; PÉTER-HORÁNYI, 1984). Os corpos inertes podem ser partículas de PVC, resina acrílica, polietileno, teflon, polipropileno e esfera de vidro.

Na secagem em leito de jorro com corpos inertes, segundo Morris e Freire (1990), a cinética do processo de secagem pode ser dividida em duas fases: cinética da secagem do material e a cinética de fricção. E de acordo com as propriedades do material a taxa global é uma combinação das duas cinéticas. Quando a influência relativa ao atrito é menor que a da secagem, isto é, a taxa de evaporação da umidade não é o fator de controle, o leito de material úmido causará um abrupto crescimento na taxa de aglomeração e formação de grânulos, os quais provocaram o aparecimento de blocos no leito (STRUMILLO et al., 1983).

A remoção continua do material que recobre os inertes requer que eles sejam secos a um nível de umidade tal, que se torne fácil à redução a pó (BARRETTE; FANE, 1990). A quantificação do processo como um todo, incluindo a secagem e o atrito, para um secador com leito fluidizado foi sugerida através da Equação 1, adimensional (REGER et al., 1967).

$$Nu = (-0,062k_e + 0,17) * Ar^{-0,438} * Re^2 * Gu^{0,61} * \left(\frac{d_p}{H_0}\right) \quad (1)$$

$$(0,5 < Nu < 9,8; 0,62 < k_e < 2,22; 10^6 < Ar < 5.10^6; 879 < Re < 1820; 0,1755 < Gu < 0)$$

Para o leito de jorro com inertes foi proposta a Equação (2), para o cálculo da umidade final do produto (STRUMILLO; KUDRA, 1983).

$$X_2 = X_1 * \left[1 - \frac{(1 - e^{-\eta})}{\eta}\right] \quad (2)$$

Onde:

$$\eta = \frac{d_p * \rho' * X_1 * \Delta h_v * m'_1}{6h * (T_{sa} - T_{2m}) * m'_2 * (1 + X_1)} \quad (3)$$

O parâmetro que mais influencia a umidade do produto é a temperatura de saída do agente secante, não havendo efeito prático significativo na temperatura de entrada (PASSOS et al., 1997).

Schneider e Bridgwater (1989) estudando o efeito da temperatura de saída do ar de secagem em operação de regime de batelada, para diversos tipos de inertes e material úmido, em leito de jorro, verificaram a predominância da operação à taxa de secagem constante. A temperatura de ar, após a alimentação, diminui até a temperatura de saturação adiabática, e aí permanece durante quase todo o processo de secagem, elevando-se repentinamente quando o leito se torna seco. Os mesmos autores constataram que a realimentação de material úmido, antes da remoção do produto seco da batelada anterior, levava a desestabilização e ao rompimento do regime de jorro.

Na operação de regime permanente também ocorre aglomeração no leito quando a taxa de alimentação do material ultrapassa determinado valor (STRUMILLO; KUDRA, 1986). A operação estável pode ser atingida se a taxa de alimentação for menor ou igual à taxa de remoção do filme seco sobre os inertes (MARKOWSKI, 1992).

O recobrimento dos inertes antes mesmo da remoção do filme de material seco com o aumento da taxa de alimentação, que impossibilita o estabelecimento do regime permanente, pode ser minimizado com o aumento da taxa mássica do ar de secagem, pois incrementa a energia de circulação, colisão dos inertes além do aumento da eficiência de troca térmica e de massa (SPTIZNE; FREIRE, 1996).

Outro efeito bastante importante e que influencia no processo de secagem em leito de jorro com partículas inertes é o da força de coesão existente entre as partículas devido à presença da pasta no leito e as forças de tensão causada pela viscosidade da pasta (SPTIZNE; FREIRE, 1996). Estas forças estão relacionadas ao filme líquido que se fixa na superfície da partícula inerte, gerando pontos de contato entre as partículas. Isto ocorre quando a pasta é injetada no leito e as partículas são recobertas por ela, havendo o aparecimento de pontes líquidas entre as partículas (PASSOS et al., 1997). As pontes líquidas promovem um grande aumento nas forças de adesão intra-particular, aumentando a aglomeração entre elas. Sptizne e Freire (1996) estudando a presença de pasta no leito de jorro com inertes verificaram que, à medida que as partículas recobertas pela pasta circulam pelo leito a água é evaporada, aumentando a concentração de sólidos na pasta, ocorrendo à substituição de pontes líquidas por pontes sólidas.

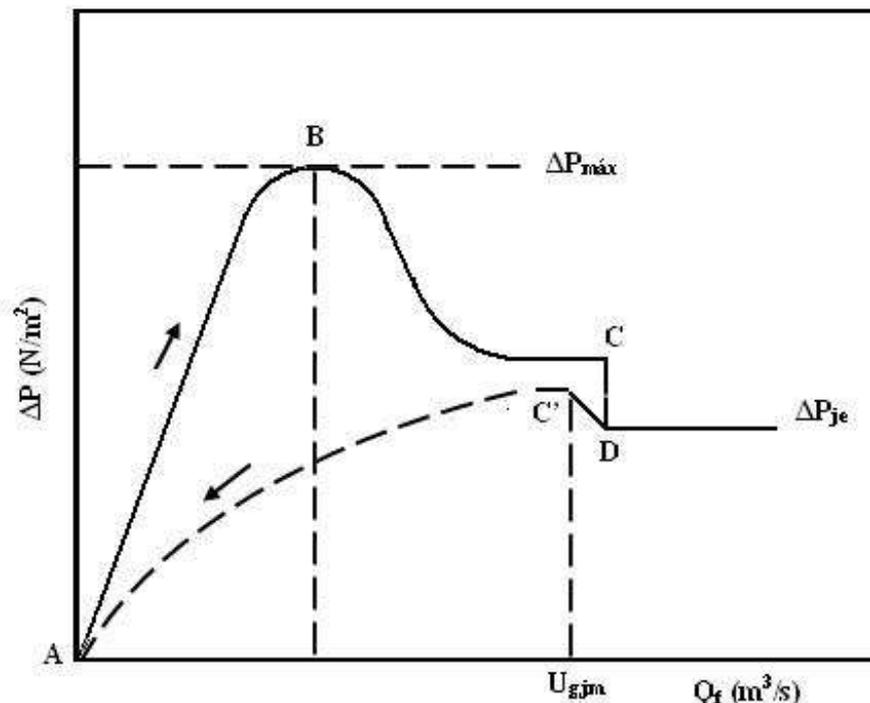
As pontes sólidas são mais fortes que as líquidas, portanto o aparecimento destas pontes aumenta ainda mais a aglomeração das partículas. A

aglomeração desestabiliza a circulação e o jorro das partículas, havendo a necessidade de uma maior vazão de ar para mantê-los (SPTIZNE; FREIRE, 1996).

Em um leito de jorro com partículas inertes, a transferência de calor necessária para a evaporação da água livre da suspensão, pode ocorrer de duas formas. Pode ser pelo contato direto gás quente-suspensão ou pelo contato indireto, onde o gás transfere calor para as partículas de inertes, que por sua vez transfere este calor para a suspensão. O contato direto ocorre predominantemente na região de jorro, enquanto que o contato indireto se dá predominantemente na região anular (PASSOS et al., 1997). A predominância de um destes mecanismos de transferência de calor depende de fatores tais como: taxa de alimentação e local de injeção da suspensão, aeração da região anular, propriedades do sistema fluido-sólido e geometria do secador.

### 3.10 Fluidodinâmica do processo

Antes de ser atingido o movimento cíclico e permanente das partículas, algumas etapas ocorrem no leito. Estas etapas podem ser observadas através da curva característica da queda de pressão em função da vazão de ar, indicada pela Figura 13.



**Figura 13.** Curva característica de um leito de jorro (OLIVEIRA, 1992).

Os pontos de interesse desta curva são: a velocidade de jorro mínimo ( $U_{g,jm}$ ), a queda de pressão máxima ( $\Delta P_m$ ), a queda de pressão de jorro estável ( $\Delta P_{je}$ ), pois, a partir destas informações, determina-se a menor vazão do fluido que proporcione o fenômeno de jorro, a potência máxima fornecida pelo soprador e a potência consumida na operação (RODRIGUES, 2000).

### 3.10.1 Queda de pressão máxima e queda de pressão de jorro estável

A queda de pressão é uma variável importante a ser analisada em leito de jorro. Tanto o máximo de queda de pressão, quanto à queda de pressão obtida no mínimo jorro agregam interesse prático no projeto, operação e nos estudos de modelagem e simulação de leito de jorro (FREIRE, 1992).

O processo inicia no ponto A da Figura 13, onde o soprador é acionado e a válvula de controle da vazão de ar é aberta. Após certa vazão de ar, inicia-se a perda de carga no leito, que aumenta até certo ponto, conhecido como a perda de carga máxima do leito ( $\Delta P_m$ ) (ponto B da Figura 13). Sua ocorrência pode ser atribuída à energia requerida pelo fluido para romper o leito compacto e formar um jorro interno na parte inferior do leito. A partir deste ponto a diferença de pressão começa a diminuir atingindo o ponto C da Figura 13 (ponto de jorro mínimo), e posteriormente atingir a estabilidade no ponto D (variação de pressão para o jorro estável do leito) (RODRIGUES, 2000).

A literatura oferece uma série de equações na sua maioria empíricas, para as diferentes configurações do leito de jorro, com as quais é possível fazer a estimativa dos valores da queda de pressão máxima ( $\Delta P_m$ ) e queda de pressão de jorro estável ( $\Delta P_{je}$ ). A Tabela 8 e a Tabela 9 resumem informações disponíveis para o leito de jorro cônico, indicando as faixas das variáveis pertinentes a estas quedas de pressão.

**Tabela 8.** Correlações para queda de pressão máxima.

Correlação	Referência
$\frac{\Delta P_m}{\rho_b * g * H_0} = 1 + 0,062 * \left[ \left( \frac{d_b}{d_i} \right)^{2,54} \right] * \left( \frac{d_b}{d_i} - 1 \right) * \left\{ \left[ \operatorname{tg} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]^{-0,18} \right\} \quad (4)$ <p><math>d_b = d_i + 2.H_0.\operatorname{tg}(\theta/2)</math>; <math>\rho_b = (\rho_p - \rho_g).(1 - \varepsilon_0)</math>  <math>d_i = 5,0\text{cm}</math>; <math>H_0 = 10 - 25\text{cm}</math>; <math>\theta = 10 - 60^\circ</math>; <math>d_p = 0,16 - 0,28\text{mm}</math>.  Material: Quartzo.</p>	GELPERIN et al. (1961)
$\frac{\Delta P_m}{\Delta P_{je}} = 1 + 6,65 * \left[ \left( \frac{H_0}{d_i} \right)^{1,2} \right] * \left\{ \left[ \operatorname{tg} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]^{0,50} \right\} * (Ar^{0,2}) \quad (5)$ <p><math>d_i = 1,03 - 1,29\text{cm}</math>; <math>H_0 = 3 - 15\text{cm}</math>; <math>\theta = 10 - 60^\circ</math>; <math>d_p = 0,5 - 2,5\text{mm}</math>  Material: Quartzo, areia, painço e silicato de alumínio.</p>	MUKHLENOV; GROSHTEIN (1965)
$\frac{\Delta P_m}{\rho_b * g * H_0} = 1 + 0,055 * \left\{ \left[ \left( \frac{H_0}{d_i} \right)^{2,54} \right] - \left[ 0,018 * \left( \frac{d_b}{d_i} \right) \right] \right\} \quad (6)$ <p><math>d_i = 2,5 - 3,8\text{cm}</math>; <math>\theta = 60^\circ</math>; <math>\Phi = 0,64 - 0,87</math>; <math>\rho_p = 0,87 - 1,24\text{g/cm}^3</math>.  Material: Resina ABS-Y, polipropileno, painço, alpiste e sorgo.</p>	SAMPAIO et al. (1984)
$\frac{\Delta P_m}{\Delta P_{je}} = 1 + 0,166 * \left[ \left( \frac{H_0}{d_i} \right)^{1,80} \right] * \left\{ \left[ \operatorname{tg} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]^{-0,80} \right\} * (Ar^{0,0125}) \quad (7)$ <p><math>d_i = 1,5 - 15\text{cm}</math>; <math>d_c = 8,8 - 90\text{cm}</math>; <math>\theta = 30 - 60^\circ</math>; <math>d_p = 2,16 - 6,17\text{mm}</math>.  Material: Esfera de vidro, polibutadieno, poliestireno, ervilha e arroz.</p>	OLAZAR et al. (1994)
$\Delta P_m = H_0 * \rho_b * g \quad (8)$ <p><math>d_c = 10 - 30\text{cm}</math>; <math>H_0/d_c &gt; 1</math></p>	PALLAI; NEMETH (1969)
$\frac{\Delta P_m}{\rho_b * g * H_0} = 1 + 6,65 * (Ar^{-0,2}) * \left[ \left( \frac{H_0}{d_i} \right)^{1,2} \right] * \left\{ \left[ \operatorname{tg} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]^{0,5} \right\} \quad (9)$	MARKOWSKI; KAMINSKI (1983)

Fonte: MATHUR e EPSTEIN, 1974.

**Tabela 9.** Correlações para queda de pressão no jorro estável.

Correlação	Referência
$\frac{\Delta P_{je}}{\rho_b * g * H_0} = \frac{7,68 * \left[ \operatorname{tg} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]^{0,2}}{\left( Re_{jm,i}^{0,2} \right) * \left[ \left( \frac{H_0}{d_i} \right)^{0,33} \right]} \quad (10)$ <p> <math>d_i = 1,03-1,29\text{cm}; H_0 = 3-15\text{cm}; \theta = 10-60^\circ; d_p = 0,5-2,5\text{mm};</math>  <math>\rho_p = 0,98 - 2,36\text{g/cm}^3.</math>  Material: Quartzo, areia, painço e silicato de alumínio. </p>	MUKHLENOV; GROSHEIN (1965)
$\frac{\Delta P_{je}}{\rho_b * g * H_0} = 1 + 0,055 * \left\{ \left[ \left( \frac{H_0}{d_i} \right)^{2,54} \right] - \left[ 0,018 * \left( \frac{d_b}{d_i} \right) \right] \right\} \quad (11)$ <p> <math>d_i = 2,5-3,8\text{cm}; \theta = 60^\circ; \Phi = 0,64-0,87; \rho_p = 0,87-1,24\text{g/cm}^3;</math>  <math>\rho_b = 0,52-0,76\text{g/cm}^3.</math>  Material: Resina ABS-Y, polipropileno, painço, alpiste e sorgo. </p>	SAMPAIO et al. (1984)
$\frac{\Delta P_{je}}{\rho_b * g * H_0} = 0,04 * \left[ \left( \frac{H_0}{d_i} \right)^{1,10} \right] * \left( Re_{jm,i}^{0,20} \right) * \left\{ \left[ \operatorname{tg} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]^{-0,11} \right\} * \left( Ar^{0,0125} \right) \quad (12)$ <p> <math>d_i = 1,5-15\text{cm}; d_c = 8,8-90\text{cm}; \theta = 30-60^\circ; d_p = 2,16-6,17\text{mm};</math>  <math>\rho_s = 0,845-2,986\text{g/cm}^3.</math>  Material: Esfera de vidro, polibutadieno, poliestireno, ervilha e arroz. </p>	OLAZAR et al. (1994)
$\frac{\Delta P_{je}}{\Delta P_m} = 0,8 - \left[ 0,01 * \left( \frac{d_c}{d_i} \right) \right] \quad (13)$ <p> <math>d_c = 15,2 - 61\text{cm}.</math> </p>	PALLAI; NÉMETH (1969)

Fonte: MATHUR e EPSTEIN, 1974.

### 3.10.2 Velocidade de jorro mínimo

É a velocidade superficial do fluido na qual o jorro ainda existe e é obtida da curva característica dos leitos de jorro pelo decréscimo da vazão de fluido até um ponto em que uma leve diminuição ocasiona o colapso do jorro (ponto C' na Figura 13). Este importante parâmetro fluidodinâmico é fortemente dependente das propriedades físicas do fluido e das partículas, bem como da geometria do leito. Em leito de jorro convencional, para um dado material, a velocidade de jorro mínimo ( $U_{jm}$ ) aumenta com o aumento da altura do leito e com a diminuição do diâmetro do leito, sendo pouco sensível a variação no diâmetro do bocal de entrada (MATHUR; EPSTEIN, 1974).

Com respeito ao efeito da forma das partículas, cabe ressaltar que a velocidade de jorro mínimo ( $U_{jm}$ ), nos leitos constituídos por partículas esféricas é aproximadamente 60% maior do que em leitos de partículas não esféricas, de alturas equivalentes (PATEL et al., 1986). Algumas das correlações existentes na literatura, para estimativa da velocidade de jorro mínimo ( $U_{g, jm}$ ), para leitos cônicos, assim como as condições operacionais utilizadas no desenvolvimento das mesmas estão representadas na Tabela 10.

**Tabela 10.** Correlações para a velocidade de jorro mínimo.

Correlação	Referência
$Re_{jm} = 0,4 * Ar^{0,52} * \left[ \left( \frac{H_0}{d_i} \right)^{1,24} \right] * \left\{ \left[ tg \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]^{0,42} \right\} \quad (14)$ <p><math>d_i = 2,0 - 4,2\text{cm}</math>; <math>H_0 = 10 - 50\text{cm}</math>; <math>\theta = 20 - 50^\circ</math>; <math>d_p = 1,5 - 4,0\text{mm}</math>; <math>\rho_p = 1,65 - 1,7\text{g/cm}^3</math>. Material: Partículas de fertilizantes.</p>	TSVIK et al. (1967)
$Re_{jm} = 0,174 * Ar^{0,5} * \left[ \left( \frac{d_b}{d_i} \right)^{0,85} \right] * \left\{ \left[ tg \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]^{-1,23} \right\} \quad (15)$ <p><math>d_i = 1,0 - 1,3\text{cm}</math>; <math>H_0 = 3 - 15\text{cm}</math>; <math>\theta = 12 - 60^\circ</math>; <math>d_p = 0,5 - 2,5\text{mm}</math>; <math>\rho_p = 0,98 - 2,36\text{g/cm}^3</math>. Material: Quartzo, areia, painço e silicato de alumínio.</p>	GROSHTEIN; MUKHLENOV (1964)
$Re_{jm} = 0,174 * Ar^{0,5} * \left[ \left( \frac{d_b}{d_i} \right)^{0,85} \right] * \left\{ \left[ tg \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]^{-1,25} \right\} \quad (16)$ <p><math>d_i = 1,5 - 15\text{cm}</math>; <math>d_c = 8,8 - 90\text{cm}</math>; <math>\theta = 30 - 60^\circ</math>; <math>d_p = 2,16 - 6,17\text{mm}</math>; <math>\rho_s = 0,845 - 2,986\text{g/cm}^3</math>. Material: Esfera de vidro, polibutadieno, poliestireno, ervilha e arroz.</p>	OLAZAR et al. (1993)
$Re_{jm} = 0,126 * Ar^{0,5} * \left[ \left( \frac{d_b}{d_i} \right)^{1,68} \right] * \left\{ \left[ tg(\theta) \right]^{-0,57} \right\} \quad (17)$	SAN JOSE et al. (1996)
$Re_{jm} = 0,028 * Ar^{0,57} * \left[ \left( \frac{H_0}{d_i} \right)^{0,48} \right] * \left[ \left( \frac{d_c}{d_i} \right)^{1,27} \right] \quad (18)$	MARKOWSKI; KAMINSKI (1983)

Fonte: MATHUR e EPSTEIN, 1974.

Vale à pena ressaltar que existe uma grande discordância entre os valores obtidos a partir das correlações apresentadas nas Tabelas 8, 9 e 10. Assim sendo, é necessário realizar uma profunda análise das várias correlações existentes na literatura, bem como os dados experimentais publicados, visando-se obter uma correlação que forneça estimativas confiáveis.

### **3.11 Estabilidade do leito de jorro**

A operação estável de um leito de jorro é função de diversos parâmetros relacionados às propriedades físicas do material inerte, a carga de sólidos e a própria geometria da coluna, incluindo o diâmetro do orifício de entrada do gás (MATHUR; EPSTEIN, 1974).

No caso da secagem de pastas em leito de jorro, um critério adicional de estabilidade é a capacidade máxima de secagem, pois alimentações superiores provocam o colapso do jorro. De acordo com vários autores, a capacidade máxima de secagem, esta relacionada à temperatura e a umidade do gás na saída e também a umidade do produto.

Reger et al. (1967) comenta que um estrito controle de temperatura do ar na saída é fundamental para assegurar o êxito da operação. Caso esta temperatura seja inferior a um valor limite, o material tende a aglomerar dentro do equipamento cessando o jorro.

Phan (1983) verificou a formação de grumos de sangue úmido no interior do leito para elevados valores de umidade de saída do gás. Também trabalhando com sangue Ré e Freire (1986) definiram dois critérios para especificar a capacidade máxima de secagem:

- A vazão máxima de suspensão que pode ser injetada no secador sem ocasionar aderência de material inerte nas paredes do mesmo;
- A vazão máxima de suspensão que pode ser injetada no secador sem ocasionar o colapso do jorro.

Schneider e Bridgwater (1989), ao secar em diversas substâncias inorgânicas, notaram que umidades relativas do gás, na saída, superiores a 70 – 80% ocasionaram a perda de estabilidade no leito. Gubulin e Freire (1989) utilizaram como critério para especificar a capacidade máxima de secagem do sistema, em

ensaios de secagem de suspensões de carbonato de cálcio, a umidade de saída do gás de 95%.

Morris e Freire (1990) determinaram a capacidade máxima de evaporação de água através do colapso do leito. Reyes (1993) adotou como critério de capacidade máxima, durante operações de secagem de suspensões de  $Al(OH)_3$ , a vazão de suspensão na qual a umidade do produto fosse, em média, 12%. Em operações de água destilada, esse autor considerou como capacidade máxima, a vazão na qual a queda de pressão na região anular fosse 80% daquela medida nas mesmas condições sem alimentação de líquido no leito, o que, segundo o autor, garante uma qualidade mínima para o jorro.

Oliveira et al. (1994), realizando operações de secagem de sangue bovino com anticoagulante e água destilada, adotou três diferentes critérios para a determinação da vazão máxima, sendo:

- (1) A umidade de saída do ar atinge um valor próximo da saturação e/ou;
- (2) A instabilidade no leito e/ou;
- (3) A relação massa de água evaporada pela massa de água alimentada ( $f$ ) menor que 1,0 (no caso do sangue bovino,  $f < 0,98$ , o que, segundo os autores, corresponde a um produto com umidade em torno de 10%).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Insumos

#### 4.1.1 Matéria-Prima

Na elaboração da suspensão de Camarão-Rosa (*Farfantepenaeus brasiliensis*) foi utilizado o resíduo (cefalotórax) do processamento deste pescado de valor comercial para a região Norte. A escolha da matéria-prima se baseou na grande quantidade de resíduo gerado pelas indústrias do Estado do Pará, durante as operações de retirada das cascas e corte das cabeças do camarão. Estes resíduos foram obtidos junto à indústria processadora de pescado Amasa S/A, sob a forma de blocos congelados, transportados para o laboratório de Carne e Pescado da Faculdade de Engenharia de Alimentos - FEA da Universidade Federal do Pará e armazenados em freezer a -20°C para posterior processamento e secagem.

#### 4.1.2 Padrão de Astaxantina

Para a determinação do teor de carotenóides com base em Astaxantina presente na pasta, utilizou-se um padrão deste carotenóide com um grau de pureza superior a 92% (SIGMA – A9335, CAS. 472-61-7) comprado junto a Sigma, para construção da curva de calibração do padrão em oleína de palma, com a intenção de se determinar a máxima absorvância ( $\lambda_{Max}$ ), onde foram realizadas as leituras das concentrações em oleína do carotenóide em estudo.

#### 4.1.3 Oleína de palma refinada

Neste estudo, o óleo utilizado será o de palma, através da utilização da fração líquida em temperatura ambiente, a oleína, nos processos de extração do carotenóide presente no resíduo de camarão-rosa, processado em indústrias pesqueiras da capital do Estado do Pará, pois o estado possui um elevado potencial de produção deste óleo sendo o principal produtor do país.

A oleína de palma refinada (POO-RBD) utilizada na extração do carotenóide presente na amostra seca foi cedida pela empresa Agropalma S/A, em embalagens pet de 1L, mantendo-se estocadas em local seco até o momento de sua utilização.

#### **4.1.4 Partículas de polipropileno**

Durante os experimentos de desidratação da suspensão de pescado foi utilizado como material inerte para preenchimento do leito estático, esferas de polipropileno da empresa Braskem, com diâmetro médio de  $3,6 \cdot 10^{-3} \text{m}$ , esfericidade de 0,85 e densidade de  $905 \text{kg/m}^3$ .

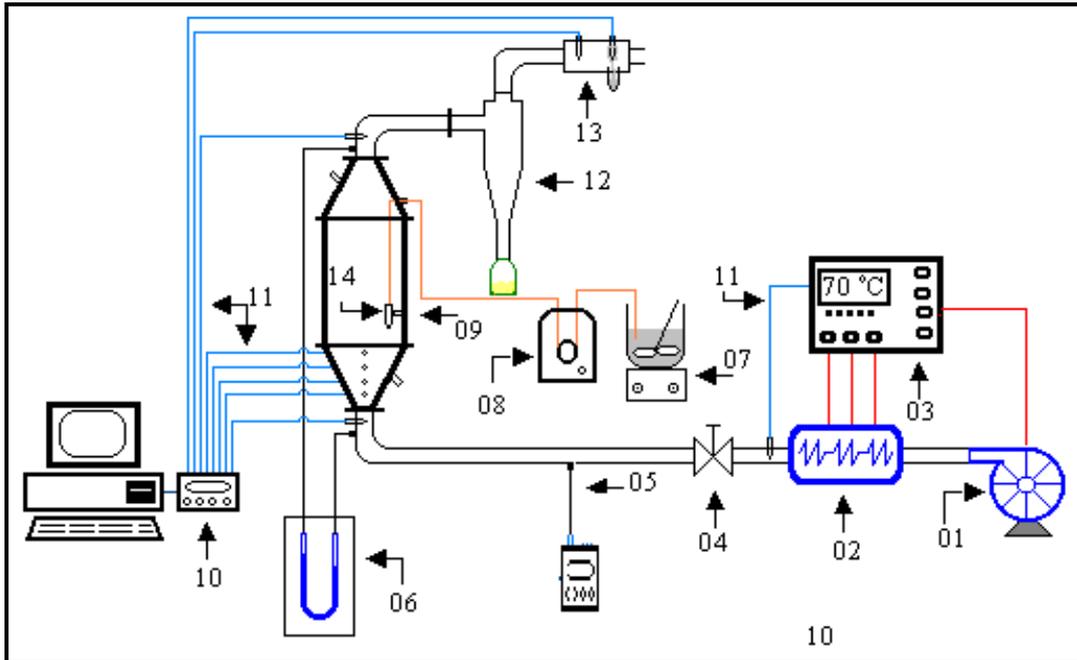
#### **4.1.5 Reagentes analíticos**

Nas determinações químicas, foram utilizados reagentes de grau analítico, de acordo com as especificações requeridas pelas metodologias aplicadas, tais como:

- Ácido Bórico: Solução a 4% (Proteínas);
- Ácido Sulfúrico p.a.: Concentrado a 98% (Proteínas);
- Hidróxido de Sódio em Lentilhas: Solução de hidróxido de sódio a 50% (Proteínas);
- Indicador Misto de vermelho de metila e verde de bromocresol (Proteínas);
- Ácido Clorídrico a 37% p.a.: Solução padrão de ácido clorídrico 0,1N (Proteínas).

#### **4.2 Instalação experimental (Câmara de Secagem)**

O processo de secagem foi realizado em um secador tipo leito de jorro cônico, construído e instalado no Laboratório de Engenharia Química (LEQ), Faculdade de Engenharia de Alimentos do Instituto de Tecnologia na Universidade Federal do Pará (FEA-ITEC-UFPa), de acordo com a Figura 14.



**Figura 14.** Representação do sistema experimental.

Na Figura 14 os algarismos representam o seguinte: Soprador de ar (01); Aquecedor elétrico (02); Controlador de corrente elétrica (03); Válvula gaveta (04), Ponto de tomada da velocidade do ar (05); Manômetro (06); Agitador (07); Bomba peristáltica (08); Leito de jorro (09); Unidade de monitoramento e aquisição de dados (10), Termopar (11); Ciclone (12); Psicrômetro (13) e Bico ejetor (14).

O secador consiste em uma base cônica em aço inoxidável, com ângulo incluso de  $60^\circ$ , diâmetro do orifício de entrada de  $0,05\text{m}$  e diâmetro superior de  $0,20\text{m}$ . Acoplado à base cônica está um corpo cilíndrico de vidro com  $0,005\text{m}$  de espessura,  $0,20\text{m}$  de diâmetro e  $0,30\text{m}$  de altura. A parte superior do secador é composta por outro cone em aço inoxidável com ângulo de  $45^\circ$ , dotada de um orifício, por onde é introduzida a mangueira de injeção da suspensão, posicionada, aproximadamente,  $0,10\text{m}$  acima da superfície do leito estático de partículas. Na entrada da base cônica inferior, uma tela de aço foi colocada para sustentar e evitar a queda das partículas inertes em repouso. As tomadas de pressão estão localizadas na base cônica inferior e superior, enquanto que as tomadas de temperaturas estão localizadas na tubulação de entrada do secador e na saída do ciclone de coleta do material seco, sendo as tomadas de temperatura após o ciclone em base seca e úmida.

Fazem parte do secador tipo leito de jorro os seguintes equipamentos periféricos:

- Soprador centrífugo de marca IBRAN, acionado por um compressor radial trifásico de marca WEQ, modelo é CR-8, com potência de 7,4HP;
- Aquecedor elétrico composto de um conjunto de resistências de cerâmica refratária, no formato cônico, com entrada de 0 a 220V, dispostas em série, em uma caixa de compensado. A resistência é ligada a um indicador e a um controlador de temperatura, modelo CWM-25 da marca WEQ. Este controlador permite o ajuste da potência dissipada pela resistência e conseqüentemente o ajuste fino da temperatura do ar através de um termopar tipo T (cobre/constantan), localizado na saída do sistema de aquecimento;
- Um bico injetor ligado através de uma mangueira de silicone (temperatura tolerável de 62°C a 260°C e diâmetro interno de 0,004m), a uma bomba peristáltica de marca MILAN, modelo BP-200, que bombeia a suspensão para o interior do leito de jorro. Para a manutenção da homogeneidade da suspensão é utilizado um agitador mecânico da marca FISOTOM, modelo 712, com capacidade de agitação de 6L e faixa de rotação de 110 a 2000rpm;
- Um ciclone confeccionado em aço inoxidável para recolher o produto seco.

Para linha de transporte do ar foi utilizado um tubo de aço galvanizado com 0,05m de diâmetro, revestido por uma camada de material isolante, como revestimento térmico. O sistema possui uma válvula gaveta de 0,05m, com corpo de bronze, para o controle da vazão de ar do sistema.

No preparo da suspensão de pescado, realizou-se a redução de tamanho dos resíduos de camarão-rosa em processador de alimentos e posteriormente em liquidificador, para redução do material a um tamanho que evitasse o entupimento da mangueira de injeção da suspensão no leito.

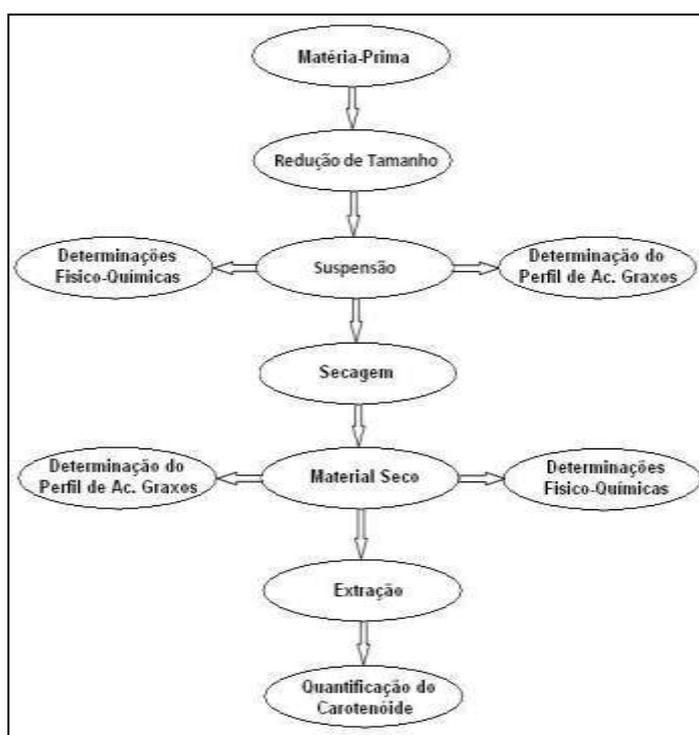
Além de vidrarias e aparelhos comuns, foram utilizados para as determinações físicas e químicas, teor de carotenóide em base de Astaxantina e determinação do perfil de ácidos graxos, os seguintes equipamentos:

- Balança analítica da marca GEHAKA, modelo AG 200, com capacidade máxima de 210g;
- Balança analítica da marca QUIMS, modelo Q-500L210C, com capacidade máxima de 210g;
- Balança semi-analítica da marca GEHAKA, modelo BG 4000, com capacidade máxima de 4000g;

- Digestor e destilador de proteínas Micro-Kjedahl da marca MARCONI, modelo MA-036;
- Estufa para secagem de marca QUIMIS, modelo Q-314M122 (0 - 300°C);
- Centrífuga refrigerada de marca FANEM, modelo EXCELSA 4 280R;
- Espectrofotômetro de marca PHARMACIA BIOTECH, modelo ULTROSPEC 2000;
- Banho termostático de marca THERMO HAAKE, modelo B3, com um controlador de temperatura de marca THERMO HAAKE, modelo C10;
- Agitador magnético de marca FISATOM e modelo 752A;
- Banho ultrassônico de marca UNIQUE e modelo UltraCleaner 1400;
- Cromatógrafo a gás VARIAN modelo 3380, equipado com um detector de ionização por chama, um injetor do tipo SPLIT e uma coluna capilar de sílica fundida CP-SIL 88 (60m x 0,25mm x 0,25µm).

### 4.3 Métodos experimentais

O desenvolvimento experimental deste trabalho foi realizado de acordo com o descrito nas etapas apresentadas no fluxograma da Figura 15:



**Figura 15.** Fluxograma do desenvolvimento experimental do trabalho.

### 4.3.1 Preparo da pasta

No Laboratório da FEA, localizado na Universidade Federal do Pará, foi realizado o preparo da suspensão de pescado, onde os resíduos foram descongelados a temperatura ambiente até o momento em que se pudesse realizar a redução de tamanho da matéria-prima. Após este período, triturou-se e se homogeneizou o material em processador de alimentos e/ou liquidificador, durante aproximadamente dez (10) minutos.

A massa resultante foi mantida embalada em sacos plásticos e estocada em freezer com temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ . Para sua posterior utilização nos experimentos.

### 4.3.2 Estudo da fluidodinâmica do leito

O estudo fluidodinâmico do leito de jorro utilizado no experimento ocorreu através da determinação de três parâmetros básicos de fluidização: a velocidade de jorro mínimo ( $Q_{jm}$ ), queda de pressão máxima no leito ( $\Delta P_m$ ) e queda de pressão de jorro estável ( $\Delta P_{je}$ ). Para a determinação destes parâmetros foram construídos gráficos da queda de pressão no leito em função da vazão de ar alimentado no leito. Para isso realizou-se o seguinte procedimento:

- Inicialmente, uma determinada carga de material inerte foi introduzida, de modo a fixar a altura estática do leito ( $H_0$ );
- Em seguida, injetou-se ar aquecido pelo orifício de entrada do leito, variando-se de forma crescente a vazão. A cada vazão de ar registrada em um medidor de vazão digital, foi determinado o valor correspondente da queda de pressão entre a entrada e a saída do leito, em um manômetro diferencial tipo tubo em U, cujo fluido manométrico utilizado foi água destilada. Este procedimento se repetiu até que a queda de pressão total atingisse um valor aproximadamente constante, mesmo com o aumento da vazão de ar. Atingindo-se este ponto, o processo inverso foi iniciado, ou seja, a vazão de ar foi reduzida gradualmente medindo-se a queda de pressão do leito nos mesmos pontos que foram anotados na vazão crescente. Conduziu-se esta operação até cessar a passagem de ar pelo leito.

Para que o gráfico da queda de pressão do leito em função da variação da vazão de ar represente somente a resistência ao escoamento do ar devido à carga de inertes, foi descontada da queda de pressão total a queda de pressão devida ao leito vazio. As alturas de leito estático ( $H_0$ ), nas quais os testes foram desenvolvidos foram: 0,15m, 0,20m e 0,22m. A escolha destas alturas foi feita em estudos preliminares.

#### **4.3.3 Estudo da secagem da pasta de camarão-rosa**

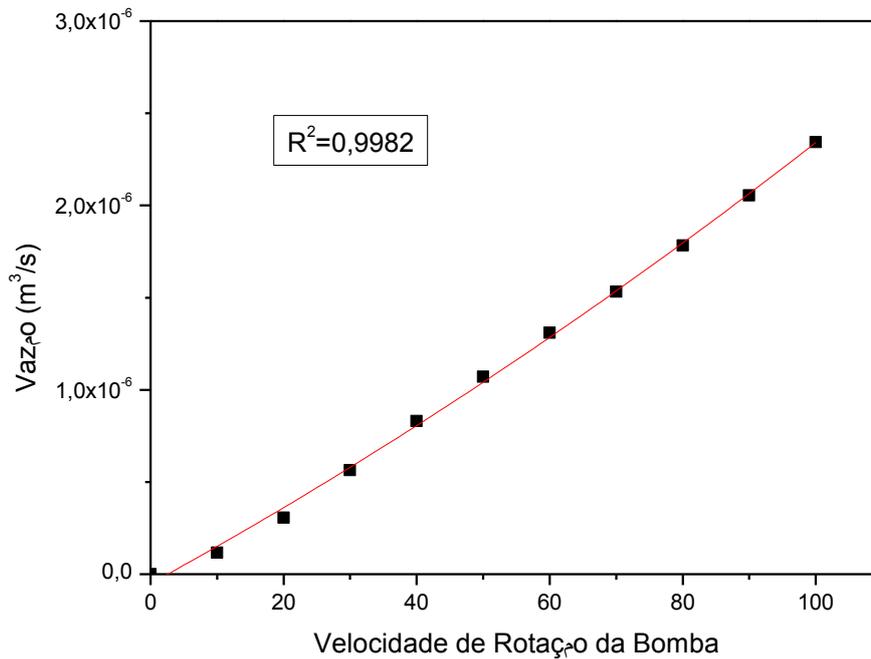
Para os experimentos de secagem, foi introduzida a carga de inertes de modo a fixar o valor de  $H_0$  correspondente ao estipulado para o estudo.

Em seguida, estabeleceu-se o jorro na vazão de ar correspondente a queda de pressão de jorro estável (determinada através dos estudos fluidodinâmicos preliminares para obtenção das curvas do leito de jorro).

Com o jorro estabelecido iniciou-se o aquecimento do ar nas temperaturas de operação do processo de secagem (70°C, 80°C e 90°C).

Com o objetivo de reduzir o tempo necessário para atingir o regime permanente na operação de secagem da suspensão, durante o aquecimento do material inerte, água destilada foi introduzida através do bico injetor, numa vazão aproximadamente igual aquela na qual a suspensão foi injetada no leito.

Atingindo o regime permanente no aquecimento das partículas inertes a alimentação de água destilada foi substituída pela alimentação da pasta a ser seca, na vazão de  $1,08 \times 10^{-7} \text{m}^3/\text{s}$ , estabelecida através da curva de calibração da bomba peristáltica representada na Figura 16, obtida através de experimentos com a pasta de camarão. Neste ponto o tempo inicial de operação foi anotado.



**Figura 16.** Curva de calibração da bomba peristáltica utilizada na injeção da suspensão no leito.

Durante o processo foram registradas as temperaturas de entrada e saída ( $T_{bs}$  – Temperatura de Bulbo Seco e  $T_{bu}$  – Temperatura de Bulbo Úmido) do ar no leito, através de um registrador e coletor de dados, captadas por termopares, em intervalos de vinte (20) segundos, durante todo o processo de secagem.

Após a secagem, o produto em pó coletado em um ciclone de aço inox foi acondicionado em frascos plásticos opacos e estocado em freezer em temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ , para as análises posteriores. Sendo codificado da seguinte maneira (Tabela 11).

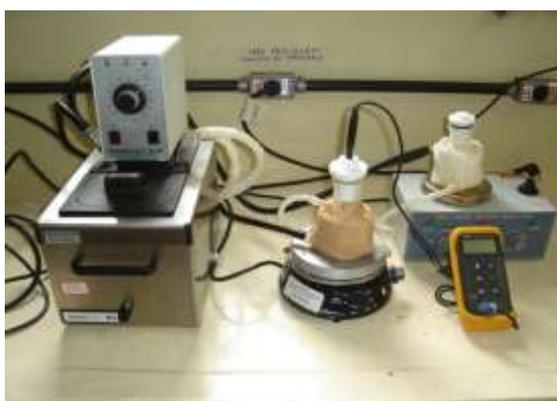
**Tabela 11.** Codificação dos ensaios de secagem da pasta.

Amostra	Parâmetros de Operação
Amostra A	$H_0 = 0,15\text{m}$ , $T=70^{\circ}\text{C}$ .
Amostra B	$H_0 = 0,22\text{m}$ , $T=70^{\circ}\text{C}$ .
Amostra C	$H_0 = 0,15\text{m}$ , $T=80^{\circ}\text{C}$ .
Amostra D	$H_0 = 0,22\text{m}$ , $T=80^{\circ}\text{C}$ .
Amostra E	$H_0 = 0,15\text{m}$ , $T=90^{\circ}\text{C}$ .
Amostra F	$H_0 = 0,22\text{m}$ , $T=90^{\circ}\text{C}$ .

Finalizando o tempo de secagem estabelecido através do termino da massa de pasta a ser seca, a alimentação da suspensão e a coleta de pó foram interrompidas (o leito foi novamente alimentado com água).

#### 4.3.4 Processo de Extração (PE)

A determinação do teor de carotenóides em base de Astaxantina foi realizada de acordo com a metodologia descrita por ISMADJI et al. (2008), na qual os carotenóides presentes na amostra seca são extraídos através da desnaturação das proteínas e conseqüente rompimento do complexo caroteno-proteína, havendo a liberação da Astaxantina para a oleína aquecida, realizando-se posterior leitura em espectrofotômetro. A Figura 17 apresenta a fotografia do aparato experimental utilizado no processo de extração.



**Figura 17.** Foto do aparato experimental utilizado no processo de extração.

A extração dos carotenóides presentes no produto seco foi realizada utilizando-se a oleína de palma refinada (POO-RBD), em três temperaturas (50°C, 60°C e 70°C). Noventa mililitros (90 ml) de POO-RBD foram introduzidos em uma célula encamisada, provida de isolamento térmico, e então aquecidos até a temperatura de trabalho, com a circulação de água aquecida por banho termostático. Após atingir a temperatura desejada, adicionou-se 2,5g do material seco, agitando-se até completa homogeneização.

A partir do instante em que o material seco foi adicionado contabilizou-se o tempo de extração, para que em cada quinze (15) minutos, durante um período total de três (3) horas, uma amostra de 6 ml fosse retirada e distribuída em três ependorth's, para separação das fases em uma centrífuga refrigerada, por cinco (5)

minutos a 4500rpm. Após a centrifugação, o sobrenadante (fase oleosa contendo o carotenóide) foi pipetado para uma cubeta de quartzo de  $1 \times 10^{-3}$  m de comprimento e levado para leitura da absorvância em espectrofotômetro, tendo a oleína de palma como amostra em branco.

#### 4.3.5 Modelagem Matemática

A modelagem matemática do processo de extração da Astaxantina foi realizada com ajustes de modelos teóricos aos dados experimentais, visando prever a cinética de transferência de massa e a cinética de reação. Os modelos utilizados no estudo estão descritos a seguir.

O conhecimento da cinética de extração é extremamente relevante na compreensão do fenômeno de remoção e/ou separação de um componente, bem como no *design* do processo de extração sólido-líquido. Neste estudo, para o entendimento e predição do processo de extração da Astaxantina em oleína foi efetuado o ajuste aos dados experimentais, de dois modelos teóricos descritos na literatura (HO; OFOMAJA, 2006).

O primeiro modelo foi fundamentado nos aspectos cinéticos envolvendo apenas a transferência de massa. O segundo é baseado em aspectos da cinética de reação. Na aplicação do primeiro modelo foi admitida a transferência de massa, como o principal mecanismo no controle da taxa de extração do componente Astaxantina, presente na matriz sólida, para a fase líquida, a oleína. Neste caso a taxa de transferência de massa da Astaxantina para o seio da fase líquida (oleína), matematicamente pode ser descrita pela Equação 19 (HANDAYANI et al. 2008):

$$\frac{dN_A}{dt} = k_L * A_S * (C_{Ae} - C_A) \quad (19)$$

Onde:  $dN_A/dt$  é a razão de transferência de massa ( $\mu\text{g/s}$ ),  $C_A$  e  $C_{Ae}$  são as concentrações de Astaxantina na fase líquida (oleína de palma) e no equilíbrio, respectivamente.  $k_L$  é o coeficiente de transferência de massa e  $A_S$  é a área superficial da partícula. Segundo HANDAYANI et al. (2008), nos casos em que o procedimento de extração é realizado em sistema descontínuo (batelada), e o volume de solução ( $V$ ) é mantido constante durante o processo, pode-se admitir:

$$dN_A = V * dC_A \quad (20)$$

Combinando as equações 21 e 22 tem-se:

$$\frac{V * dC_A}{dt} = k_L * A_S * (C_{Ae} - C_A) \quad (21)$$

$$\frac{dC_A}{dt} = k_L * \frac{A_S}{V} * (C_{Ae} - C_A) \quad (22)$$

$$\frac{dC_A}{dt} = k_L * a * (C_{Ae} - C_A) \quad (23)$$

Aplicando as seguintes condições iniciais:

- Para tempo de processo de extração,  $t = 0$ , a concentração de Astaxantina na solução base será igual a zero ( $C_A = 0$ );
- Para tempo de processo de extração  $t > 0$  a concentração de Astaxantina na solução base será  $C_A = C_A$ .

Com isto, a solução analítica da Equação (23) pode ser apresentada na forma da Equação (24).

$$C_A = C_{Ae} * (1 - e^{-k_L * a * t}) \quad (24)$$

Reescrevendo a Equação (24) em termos do rendimento de Astaxantina por massa da pasta de camarão seca, tem-se:

$$Y = Y_e * (1 - e^{-k_L * a * t}) \quad (25)$$

Para o modelo cinético de transferência de massa (Equação 25), os parâmetros  $Y_e$  e  $k_L \cdot a$  foram estimados através de ajuste, utilizando o método dos mínimos quadrados não linear, realizados com os dados de extração através do software STATISTICA 7.0.

O segundo modelo foi fundamentado no processo de reação envolvendo a esterificação entre os grupamentos hidroxílicos e os ácidos graxos presentes na oleína de palma. Neste caso foi adotado um modelo conhecido como pseudo-segunda ordem de Lagrange para descrever o comportamento desta reação durante o processo de extração, matematicamente descrito na seguinte forma:

$$\frac{dC_A}{dt} = k * (C_{Ae} - C_A)^2 \quad (26)$$

Efetuada a separação de variáveis e integrando a Equação 26, empregando as seguintes condições iniciais, obtém-se a solução analítica da Equação 26, sendo esta representada pela Equação 27.

- Para tempo de processo de extração,  $t = 0$ , a concentração de Astaxantina na solução base será igual a zero ( $C_A = 0$ );
- Para tempo de processo de extração  $t > 0$  a concentração de Astaxantina na solução base será  $C_A = C_A$ .

$$C_A = \frac{C_{Ae}^2 * k_A * t}{[1 - (C_{Ae} * k_A * t)]} \quad (27)$$

Reescrevendo a Equação 27 em termos do rendimento de Astaxantina por massa da pasta de camarão seca, tem-se:

$$Y = \frac{Y_e^2 * k_A * t}{[1 - (Y_e * k_A * t)]} \quad (28)$$

Onde  $k_A$  é o coeficiente de reação. Segundo HANDAYANI et al. (2008), a Equação 30 pode ser denominada como modelo cinético de reação.

A análise do melhor ajuste desses modelos (Equação 25 e 28) foi feita com base no parâmetro, coeficiente de correlação  $R^2$  (mede a proporção da variação total da média explicada pela regressão), definido como razão entre a soma quadrática total (Equação 29), Através dos valores obtidos para o coeficiente de correlação foi identificado qual modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais, obtidos na extração da Astaxantina através da utilização de oleína de palma como solvente.

Os ajustes foram realizados com o auxílio do software STATISTICA 7.0, adotando-se o método de Gauss-Newton com um critério de convergência de  $10^{-6}$ .

$$R^2 = \pm \frac{\sum(y_{pred} - \hat{y})^2}{\sum(y_{med} - \hat{y})^2} \quad (29)$$

#### 4.3.6 Determinações analíticas

As análises físico-químicas da suspensão e das amostras secas foram realizadas no Laboratório de Físico-Química, localizado no Laboratório de Engenharia Química, do Instituto de Tecnologia, da Universidade Federal do Pará.

Para a avaliação da matéria-prima e dos produtos desidratados, após o processo de secagem em leite de jorro, foram realizadas as seguintes análises físico-químicas, aplicadas a alíquotas retiradas de cada amostra, suficiente para as determinações, sendo os experimentos realizados com todas as amostras em triplicata.

#### **4.3.6.1 Análises físico-químicas**

##### Umidade:

Foi utilizado o método 930.15 da A.O.A.C. (1997), dessecação a 105°C. O princípio deste método é aquecer a amostra em recipiente previamente tarada, em estufa (Marca QUIMIS, Modelo Q-314M122) a 105°C por um período de vinte e quatro (24) horas. Resfriar e pesar, sendo o experimento realizado em triplicata.

##### Proteínas:

Foi utilizado o método de Kjeldahl, que se baseia na transformação do nitrogênio da amostra em sulfato de amônio através da digestão com ácido sulfúrico (p.a.) e posterior destilação com liberação da amônia, que é fixada em solução ácida e titulada, utilizando o fator de transformação do nitrogênio em proteína de 6,25, segundo a metodologia da A.O.A.C. (1997) 940.25.

##### Lipídios totais:

Foi utilizado o método 940.25 da A.O.A.C. (1997), utilizando o extrator de Soxhlet, que se fundamenta na solubilidade dos lipídios em solvente (éter de petróleo). Os lipídios extraídos são posteriormente determinados por gravimetria.

### Cinzas:

Determinação da cinza, segundo a AOAC 938.08 (1997), realizada por incineração em mufla a 550°C. O princípio deste método descreve que as cinzas são obtidas por ignição de quantidade conhecida de amostra em cadinho previamente tarado e mantido em mufla a 550°C até eliminação completa da matéria orgânica, ou seja, transformando o material a ser analisado em um resíduo de coloração branca ou cinza esbranquiçada. Para as amostras avaliadas a média foi de 24 horas.

#### **4.3.6.2 Determinação do perfil de ácidos graxos**

Na determinação do perfil de ácidos graxos presente no produto desidratado e na suspensão foi empregado a metodologia proposta por Lepage e Roy (1984), modificada na qual os ácidos graxos de ésteres metílicos (FAME – Fatty Acid Methyl Ester) foram determinados através de uma transesterificação ácida direta, sem a etapa de extração dos lipídios totais. Os FAME foram extraídos em um frasco com tampa por uma mistura de metanol/tolueno (3:2 v/v) e um reagente de esterificação preparado com uma mistura de Cloreto de acetila/metanol (1:20 v/v). Após a evaporação desta mistura o resíduo foi diluído em iso-octano para ser analisado por cromatografia gasosa, na intenção de determinar a composição de ácidos graxos presente na amostra.

Todas as etapas deste procedimento foram realizadas sob atmosfera de nitrogênio (N<sub>2</sub>) gasoso.

A separação dos ésteres metílicos foi realizada em um cromatógrafo a gás equipado com um detector de ionização por chama, um injetor do tipo SPLIT e uma coluna capilar de sílica fundida (60m x 0,25mm x 0,25µm) (VARIAN CIENTIFIC, EUA). Os parâmetros de análise foram os seguintes: temperatura do injetor de 260°C, temperatura do detector de 280°C, temperatura da coluna de 170°C/8min, sendo posteriormente programada a 2°C por minuto até 180°C, permanecendo

nesta temperatura por trinta e oito minutos (38min) e posteriormente aquecida até 205°C a 2°C por minuto, na qual permaneceu por 14 minutos.

O gás hélio foi utilizado como gás de arraste, com uma vazão de 1ml/min, com uma velocidade linear de 38cm/s. O gás nitrogênio foi utilizado como gás de make up, com uma vazão de 30mL/min. As injeções foram realizadas em duplicata e o volume injetado na coluna foi de 1µL. O tempo de retenção, as áreas dos picos e os valores das percentagens relativas foram obtidos através do software STAR CHROMATOGRAPHY WORKSTATION, versão 6.0 (VARIAN CIENTIFIC, EUA).

A identificação dos ácidos graxos foi efetuada pela comparação dos tempos de retenção dos ésteres metílicos de ácidos graxos de uma amostra padrão (NV-CHECK, EUA) com os tempos de retenção dos ésteres metílicos de ácidos graxos presentes na amostra. A quantificação destes ésteres foi realizada com auxílio do aplicativo STAR CHROMATOGRAPHY WORKSTATION, versão 6.0 (VARIAN CIENTIFIC, EUA).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Fluidodinâmica do leito de jorro

Os parâmetros globais do leito de jorro, vazão de jorro mínimo ( $Q_{jm}$ ), queda de pressão máxima do leito ( $\Delta P_m$ ) e queda de pressão de jorro estável ( $\Delta P_{je}$ ), determinados através das curvas de queda de pressão em função da vazão de ar, são de grande importância prática no projeto e operação deste tipo de equipamento, já que a partir deles é possível determinar a menor vazão de ar que propicia o fenômeno de jorro; a situação de máxima potência para o soprador, e a potência consumida durante a operação.

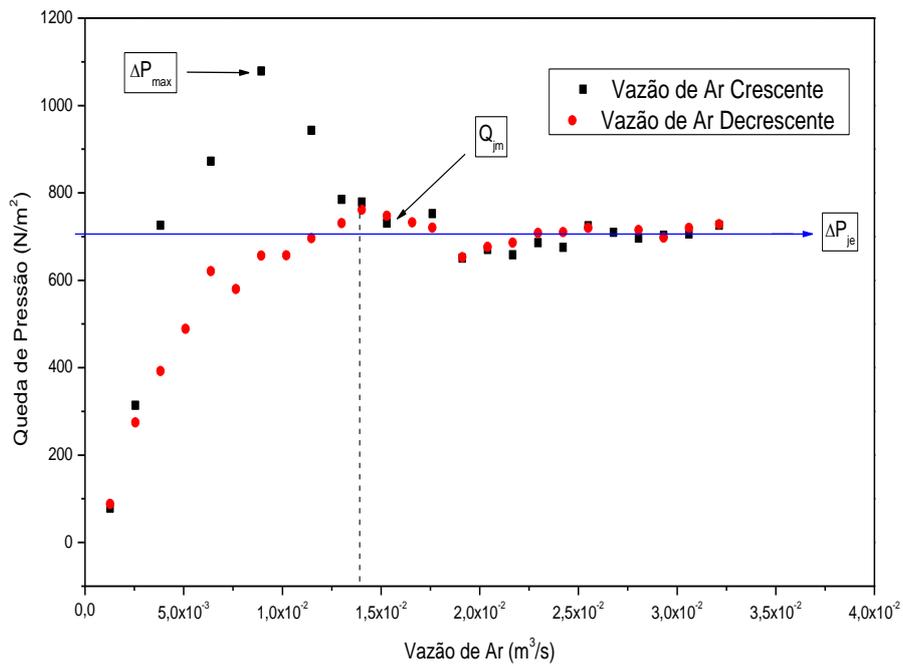
Nas condições estudadas os resultados obtidos para os parâmetros globais do leito através das curvas das Figuras 18, 19 e 20, encontram-se na Tabela 12. Observa-se nas figuras a tendência de aumento dos valores de queda de pressão e vazão do ar na condição de jorro mínimo, com o aumento da altura do leito. Este comportamento era esperado e é similar ao obtido por Rodrigues (2000), na secagem de pasta de peixe e por Rocha; Fraile; Lescano (2005), na secagem de resíduos do leite de soja. Essa variação é atribuída ao aumento de  $H_0$ , o que representa um acréscimo na massa do leito e com isso, um aumento na resistência ao escoamento do ar.

Os dados de queda de pressão em função da vazão de ar, para o leito vazio, mas com a presença do bico injetor, encontram-se plotados no gráfico mostrado na Figura 21. Como mencionado anteriormente, os mesmos foram levados em consideração na construção das curvas das Figuras 18, 19 e 20.

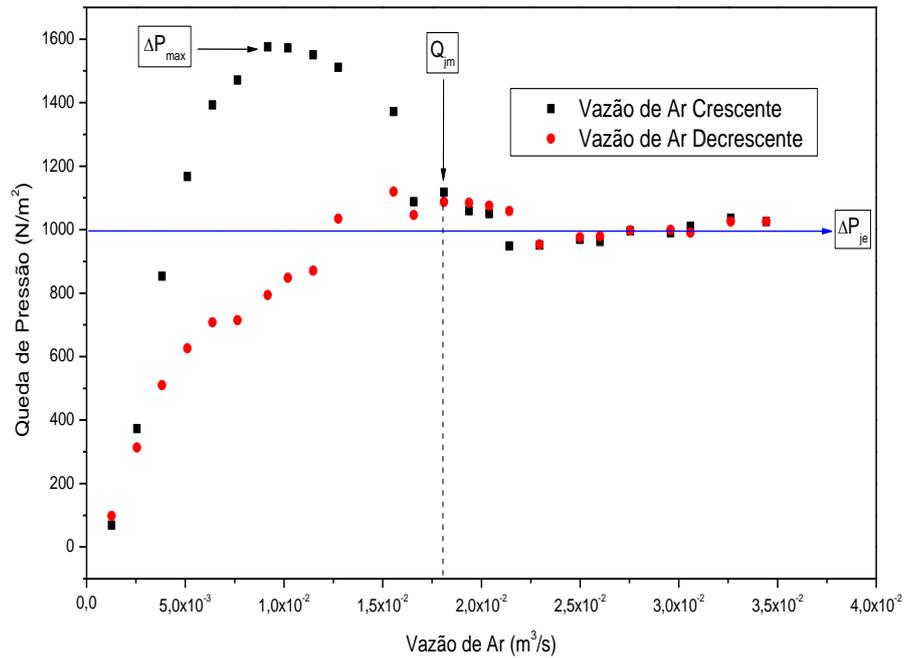
**Tabela 12.** Parâmetros globais do leito de jorro.

$H_0$ (m)	$Q_{jm}$ ( $m^3/s$ )	$\Delta P_{max}$ ( $N/m^2$ )	$\Delta P_{je}$ ( $N/m^2$ )
--------------	-------------------------	---------------------------------	--------------------------------

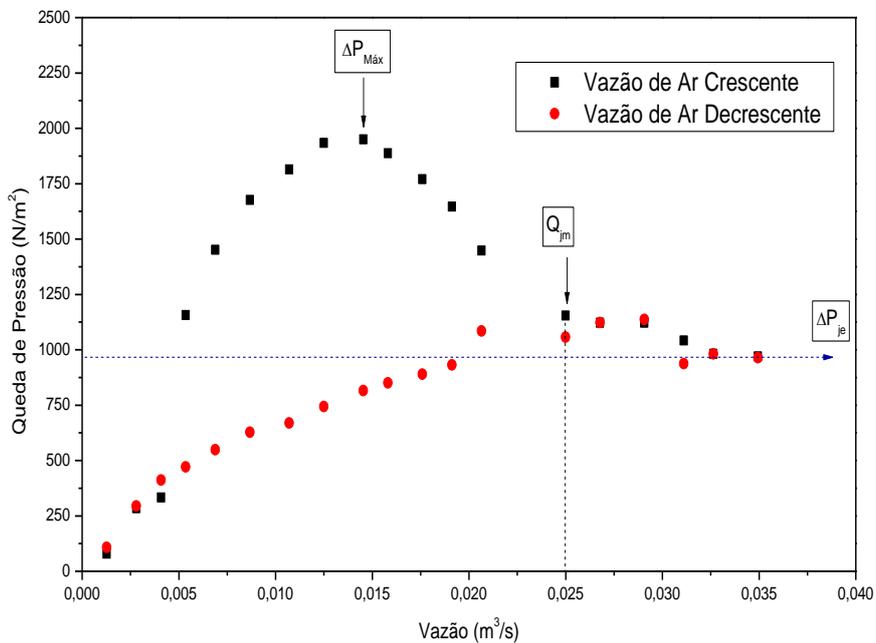
0,15	$13,89 \times 10^{-3}$	1078,64	706,24
0,20	$18,02 \times 10^{-3}$	1575,50	996,29
0,22	$24,97 \times 10^{-3}$	1949,92	965,78



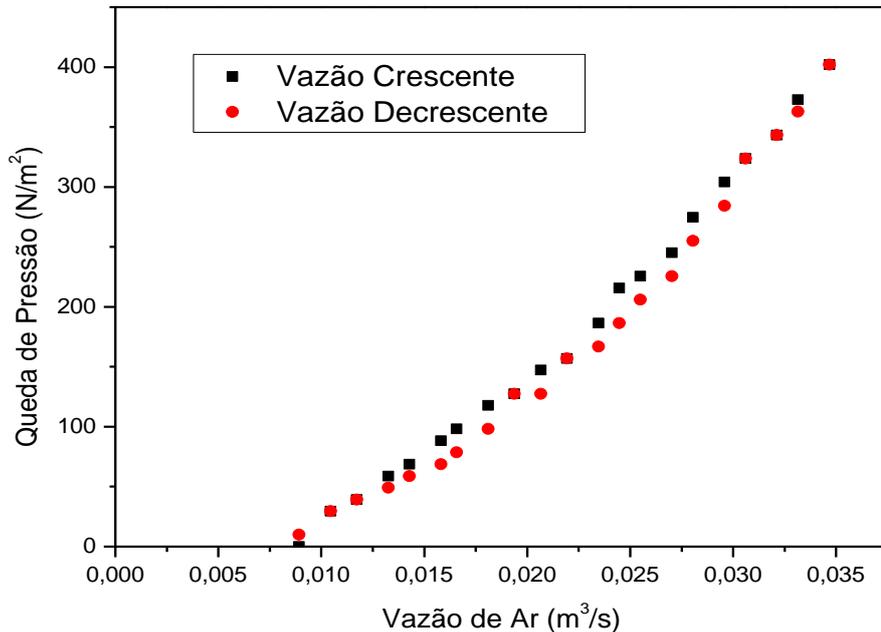
**Fig**  
**ura 18.** Gráfico da vazão de ar pela queda de pressão para o leito com  $H_0=0,15m$ .



**Figura 19.** Gráfico da vazão de ar pela queda de pressão para o leito com  $H_0=0,20\text{m}$ .



**Figura 20.** Gráfico da vazão de ar pela queda de pressão para o leito com  $H_0=0,22\text{m}$ .



Figur

**a 21.** Gráfico da vazão de ar versus queda de pressão para o leito vazio.

Através da avaliação dos dados experimentais do estudo fluidodinâmico do secador tipo leito de jorro, em três alturas diferentes de leito estático (0,15m, 0,20m e 0,22m), em três temperaturas distintas (70°C, 80°C e 90°C), a altura intermediária de 0,20m foi retirada do estudo da secagem da pasta de camarão, por não se ter material suficiente para realização das corridas de secagem nesta altura de leito estático, ficando assim estipuladas as alturas de 0,15m e 0,22m, para a continuação dos estudos e da secagem.

Os resultados experimentais de  $Q_{jm}$ ,  $\Delta P_{je}$  e  $\Delta P_{max}$ , foram comparados com os valores obtidos a partir de correlações da literatura (Tabelas 8, 9 e 10), visando verificar a aplicabilidade destas no projeto do leito de jorro. As Tabelas 13 a 15 apresentam os resultados obtidos através destas correlações e os desvios em relação ao valor obtido experimentalmente.

**Tabela 13.** Comparação dos valores experimentais da vazão de mínimo jorro com os valores estimados pelas Equações 14 a 18 (Tabela 10, Página 49).

Vazão de Jorro Mínimo	$H_0$ 0,15m	$H_0$ 0,22m	Referência
$Q_{jm, exp}$ (m³/s)	$13,89 \times 10^{-3}$	$25,3 \times 10^{-3}$	Experimental

$Q_{jm, cal}$ (m <sup>3</sup> /s)	17,0x10 <sup>-3</sup>	27,4x10 <sup>-3</sup>	TSVIK et al. (1967)
<b>Desvio (%)</b>	54,3	8,20	
$Q_{jm, cal}$ (m <sup>3</sup> /s)	12,7x10 <sup>-3</sup>	16,6x10 <sup>-3</sup>	GROSHTEIN; MUKHLENOV (1964)
<b>Desvio (%)</b>	15,52	34,50	
$Q_{jm, cal}$ (m <sup>3</sup> /s)	12,9x10 <sup>-3</sup>	16,8x10 <sup>-3</sup>	OLAZAR et al. (1993)
<b>Desvio (%)</b>	16,80	33,80	
$Q_{jm, cal}$ (m <sup>3</sup> /s)	22,0x10 <sup>-3</sup>	37,0x10 <sup>-3</sup>	SAN JOSE et al. (1996)
<b>Desvio (%)</b>	99,50	46,00	
$Q_{jm, cal}$ (m <sup>3</sup> /s)	7,5x10 <sup>-3</sup>	9,0x10 <sup>-3</sup>	MARKOWSKI; KAMINSKI (1983)
<b>Desvio (%)</b>	31,80	64,20	

exp. – Experimental; cal. – Calculado Através de Uma Correlação.

**Tabela 14.** Comparação dos valores experimentais da  $\Delta P_{max}$  com os valores estimados pelas Equações 4 a 8 (Tabela 8, Página 47).

Variação de Pressão Máxima	H <sub>0</sub> 0,15m	H <sub>0</sub> 0,22m	Referência
$\Delta P_{max, exp}$ (N/m <sup>2</sup> )	1078,64	1949,92	Experimental
$\Delta P_{max, cal}$ (N/m <sup>2</sup> )	7614,21	41185,60	GELPERIN et al. (1961)
<b>Desvio (%)</b>	605,91	2012,17	
$\Delta P_{max, cal}$ (N/m <sup>2</sup> )	1265,35	4018,70	SAMPAIO et al. (1984)
<b>Desvio (%)</b>	17,31	106,10	

$\Delta P_{\max, \text{cal}}$ (N/m <sup>2</sup> )	711,56	1347,63	OLAZAR et al. (1993)
Desvio (%)	34,03	30,89	
$\Delta P_{\max, \text{cal}}$ (N/m <sup>2</sup> )	685,30	1231,90	PALLAI; NÉMETH (1969)
Desvio (%)	36,47	36,82	

exp. – Experimental; cal. – Calculado Através de Uma Correlação.

**Tabela 15.** Comparação dos valores experimentais da  $\Delta P_{je}$  com os valores estimados pelas Equações 10 a 13 (Tabela 9, Página 48).

Variação de Pressão de Jorro Estável	H <sub>0</sub> 0,15m	H <sub>0</sub> 0,22m	Referência
$\Delta P_{je, \text{exp}}$ (N/m <sup>2</sup> )	706,24	965,78	Experimental
$\Delta P_{je, \text{cal}}$ (N/m <sup>2</sup> )	773,81	1163,30	MUKHLENOV; GROSHTEIN (1965)
Desvio (%)	9,57	20,45	
$\Delta P_{je, \text{cal}}$ (N/m <sup>2</sup> )	1265,35	4018,70	SAMPAIO et al. (1984)

<b>Desvio (%)</b>	79,17	316,11	OLAZAR et al. (1993)
<b><math>\Delta P_{je, cal}</math> (N/m<sup>2</sup>)</b>	583,58	1064,82	
<b>Desvio (%)</b>	17,37	10,26	
<b><math>\Delta P_{je, cal}</math> (N/m<sup>2</sup>)</b>	521,51	937,47	PALLAI; NÉMETH (1969)
<b>Desvio (%)</b>	26,16	2,93	

exp. – Experimental; cal. – Calculado Através de Uma Correlação.

Analisando os valores das Tabelas 13 a 15 podem ser feitas as seguintes considerações:

- A correlação de Groshtein e Mukhlenov (1964) foi a Equação que melhor estimou o valor para a vazão de jorro mínimo ( $Q_{jm}$ ) para a altura de 0,15m, apresentando um desvio de 15,52%. Já para a altura do leito de 0,22m a correlação de Tsvik et al. (1967) foi a que melhor estimou a vazão de jorro mínimo ( $Q_{jm}$ ), apresentando um desvio de 8,24%.
- Em relação à queda de pressão máxima no leito  $\Delta P_{max}$ , a melhor estimativa para a altura de 0,15m foi obtida através da correlação de Sampaio et al. (1984), que apresentou uma variação de 17,31% em relação ao valor obtido experimentalmente. Para a altura de 0,22m, a correlação de Olazar et al. (1993) foi a que apresentou melhor resultado, observando-se um desvio de 30,89%, mesmo assim não representou uma estimativa aceitável, pois acarretou um elevado desvio em relação ao valor experimental.
- A correlação de Olazar et al. (1993) foi a que melhor estimou o valor de queda de pressão de jorro estável ( $\Delta P_{je}$ ) para a altura de 0,15m, apresentando variação de 13,42%. Em relação à altura de 0,22m, a correlação de Pallai e Németh (1969) apresentou o melhor resultado, gerando um desvio de 3,03% em relação ao valor obtido experimentalmente.

## 5.2 Secagem da suspensão de pescado

O estudo de secagem da suspensão de pescado foi realizado de acordo com o procedimento descrito no item 4.4.3.

Na Tabela 16 estão apresentados os valores da composição centesimal da suspensão utilizada na secagem, bem como do produto seco obtido após a secagem nas temperaturas de 70, 80 e 90°C.

**Tabela 16.** Análise das características físico-químicas da suspensão utilizada na secagem e do produto seco.

Amostras	Propriedades			
	Umidade (%)	Proteínas (%)	Lipídios (%)	Cinzas (%)
<b>Suspensão</b>	71,90	15,92	4,43	4,31
<b>Amostra A</b>	10,85	51,66	7,48	21,48
<b>Amostra B</b>	10,49	53,68	7,63	21,08
<b>Amostra C</b>	9,51	54,84	7,78	21,31
<b>Amostra D</b>	9,17	54,23	7,84	21,37
<b>Amostra E</b>	8,70	54,43	7,92	20,06
<b>Amostra F</b>	7,28	54,76	7,98	21,15
<b>Média</b>	9,33	53,93	7,77	21,08
<b>Desvio Padrão</b>	±1,29	±1,19	±0,19	±0,52

Em experimento realizado por Moura et al. (2002), o teor médio de lipídios totais em amostras comerciais refrigeradas de camarão-rosa (*Penaeus brasiliensis* e *Penaeus paulensis*) foi de  $1,13 \pm 0,09$  g/100g.

Os valores da composição centesimal da suspensão de camarão-rosa determinada neste estudo com exceção das cinzas, encontram-se dentro da faixa da composição da parte comestível do pescado descrito na literatura onde a umidade varia entre 60 a 85%, proteína, de 10 a 20%, lipídios, de 0,6 a 36 % e cinzas 1 a 2% (OGAWA et al.,2007).

De uma forma geral, comparando os dados da Tabela 17, especificamente em relação a crustáceos, os valores de umidade, proteína, gordura e cinzas são similares aos apresentados na bibliografia para outras espécies, como por exemplo, aos encontrados por Vasconcelos e Silveira (2004), para o Camarão-branco-do-pacífico (*L. vannamei*), apresentando 76,96 % de umidade, 17,83% de

proteína; 2,45% de lipídios e 1,55% de cinzas. SRIKET et al. (2007) encontraram 77,21% de umidade, 1,47% de cinzas, 18,80% de proteínas e 1,30% de lipídeos, para o camarão branco (*P. vannamei*). Assunção e Pena (2007) estudando o camarão-rosa (*Peneaus subtilis*) encontrou valores médios inferiores em relação ao teor de umidade ( $8,28\% \pm 0,08$ ), ao teor de proteínas ( $42,59\% \pm 1,09$ ) e para o teor de lipídios totais ( $0,94\% \pm 0,03$ ).

Verificou-se também, pequenas variações na composição entre os resultados obtidos neste trabalho e aos apresentados na bibliografia. Cadun, Cakli e Kislal (2005), estudando a composição do camarão rosa do gênero *Parapeneaus longirostris*, determinaram que este continha 85,49% de umidade, 2,43 % de cinzas, 0,35 % de lipídeos e 11,00 % de proteínas. Pedrosa e Cozzolino (2001) que estudaram também a composição de camarão rosa, mas do gênero *Penaeus brasiliensis*, encontraram 88,34 % de umidade, 10,62 % de proteína, 0,36% de lipídeos e 1,05% de cinzas.

Segundo Furuya et al. (2006) as variações entre os resultados obtidos para as características estudadas podem ser atribuídas ao tipo e à disponibilidade do alimento consumido pelos animais (em cativeiro ou ambiente natural) e às regiões do corpo do animal incluídas na análise (animais inteiros, região abdominal ou somente cefalotórax com ou sem casca).

Cabe também avaliar com base nos resultados da Tabela 20 a classificação lipídica da pasta de camarão-rosa. Segundo Pigott e Tucker (1990) um método para definir a classificação de peixes gordos está baseado na seguinte relação: menor que 2% de conteúdo de lipídeos é um pescado de baixo conteúdo de gordura, entre 2 a 5% é um pescado moderado em conteúdo de gordura e maiores que 5% é considerado um pescado de alto conteúdo de gordura. O resultado (4,43 % lipídio) classifica a suspensão de camarão rosa como um material moderado em conteúdo de gordura. Ainda sobre a composição básica da suspensão de camarão rosa pode-se também mencionar que os valores apresentados mostram elevado teor de proteínas, cinzas e lipídios.

Após o processo de secagem, o produto apresentou umidade em torno de 10%, o que pode assegurar uma boa condição de estocagem segundo a literatura. Observou-se que quando se aumenta a temperatura de secagem e a altura do leito estático, ocorre um decréscimo no valor da umidade final do pó, o que decorre do

aumento da superfície de troca térmica entre as partículas de polipropileno do leite e a suspensão injetada, fator este que recebe auxílio do acréscimo de temperatura. A variação do teor de umidade é um dos fatores que influenciam na coloração do produto seco, conforme mostram as imagens da Figura 22.

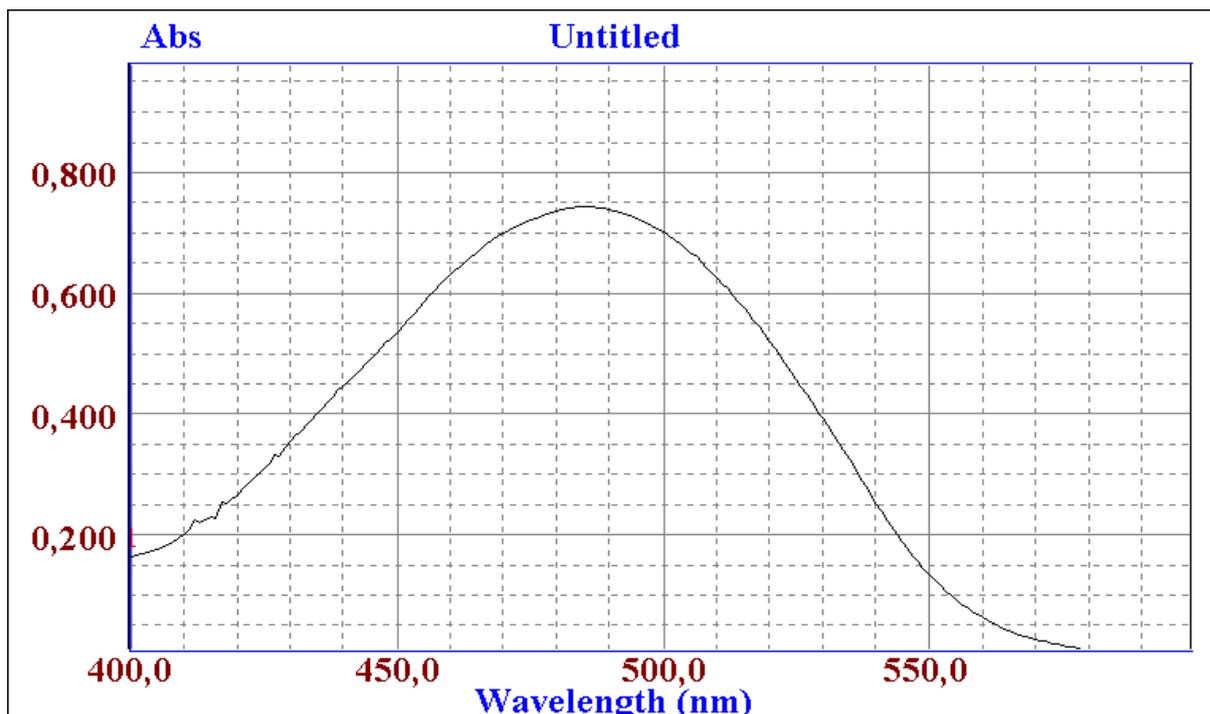


**Figura 22.** Amostras do material desidratado (Amostras A, B, C, D, E e F).

Outro fator importante para ser observado é o elevado valor do teor de proteínas presente no produto *in natura* (15,92%) e no particulado desidratado (Média de 54%), apresentando valores próximos ou acima de alimentos importantes para alimentação humana como as aves (18 a 21%) e as carnes vermelhas (18 a 20%).

### 5.3 Extração do carotenóide em oleína de palma: estudo cinético

Determinou-se a concentração de carotenóides totais (em base de Astaxantina) em oleína de palma refinada através da leitura em espectrofotômetro UV/Visível em um comprimento de onda máximo ( $\lambda_{max}$ ) de 485nm, conforme determinado através da curva de varredura de uma amostra padrão de Astaxantina em oleína de palma refinada (Figura 23).



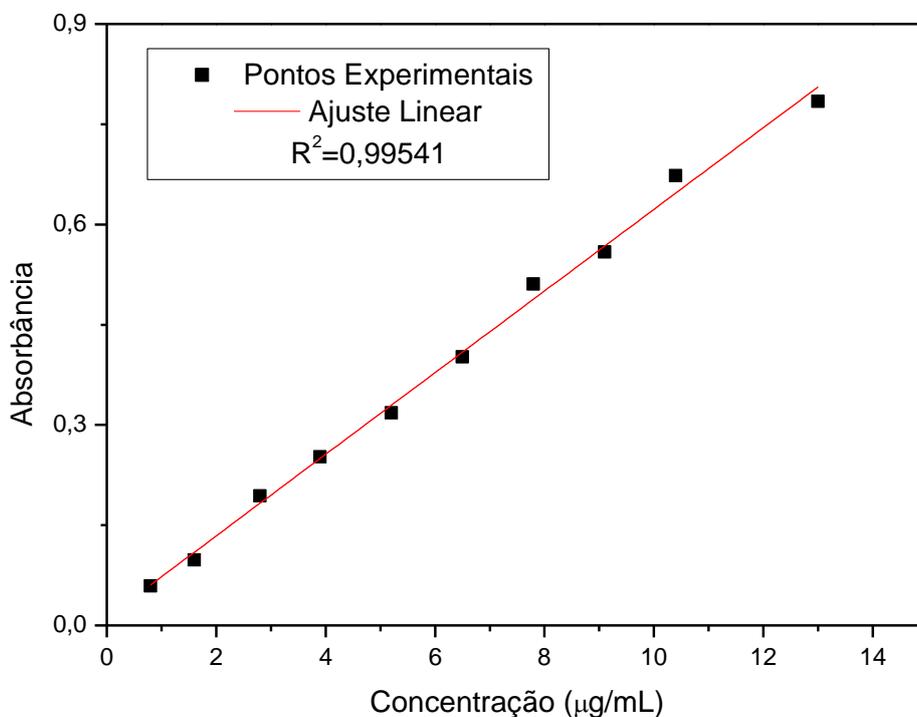
**Figura 23.** Curva resultante da varredura para determinação do  $\lambda_{\max}$  da amostra padrão de Astaxantina em cubeta de quartzo de  $1 \times 10^{-2}$  m de comprimento.

No preparo da solução padrão do carotenóide, 1300  $\mu$ g de Astaxantina sintética foi dissolvida em 100 mL de oleína de palma refinada. Desta solução base foram retiradas alíquotas para determinação dos pontos experimentais da curva de calibração deste padrão conforme a Tabela 17 e estas aferidas para 10 mL.

**Tabela 17.** Dados da preparação da curva de calibração do padrão de Astaxantina.

Concentração ( $\mu$ g/mL)	V <sub>Solução Base</sub> (mL)	Absorbância
0,8	0,61	0,059
1,6	1,23	0,098
2,8	2,15	0,194
3,9	3,00	0,252
5,2	4,00	0,318
6,5	5,00	0,402
7,8	6,00	0,511
9,1	7,00	0,559
10,4	8,00	0,673
13,0	10,00	0,784

Posteriormente os valores foram plotados em uma curva padrão (Figura 24) para a determinação da concentração de Astaxantina na amostra seca, tendo o POO-RBD como a amostra em branco.



**Figura 24.** Curva de calibração para o padrão de Astaxantina solubilizado em oleína de palma.

O processo de extração como descrito anteriormente foi baseado em três fases, a primeira de extração do carotenóide em oleína de palma refinada, a segunda uma operação de centrifugação para separação da fração líquida dos sólidos de material seco, e finalizando foi realizada a verificação da concentração do carotenóide para posterior aplicação dos modelos cinéticos.

Nas Figuras 25, 26 e 27, estão demonstradas as fases do processo de extração e quantificação do carotenóide de estudo.



**Figura 25.** Oleína antes da Centrifugação (Fase 1).



**Figura 26.** Oleína após a Centrifugação (Fase 2).



**Figura 27.** Amostra em branco (Oleína de Palma Refinada) e amostra após a extração.

O conteúdo de pigmentos carotenóides encontrados experimentalmente no resíduo de camarão-rosa foi em média de  $21,8\mu\text{g/g}$  em base seca (Tabela 18). Esta concentração foi superior a encontrada em exemplares da mesma espécie ( $11,1\mu\text{g/g}$ , em base seca) capturados no Maine zona costeira dos Estados Unidos (SAITO; REGIER, 1971). Tais diferenças na quantidade de pigmentos carotenóides dependem do conteúdo disponível nos alimentos para animais, bem como as condições de vida, idade, sexo e a região onde habitam.

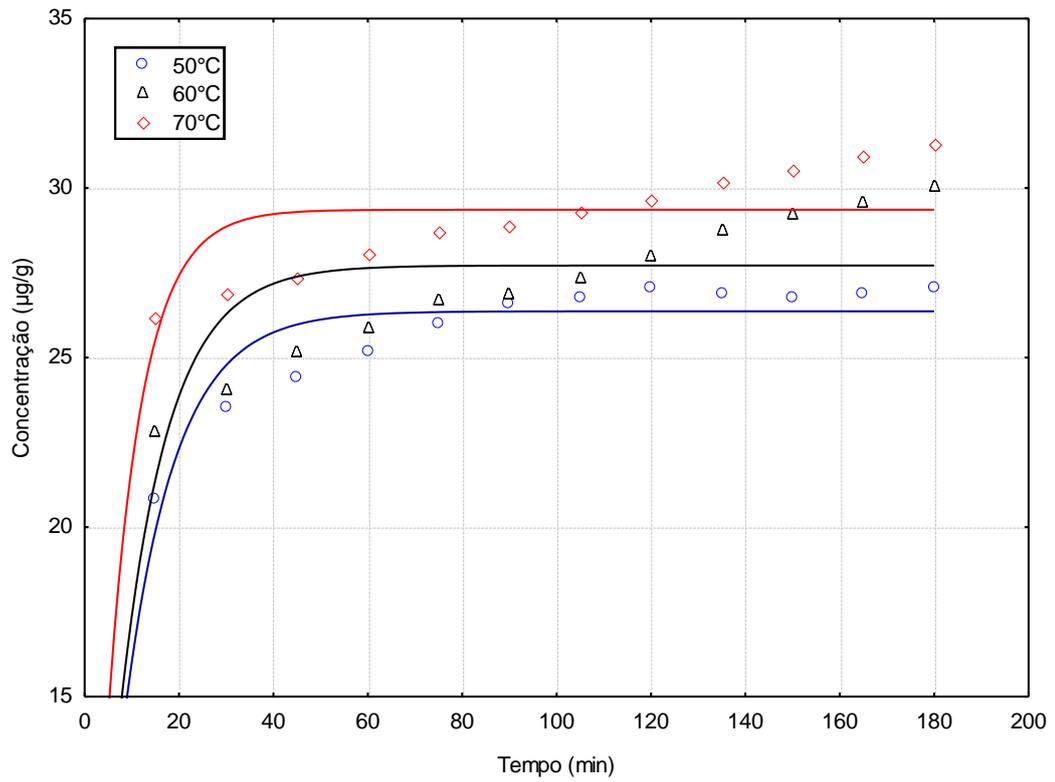
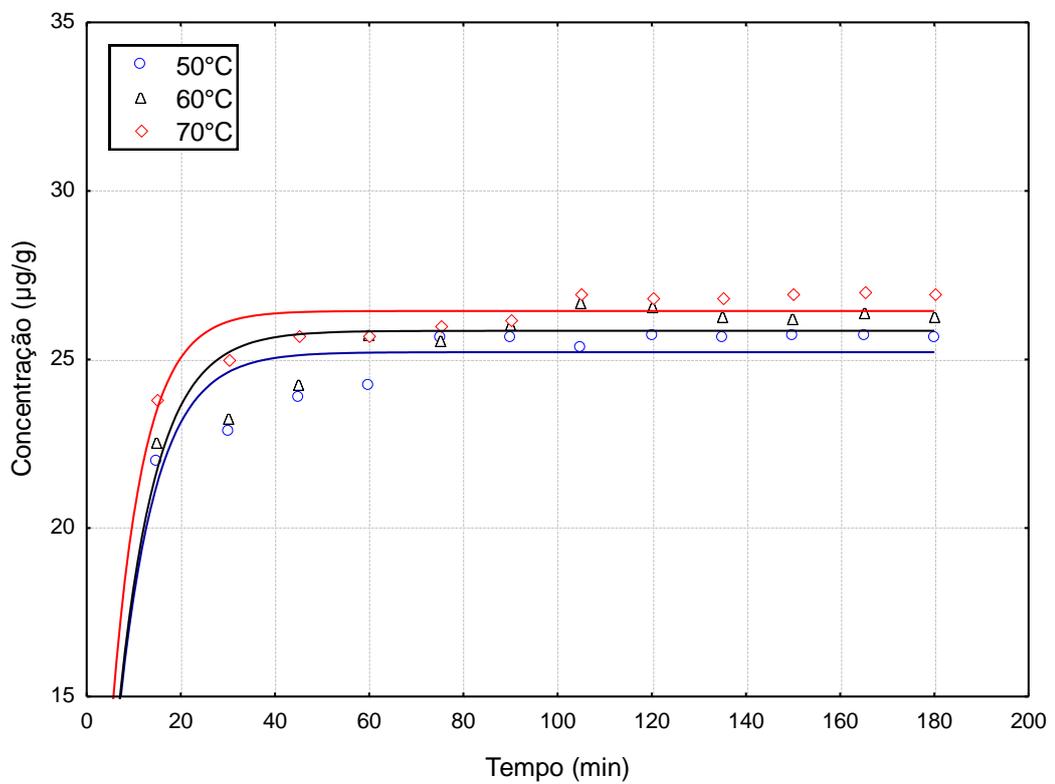
**Tabela 18.** Dados experimentais da extração de carotenóides.

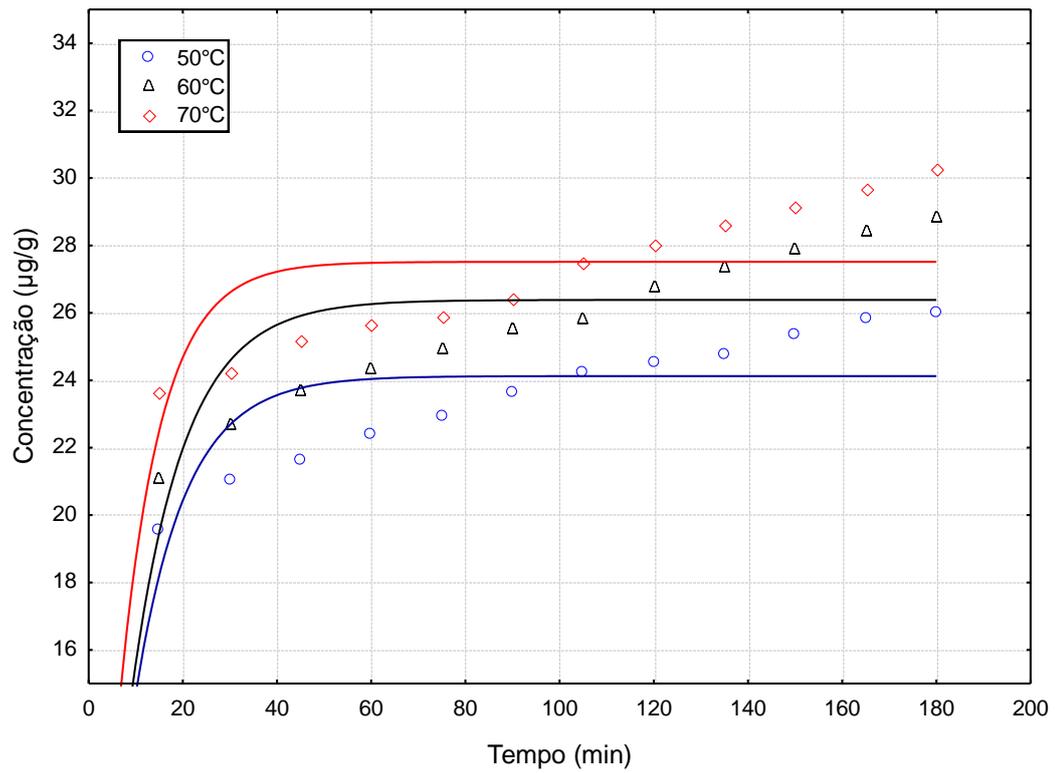
Parâmetro		Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra D	Amostra E	Amostra F
$Y_{e(Exp.)}$ ( $\mu\text{g/g}$ )	50°C	23,6874	22,9293	21,6816	19,0854	16,9857	19,4208
	60°C	24,9687	23,4928	23,6538	20,0514	17,7572	21,0040
	70°C	26,7665	24,1570	24,9352	20,9638	18,3877	22,0103

Ao contrário do encontrado por OGAWA et al. (2007), quando foram submetidos ao processo de extração do carotenóide, o material particulado quanto menor teor de umidade mais baixa foi a concentração de carotenóide extraído.

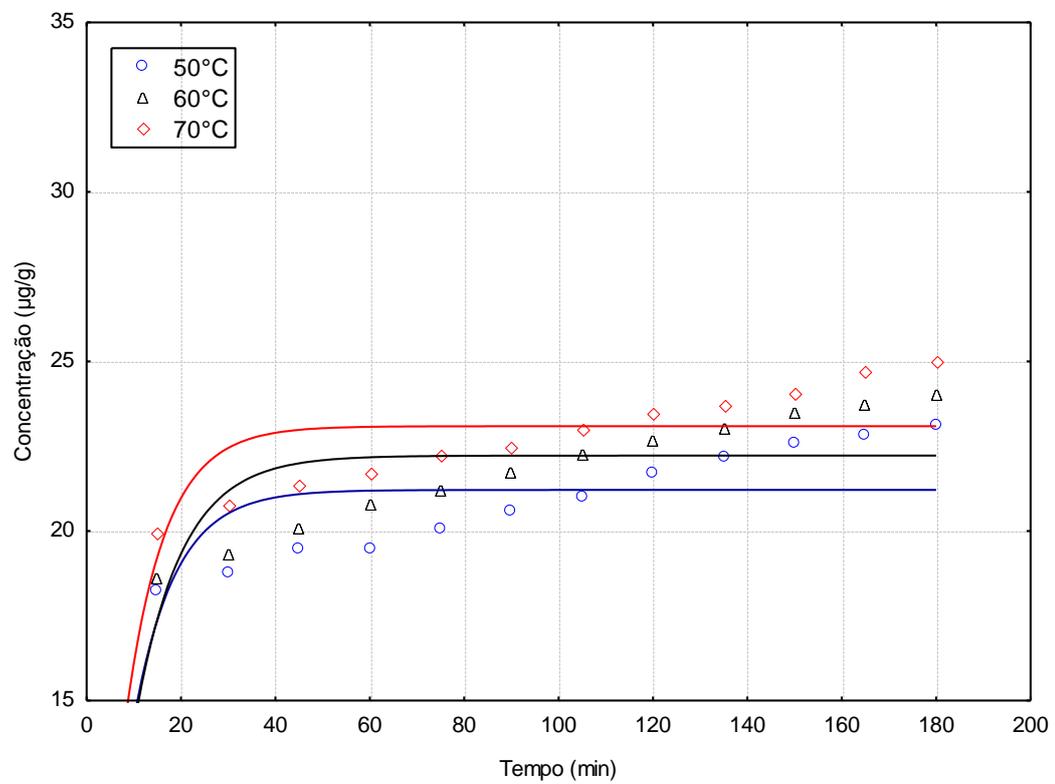
### 5.3.1 Modelo cinético de transferência de massa

Nas Figuras 28 a 30 estão representados os gráficos obtidos pelos dados coletados do processo de extração do carotenóide em oleína de palma refinada, em variadas temperaturas de extração e os dados de extração ajustados pelo modelo cinético de transferência de massa representado pela equação de primeira ordem (Equação 27). Nos gráficos os dados experimentais estão representados através dos símbolos e os ajustes cinéticos através das linhas sólidas.

**Amostra A****Amostra B****Figura 28.** Ajuste do modelo cinético de transferência de massa para a Amostra A e Amostra B.

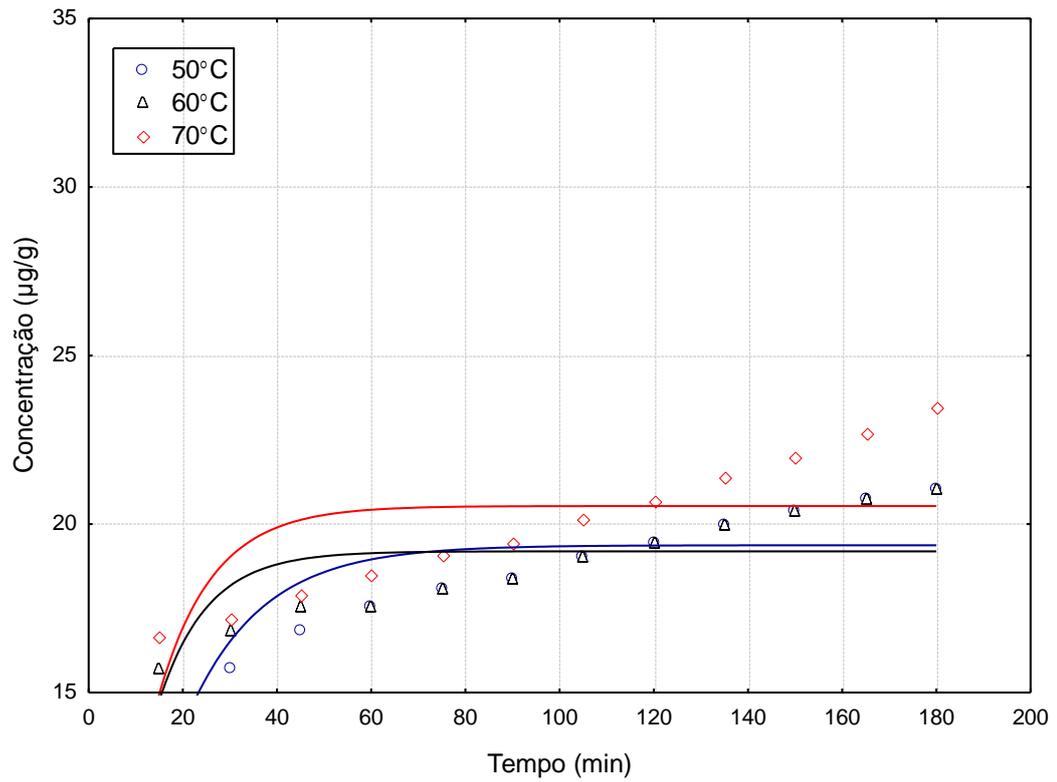
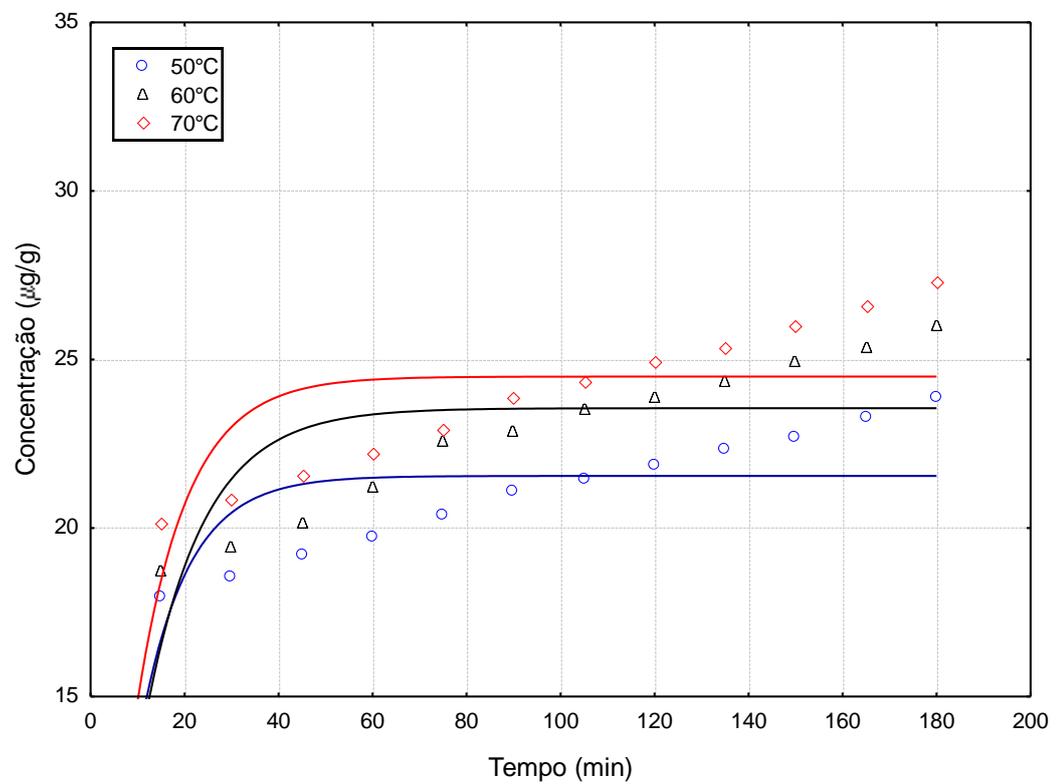


### Amostra C



### Amostra D

**Figura 29.** Ajuste do modelo cinético de transferência de massa para a Amostra C e Amostra D.

**Amostra E****Amostra F****Figura 30.** Ajuste do modelo cinético de transferência de massa para Amostra E e Amostra F.

Nas Figuras 28 a 30 pode-se observar que o modelo cinético de transferência de massa ajusta satisfatoriamente aos dados experimentais, apresentando valor médio para o  $R^2$  em torno de 0,9796.

Observou-se que no decorrer do tempo de extração, a esterificação dos grupos hidroxilas em Astaxantina e ácidos graxos livres na oleína de palma, acarreta um aumento da concentração do carotenóide durante o processo de extração, como mostram as Figuras 28 a 30. Este fenômeno não é descrito pelo modelo cinético de transferência de massa, pois os valores da concentração de Astaxantina obtidos experimentalmente são superiores aos encontrados através do ajuste realizado com a Equação 27. Estas discrepâncias são próximas de 10% quando comparados os dados experimentais e o modelo, entre os tempos de 15 e 75 minutos durante a extração.

Os parâmetros obtidos através dos ajustes realizados através do software STATISTICA estão relacionados na Tabela 19.

**Tabela 19.** Dados experimentais de  $Y_e$  e os parâmetros  $Y_e$  e  $k_{L,a}$  em várias temperaturas calculados através do modelo cinético de transferência de massa.

Parâmetro		Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra D	Amostra E	Amostra F
$Y_{e(Exp.)}$ ( $\mu\text{g/g}$ )	50°C	23,6874	22,9293	21,6816	19,0854	16,9857	19,4208
	60°C	24,9687	23,4928	23,6538	20,0514	17,7572	21,0040
	70°C	26,7665	24,1570	24,9352	20,9638	18,3877	22,0103
$Y_{e(Calc.)}$ ( $\mu\text{g/g}$ )	50°C	26,3655	25,2188	24,1249	21,2113	19,3720	21,5469
	60°C	27,7151	25,8519	26,3837	22,2235	19,1917	23,5563
	70°C	29,3604	26,4403	27,5137	23,0899	20,5363	24,4938
$K_{L,a}$ ( $\text{min}^{-1}$ )	50°C	0,0936	0,1246	0,0938	0,1141	0,0638	0,0995
	60°C	0,0986	0,1227	0,0894	0,1019	0,0976	0,0806
	70°C	0,1358	0,1473	0,1136	0,1195	0,0868	0,0932
$R^2$	50°C	0,9939	0,9936	0,9801	0,9757	0,9776	0,9719
	60°C	0,9799	0,9929	0,9761	0,9787	0,9755	0,9674
	70°C	0,9883	0,9969	0,9757	0,9833	0,9582	0,9677

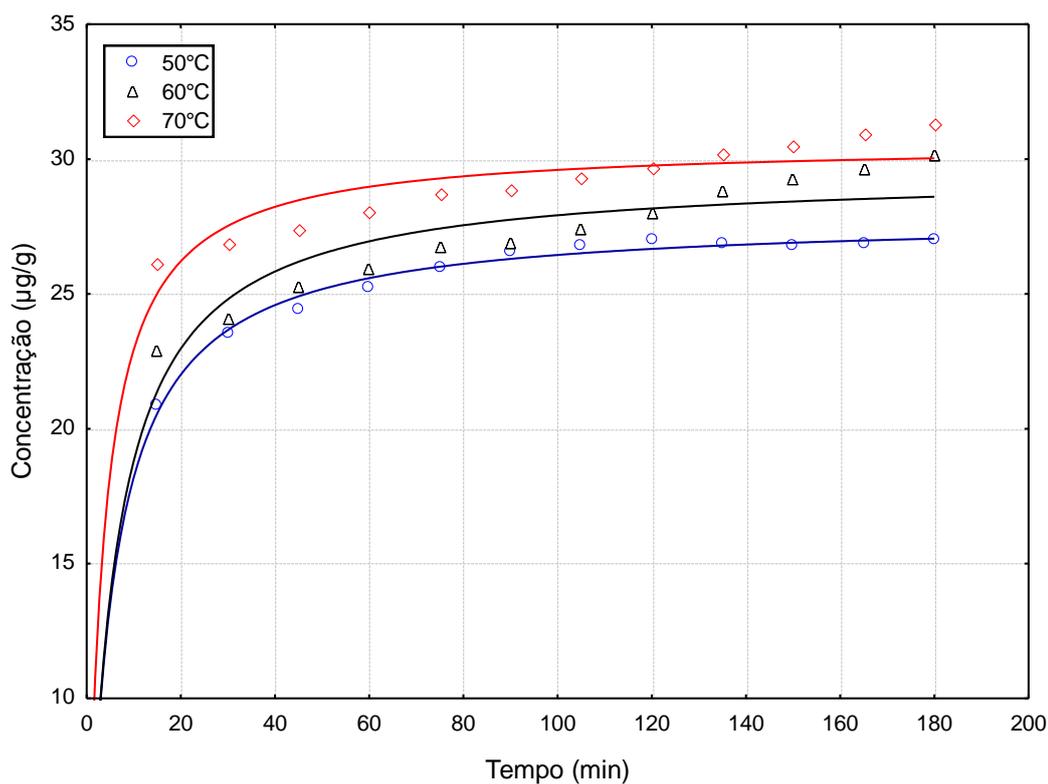
De acordo com os dados apresentados na Tabela 19 pode-se observar, através da elevação do coeficiente de difusividade  $k_{L,a}$ , que o aumento da temperatura, acarretou um aumento da taxa de transferência de massa de Astaxantina do material seco para a oleína de palma. Este fato se deve a

desnaturação das proteínas que formam juntamente com a Astaxantina o complexo caroteno-proteína, que com a elevação da temperatura libera o carotenóide.

Outro fator importante é que o carotenóide Astaxantina é lipossolúvel, o que facilita ainda mais a extração por meio da oleína de palma do material particulado seco.

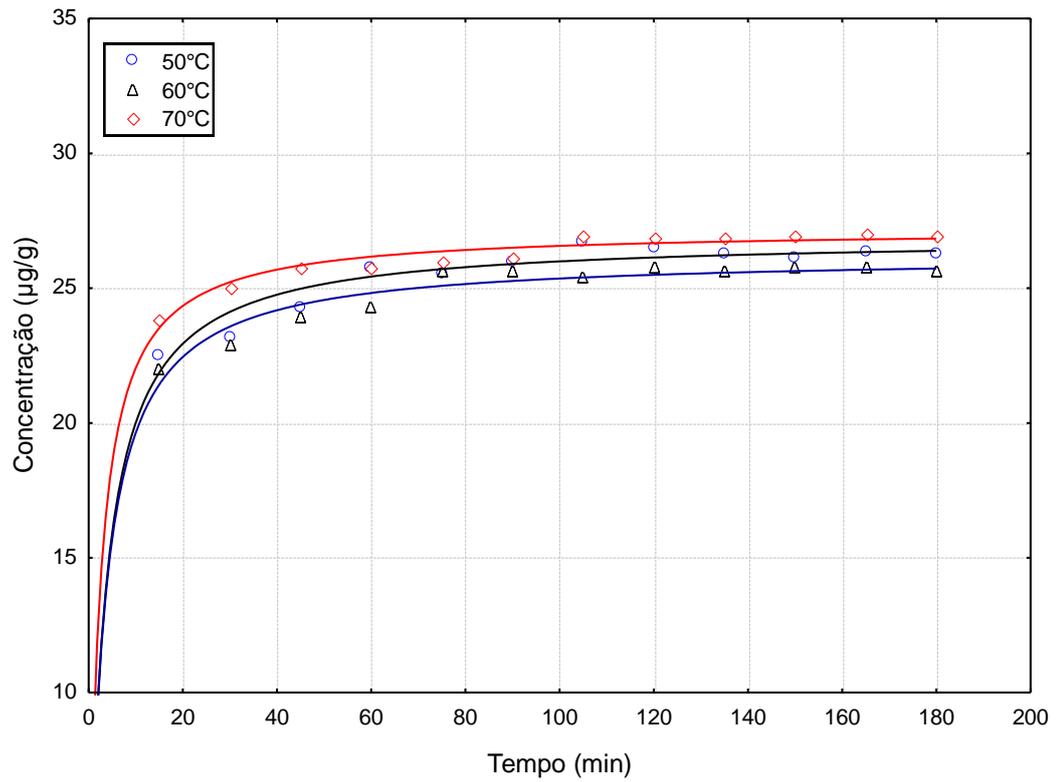
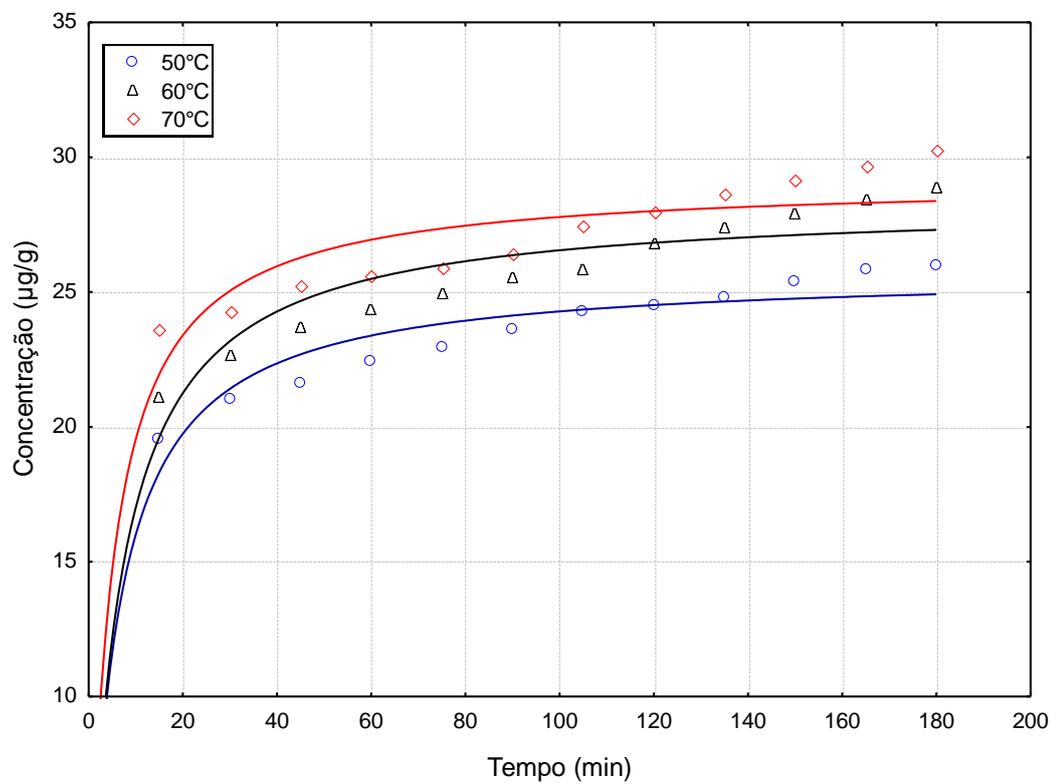
### 5.3.2 Modelo cinético de reação

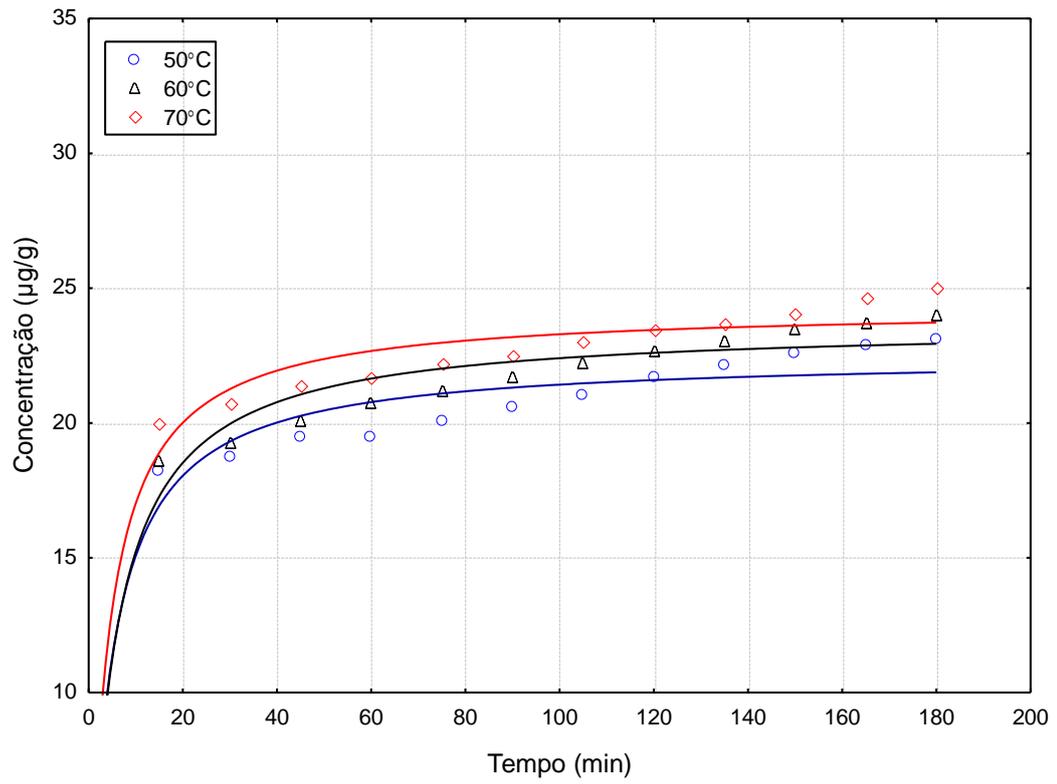
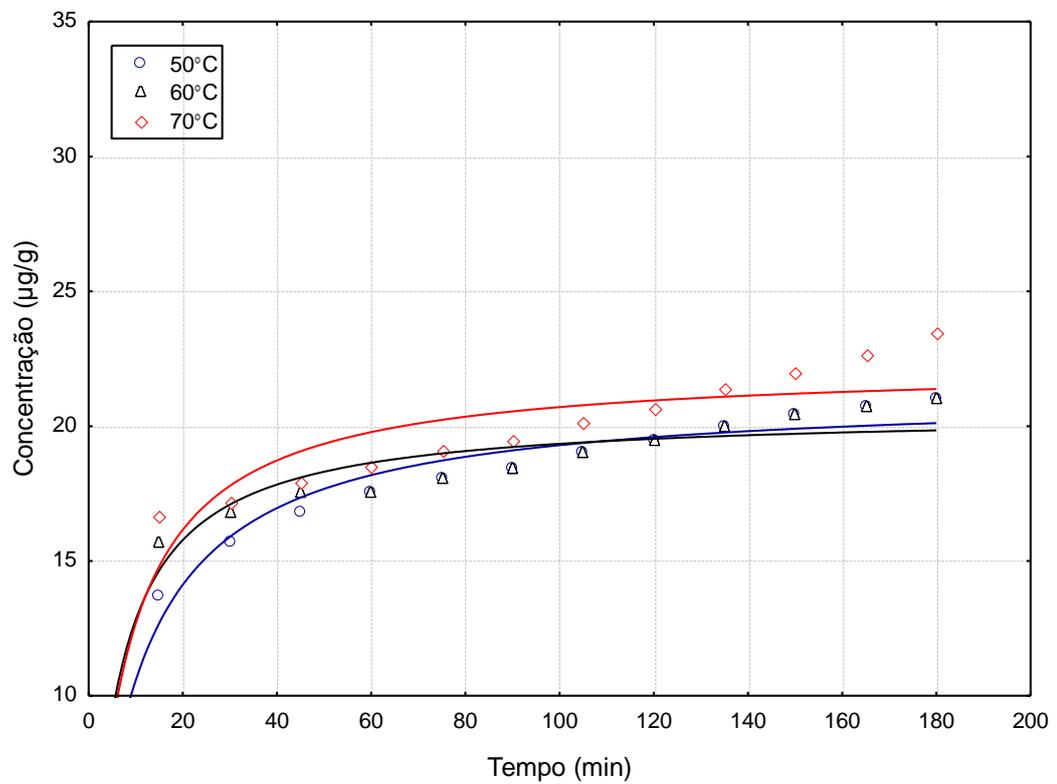
Nas figuras 31 a 34 estão representados os dados de reação obtidos experimentalmente e os valores encontrados através do ajuste realizado pelo software STATISTICA 7.0, utilizando-se o modelo matemático de Gauss-Newton, aplicando-se o modelo cinético de reação descrito pela Equação 30.

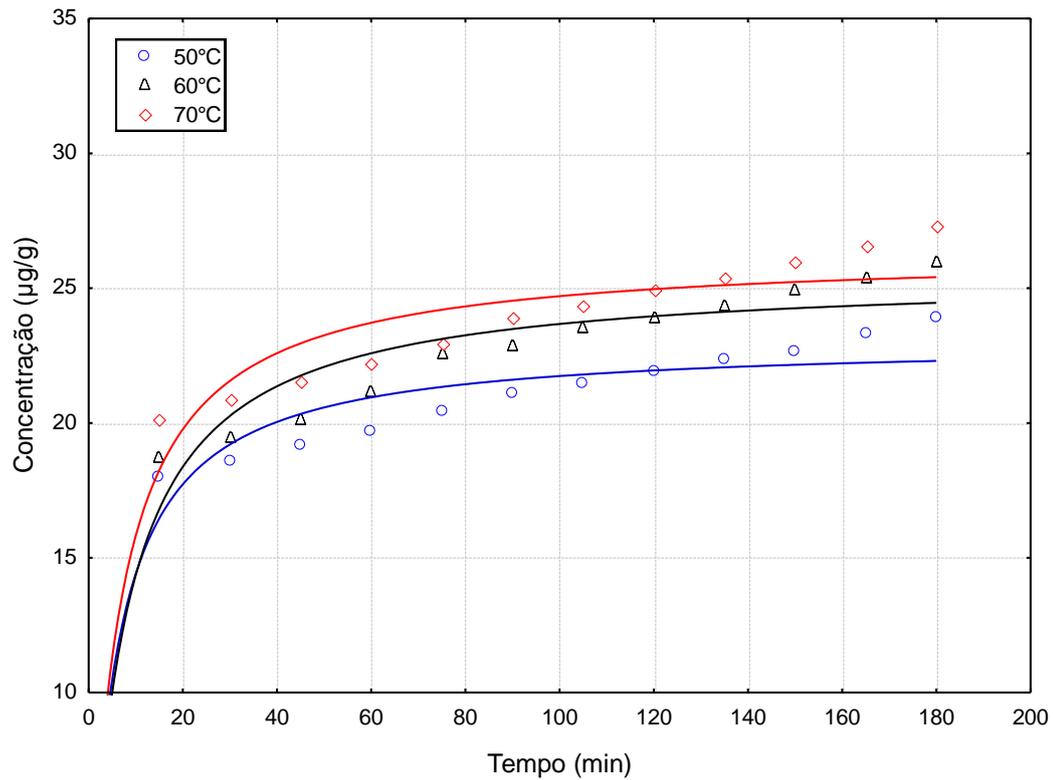


#### Amostra A

**Figura 31.** Ajuste do modelo cinético de reação para a Amostra A.

**Amostra B****Amostra C****Figura 32.** Ajuste do modelo cinético de reação para a Amostra B e Amostra C.

**Amostra D****Amostra E****Figura 33.** Ajuste do modelo cinético de reação para a Amostra D e Amostra E.



### Amostra F

**Figura 34.** Ajuste do modelo cinético de reação para a Amostra F.

A Tabela 20 mostra os resultados experimentais obtidos durante a extração e os dados resultantes do ajuste através do software.

**Tabela 20.** Dados experimentais para  $Y_e$  e os parâmetros  $Y_e$  e  $k_A$  em várias temperaturas calculados através do modelo cinético de reação.

Parâmetro		Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra D	Amostra E	Amostra F
$Y_{e(Exp.)}$ (µg/g)	50°C	23,687	22,929	21,682	19,085	16,986	19,421
	60°C	24,968	23,493	23,654	20,051	17,757	21,004
	70°C	26,766	24,157	24,935	20,964	18,388	22,010
$Y_{e(Calc.)}$ (µg/g)	50°C	27,849	26,206	25,763	22,476	21,237	23,045
	60°C	29,505	26,887	28,316	23,641	20,504	25,512
	70°C	30,586	27,189	29,151	24,285	22,274	26,349
$k_A$ (g/mg.min)	50°C	0,007	0,011	0,006	0,009	0,005	0,007
	60°C	0,006	0,011	0,005	0,008	0,008	0,005
	70°C	0,010	0,016	0,007	0,010	0,006	0,006
$R^2$	50°C	0,9994	0,9983	0,9934	0,9887	0,9938	0,9879
	60°C	0,9927	0,9980	0,9911	0,9921	0,9896	0,9873
	70°C	0,9952	0,9993	0,9886	0,9930	0,9798	0,9859

Através dos dados obtidos observa-se que o modelo apresentou melhor correlação ( $R^2$ ), que o modelo cinético de transferência massa, evidenciando a reação entre os grupos hidroxila da Astaxantina com os ácidos graxos da oleína de palma durante o processo de extração. Com o aumento da temperatura, os grupos hidroxila da Astaxantina tornam-se mais reativos, acelerando assim a reação, tal como indicado na Tabela 20.

#### 5.4 Avaliação da composição de ácidos graxos

De acordo com Vazquez e Sánchez-Muniz (1994), o consumo de pescado tem sido recomendado para a prevenção e tratamento de acidentes cardiovasculares e cérebro vasculares. Essas recomendações fundamentam-se no papel benéfico da fração lipídica do pescado (rica em ácidos graxos polinsaturados da família  $\omega$  3) sobre diferentes aspectos relacionados com o metabolismo lipoprotéico.

Foram registradas 19 variedades de ácidos graxos com área significativa maior que 0,3% (Tabela 21), destacando-se o Palmítico-16:0, EPA (Eicosapentaenóico)-20:5, DHA (Docosahexaenóico)-22:6, Esteárico-18:0 e o Oléico-18:1. Foi encontrado que o percentual total destes ácidos especiais apresentou um valor médio de 78,6% para a suspensão e em média de 52,8% para o material seco, em relação ao total de ácidos graxos presentes nas amostras *in natura* e no material particulado proveniente de cada experimento.

Dentro dos ácidos graxos encontrados o maior percentual foi de saturados, seguido pelos insaturados e pelos poliinsaturados, em menor percentual, tanto no material *in natura*, quanto nos produtos particulados secos, obtidos dos processos de secagem. Este comportamento é diferente do que ocorre com o músculo dos crustáceos, onde o principal grupo de ácidos graxos é o poliinsaturado.

A composição em porcentagem de tempo de retenção dos ésteres metílicos de ácidos graxos dos lipídios totais da suspensão "*In natura*" da cabeça de camarão rosa e das amostras secas, comparadas a uma amostra padrão, é apresentada na Tabela 21.

**Tabela 21.** Perfil de ácidos graxos (%) da suspensão “*in natura*” e das amostras secas obtidas do cefalotórax do camarão rosa.

Ácido Graxo	Suspensão	Amostras Secas					
		A	B	C	D	E	F
C14:0	3,23	2,50 <sup>a</sup>	2,69 <sup>b</sup>	2,23 <sup>a</sup>	2,08 <sup>a</sup>	1,96 <sup>a</sup>	1,80 <sup>a</sup>
C14:1	1,47	1,38	1,39	1,45	1,19	1,19	1,12
C16:0	17,03	13,31 <sup>a</sup>	13,50 <sup>a</sup>	12,17 <sup>a</sup>	11,33 <sup>a</sup>	11,10 <sup>a</sup>	9,70 <sup>a</sup>
C16:1	5,90	4,49 <sup>a</sup>	4,63 <sup>a</sup>	4,65 <sup>a</sup>	4,43 <sup>a</sup>	4,06 <sup>a</sup>	3,69 <sup>a</sup>
C18:0	8,87	8,22 <sup>b</sup>	8,64 <sup>b</sup>	6,88 <sup>a</sup>	6,29 <sup>a</sup>	6,65 <sup>a</sup>	5,66 <sup>a</sup>
C18:1	10,07	2,58 <sup>a</sup>	5,82 <sup>a</sup>	5,64 <sup>a</sup>	5,39 <sup>a</sup>	5,11 <sup>a</sup>	4,51 <sup>a</sup>
C18:1 vac	3,29	ND	2,59 <sup>b</sup>	2,71 <sup>b</sup>	2,49 <sup>a</sup>	2,35 <sup>a</sup>	2,09 <sup>a</sup>
C18:2 (LA)	1,77	0,64 <sup>a</sup>	0,78 <sup>a</sup>	0,64 <sup>a</sup>	0,70 <sup>a</sup>	0,64 <sup>a</sup>	0,60 <sup>a</sup>
C20:0	1,05	0,74 <sup>b</sup>	0,79 <sup>b</sup>	0,60 <sup>b</sup>	0,69 <sup>b</sup>	0,60 <sup>b</sup>	0,61 <sup>b</sup>
C20:1	0,81	ND	0,81 <sup>b</sup>	ND	0,67 <sup>b</sup>	0,72 <sup>b</sup>	0,66 <sup>b</sup>
C18:3 (LNA)	0,77	ND	0,67 <sup>b</sup>	0,69 <sup>b</sup>	0,64 <sup>b</sup>	0,56 <sup>b</sup>	0,53 <sup>b</sup>
C20:2	0,65	ND	ND	0,60 <sup>b</sup>	0,49 <sup>b</sup>	ND	0,52 <sup>b</sup>
C20:3	0,68	ND	ND	0,57 <sup>b</sup>	0,59 <sup>b</sup>	ND	0,48 <sup>b</sup>
C20:4 (ETA)	4,59	ND	4,47 <sup>b</sup>	1,92 <sup>a</sup>	2,01 <sup>a</sup>	3,69 <sup>a</sup>	3,59 <sup>a</sup>
C22:1	3,94	2,93 <sup>a</sup>	3,17 <sup>a</sup>	3,17 <sup>a</sup>	3,17 <sup>a</sup>	2,82 <sup>a</sup>	2,57 <sup>a</sup>
C20:5 (EPA)	8,28	6,39 <sup>a</sup>	6,87 <sup>a</sup>	6,72 <sup>a</sup>	6,42 <sup>a</sup>	5,83 <sup>a</sup>	5,53 <sup>a</sup>
C24:0	0,34	ND	ND	ND	0,24 <sup>b</sup>	ND	ND
C24:1	0,98	0,93 <sup>b</sup>	0,90 <sup>b</sup>	0,89 <sup>b</sup>	0,26 <sup>a</sup>	0,31 <sup>b</sup>	0,25 <sup>a</sup>
C22:6 (DHA)	4,87	3,93 <sup>a</sup>	4,13 <sup>a</sup>	4,05 <sup>a</sup>	3,97 <sup>a</sup>	3,52 <sup>a</sup>	3,30 <sup>a</sup>

a – Redução significativa, determinada por Teste de Tukey com nível de significância de 5%.

b – Redução não significativa, determinada por Teste de Tukey com nível de significância de 5%.

Através do teste de Tukey aplicado com nível de significância de 5%, foi observado em 11 dos 19 ácidos graxos determinados, como por exemplo, para o ácido palmítico (C16:0), o ácido oléico (C18:1vac) e o ácido graxo essencial EPA (C20:5), uma redução significativa em seu percentual após o processo de secagem. Os dados referentes ao teste de Tukey são apresentados no Anexo C.

Pode-se observar que para os ácidos palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), oléico (C18:1) e para o ácido graxo essencial ETA (C20:4), houve uma significativa redução de seus percentuais quando se aumentou a temperatura do processo de secagem.

Quando se realizou o aumento de altura do leito estático ( $H_0$ ), observou-se que, a uma temperatura de secagem de 70°C a alteração deste parâmetro fluidodinâmico reduziu significativamente o percentual dos ácidos graxos oléico (C18:1), oléico (C18:1vac), eicosenóico (C20:1) e o araquidônico – ETA (C20:4).

A composição dos ácidos graxos encontrada para o material analisado teve comportamento similar ao estudo realizado por Furuya et al (2006), onde foi estudada a espécie de água doce *Macrobrachium amazonicum*.

Entre os ácidos graxos saturados, o Palmítico (C16:0) foi o encontrado em maior quantidade em todas as amostras analisadas. Entre os monoinsaturados, a maior frequência foi do Oléico (C18:1); já entre os poliinsaturados, os mais abundantes foram EPA (C20:5), araquidônico (C20:4) (Eicosatetraenóico) e o DHA (C22:6).

Na Tabela 22 estão apresentadas as somatórias dos ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poliinsaturados.

**Tabela 22.** Somatória dos percentuais dos ácidos graxos em relação ao total encontrado nas amostras analisadas.

Ácidos Graxos	Suspensão	A	B	C	D	E	F
<b>AGS</b>	30,52	24,77	25,62	21,88	20,63	20,31	17,77
<b>AGMI</b>	26,46	12,31	19,31	18,51	17,6	16,56	14,89
<b>AGPI</b>	21,61	10,96	16,92	15,19	14,82	14,24	14,55

AGS – Ácidos Graxos Saturados

AGMI – Ácidos Graxos Monoinsaturados

AGPI – Ácidos Graxos Poliinsaturados

No que diz respeito ao somatório dos percentuais dos ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poliinsaturados, em todas as amostras analisadas o mais predominante foram os ácidos graxos saturados.

Este comportamento difere dos estudos realizados com o músculo de espécies de camarão, onde os ácidos graxos poliinsaturados apresentaram valores percentuais maiores que os demais.

Assim, pode se dizer que o material de estudo não representa uma fonte de ácidos graxos essenciais, pois estes estão em quantidades inferior.

O teor de lipídio bruto nos subprodutos do camarão é demasiadamente baixo para servir como uma importante fonte desses ácidos graxos, quando esses materiais são utilizados como uma fonte de ácidos graxos essenciais.

Pode ser observada também, a influência da temperatura sobre o percentual dos ácidos graxos das amostras, pois quando aumentou a temperatura do processo de secagem observou-se uma redução dos percentuais dos ácidos graxos. Quando foi alterada a altura do leito foi observado o mesmo comportamento. Este fato pode estar associado ao aumento da superfície de troca térmica o que aumenta a degradação dos ácidos graxos pelo calor.

Na Tabela 23 estão representadas as reduções dos ácidos graxos na suspensão e nas diferentes condições de secagem a que foi submetida a pasta de cefalotórax do camarão-rosa.

**Tabela 23.** Percentuais de redução dos ácidos graxos.

Ácidos Graxos	Suspensão	Redução					
		A	B	C	D	E	F
C14:0	3,23	22,60	16,72	30,96	35,60	39,32	44,27
C14:1	1,47	6,12	5,44	1,36	19,05	19,05	23,81
C16:0	17,03	21,84	20,73	28,54	33,47	34,82	43,04
C16:1	5,90	23,90	21,53	21,19	24,92	31,19	37,46
C18:0	8,87	7,33	2,59	22,44	29,09	25,03	36,19
C18:1	10,07	74,38	42,20	43,99	46,47	49,26	55,21
C18:1 vac	3,29	ND	21,28	17,63	24,32	28,57	36,47
C18:2 (LA)	1,77	63,84	55,93	63,84	60,45	63,84	66,10
C20:0	1,05	29,52	24,76	42,86	34,29	42,86	41,90
C20:1	0,81	ND	0,00	ND	17,28	11,11	18,52
C18:3 (LNA)	0,77	ND	12,99	10,39	16,88	27,27	31,17
C20:2	0,65	ND	ND	7,69	24,62	ND	20,00
C20:3	0,68	ND	ND	16,18	13,24	ND	29,41
C20:4 (ETA)	4,59	ND	2,61	58,17	56,21	19,61	21,79
C22:1	3,94	25,63	19,54	19,54	19,54	28,43	34,77
C20:5 (EPA)	8,28	22,83	17,03	18,84	22,46	29,59	33,21
C24:0	0,34	ND	ND	ND	29,41	ND	ND
C24:1	0,98	5,10	8,16	9,18	73,47	68,37	74,49
C22:6 (DHA)	4,87	19,30	15,20	16,84	18,48	27,72	32,24

No geral observou-se que quando se aumenta a temperatura de secagem, o desvio do percentual da redução de ácidos graxos aumenta em relação ao perfil da suspensão.

## 6 CONCLUSÕES

O material particulado obtido através da secagem do cefalotórax do camarão-rosa constitui-se em um produto com elevado teor de proteína, minerais e lipídios. Os lipídios apresentaram os ácidos graxos essenciais, como o ácido linoleico e alfa-linolênico e os ácidos graxos de importante valor nutritivo como eicosapentaenóico (EPA) e docosahexaenóico (DHA). Neste perfil de ácidos graxos os saturados apresentaram maior percentual (30,52%), valor este próximo do que MOURA et al. (2002) determinou para amostras de camarão-rosa resfriadas (33%), porém no mesmo estudo MOURA et al. determinou um maior percentual de poliinsaturados (41%), enquanto que para a suspensão esta valor foi de 21,61%.

Neste trabalho foi apresentada uma nova alternativa na secagem de materiais pastosos ou líquidos, como a suspensão obtida através da maceração da matéria-prima do estudo. O secador tipo leito de jorro apresentou-se satisfatoriamente, pois resultou em um produto final com umidade baixa o que traz benefícios durante a estocagem do pó obtido após o processo de secagem.

Pode-se observar ainda que os parâmetros fluidodinâmicos apresentaram papel importante durante o processo de secagem, pois quando se alterou a altura de leito estático, foram utilizadas alturas de 15 e 22cm, e a temperatura de operação (70, 80 e 90°C), se obteve um produto mais seco, porém com uma taxa de extração de Astaxantina mais baixa.

Aliando os parâmetros de secagem a temperatura de extração do carotenóide, pode-se concluir que os melhores resultados foram obtidos nos produtos secos a 70°C em ambas as alturas de leito estático e submetidos a uma temperatura de extração de 70°C em oleína de palma refinada, onde apresentou valores em torno de 25µg/g de material seco.

Um crescente interesse no uso de Astaxantina na avicultura e piscicultura tem se desenvolvido, uma vez que este pigmento não é sintetizado por animais, devendo ser adicionado nas rações de forma a se obter uma coloração atraente para os consumidores. Além disso, a Astaxantina é um poderoso antioxidante e tem propriedades antitumorais, o que aumenta seu potencial de utilização na área da saúde.

Utilizando a oleína de palma, se obteve uma boa extração da Astaxantina, algo em torno de 23µg/g de amostra seca, verificado através de análises do espectro

de absorção UV/Visível. Este óleo enriquecido pelo carotenóide pode ser muito bem aproveitado como suplemento alimentar para o ser humano, como também importante ingrediente na formulação de rações para a aquicultura.

Em relação aos ajustes realizados entre os modelos cinéticos de transferência de massa e de reação de esterificação, o segundo se mostrou melhor em seus resultados, pois apresentou valores de  $R^2$  maiores do que os valores observados para o modelo de transferência de massa.

Existe a necessidade de se realizar estudos para que sejam validadas as aplicações adequadas para esta gordura enriquecida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemists). **Official methods of Analysis**. 16<sup>o</sup> ed., 3<sup>a</sup> rev, 1997.
- ARRUDA, C. R. **Análise das etapas do processamento de batatas chips**. 2004, 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Católica de Goiás. Goiás, 2004.
- ASSUNÇÃO, A. B.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico do resíduo seco de camarão-rosa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 786-793, 2007.
- BARRETTE, T.; FANE, A. Drying liquid materials in a spouted bed. Drying'89, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1990. p. 415-420.
- BELLO, R. L. et al. Salaya and J. Santacana. "Monografia sobre el cultivo de cachama *Colossoma macropomum* en Venezuela". In R. A. Hernández, ed. *Cultivo de Colossoma*. Bogotá: Editora Guadalupe, 1989.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Diretoria de Uso Sustentável da Biodiversidade e Florestas – DBFLO. Coordenação-Geral de Autorização de Uso e Gestão da Fauna e Recursos Pesqueiros – CGFAP. **Estatística da pesca 2006 Brasil: grandes regiões e unidades da federação**. Brasília, 2008.
- CADUN, A.; CAKLI, S.; KISLA, D. A study of a marination of deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) and it's shelf life. **Food Chemistry**, v. 90, p. 53-59, 2005.
- CHOCIAI, M. B. et al. Cultivo da levedura *Phaffia rhodozyma* (*Xanthophyllomyces dendrorhous*) em processo descontínuo alimentado para produção de astaxantina. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**. v. 38, n. 4, p. 457-462, 2002.
- CUI, H.; GRACE, J. R. Spouting of biomass particles: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4008-4020, 2008.
- DAVIES, B. H. Carotenoids. In: GOODWIN, T. W. **Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments**. London: Academic Press. v. 2, p. 39-165, 1976.
- FREIRE, J. T. Secagem de pasta em leite de jorro. In: FREIRE, J. T.; SARTORI, D. J. M. **Tópicos Especiais em Secagem**, São Carlos: Ed. UFSCar, v. 1, p. 45-85, 1992.
- FURUYA, W. M. et al. Composição centesimal e perfil de ácidos graxos do camarão d'água-doce. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 4, p. 1577-1580, 2006.
- GELPERIN, N. I.; AINSHTEIN, V. G.; TIMOKHOVA, L. P. Hydrodynamic features of conical fluidized beds. **Khim. Mashinostr.**: Moscow, v. 4, p. 12, 1961. In: MATHUR, K.; EPSTEIN, N. Spouted beds. New York: Academic Press, 1974.
- GIOIELLI, L. A. et al. Fracionamento a seco da gordura de frango em escala piloto. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 43, n. 3, p. 421, 2007.

GISHLER, P. E.; MATHUR, K. B. Methods of contacting solid particles with fluids. **National Research Council of Canadian**, 1957.

GRIMALDI, R.; GONÇALVES, L. A. G.; ANDO, M. Y. Otimização da reação de interesterificação química do óleo de palma. **Química Nova**, Vol. 28, n. 4, p. 633-636, 2005.

GORSHTAIN, A. E.; MUKHLENOV, I. P. Hydraulic resistance of a fluidized bed in a cyclone without a grate. II. Critical gas rate corresponding to the beginning of jet formation. **Zh. Prikl. Khim.**, 37(9), 1887-1893, 1964.

GUBULIN, J. N.; FREIRE J. T. Secagem de pastas e similares em leito de jorro: Teste de secagem e estudos hidrodinâmicos globais em escala piloto. In: XVII Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, v. I, São Carlos. **Anais**. São Carlos, 1989. p. 203-213.

GUILHERME, R. F.; CAVALHEIRO, J. M. O.; SOUZA, P. A. S. Caracterização química e perfil aminoácídico da farinha de silagem de cabeça de camarão. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 31, n. 3, p. 793-797, mai./jun., 2007.

GUIMARÃES, I. S. et al. Produção de bixina em leito de jorro. **Revista Brasileira de Engenharia Química**, v. 12, n. 2, p. 22, 1989.

GUZMÁN, E. C. **Bioquímica de pescados e derivados**. Campinas: Editora Funep, 1994. 409p.

HANDAYANI, A. D. et al. Extraction of astaxanthin from giant tiger (*Panaeus monodon*) shrimp waste using palm oil: Studies of extraction kinetics and thermodynamic. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4414-4419, 2008.

HARTMAN, L.; ESTEVES, W. **Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. 169p.

HEU, M.; KIM, J.; SHAHIDI, F. Components and nutritional quality of shrimp processing by-products. **Food Chemistry**, v. 82, p. 235-242, 2003.

HO, Y.; OFOMAJA, A. E. **Kinetic studies of copper ion adsorption on palm kernel fibre**. **Journal of hazardous materials**, v. 137, n. 3, p. 1796-802, 2006.

HOOD, L. F.; ZALL, R. R. Recovery, Utilization and Treatment of Seafood Processing Wastes. **Advances in Fish Science and Technology**, Jubilee Conference of The Terry Research Station, Aberdeen: Fishing News Books Ltda. 1979.

HOVMAND, S. Fluidized bed drying. In: **Handbook of Industrial Drying**. Ed. Marcel Dekker: New York, 1987.

HUFENÜSSLER, M.; KACHAM, G. C. Secagem de purê de banana em um secador de leito com jorro. In: XII Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, v. II, Maringá. **Anais**. Maringá, 1985. p. 340-354.

IWAI, M. **O Camarão no Centro-Sul do Brasil**. SUDELPA e FPIOUSP. 71p, 1973.

JOHNSON, E. A., AN, G. H. Astaxanthin from microbial sources. **Critical Reviews in Biotechnology** 11(4), 297-326, 1991.

KÖPSEL, C. *et al.* Structure investigations on assembled astaxanthin molecule. **Journal of Molecular Structure**, v. 750, p. 109-115, 2005.

LEPAGE, G.; ROY, C. C. Improved recovery of fatty acid through direct transesterification without prior extraction or purification. **Journal of Lipid Research**. v. 25, p. 1391-1396, 1984.

LIMA, M. F. M. **Desidratação de polpa de umbu em leite de jorro - Estudos fluidodinâmicos e térmicos**. 1992, 132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 1992.

LIPÍDIOS: hidrogenação, interesterificação e fracionamento. **Revista Aditivos e Ingredientes**. São Paulo, n. 56, p. 41-50, mai-jun, 2008.

MALÁSIA. Malaysian Palm Oil Council - MPOC. **Annual Report 2007**. Selangor Darul Ehsan, 2007.

MARKOWSKI, A. Drying characteristics in a jet spouted bed dryer. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 70, p. 938-944, 1992.

MARKOWSKI, A.; KAMINSKI, W. Hydrodynamic Characteristics of Jet-Spouted Beds. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 61, p. 377-381, 1983.

MASSARANI, G. *et al.* W. Production of annatto concentrates in spouted bed. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 70, p. 954-959, 1992.

MATHUR, K.; EPSTEIN, N. **Spouted beds**. Nova York: Academic Press, 1974. 303p.

MATHUR, K. B.; GISHLER, P. E. A technique for contacting gases with coarse solid particles. **AIChE**, v. 1, p. 157, 1955.

MORRIS, J. A.; FREIRE, J. T. Análise da taxa de evaporação de água em um secador do tipo leite de jorro com partículas inertes. In: XVIII Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, v. I, Nova Friburgo – RJ. **Anais**. Nova Friburgo, 1990. p. 363-371.

MOURA, A. F. P.; TORRES, R. P.; MANCINI-FILHO, J. *et al.* Caracterização da fração lipídica de amostras comerciais de camarão-rosa. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.52, n.2, p.1-9, 2002.

MUKHLENOV, I. P.; GROSHTEIN, A. E. Investigation of a spouting bed. **Khim. Prom.**: Moscow, v. 41, p. 433, 1965. In: MATHUR, K.; EPSTEIN, N. Spouted beds. New York: Academic Press, 1974.

MUNJUDAR, A. S. Spouted beds: principles and recent developments. In: XVII Encontro Sobre Escoamento Em Meios Porosos, São Carlos – SP, v. 1, p. 3-13, 1989.

NASCIMENTO, T. C. F.; MOTHÉ, C. G. Gerenciamento de resíduos sólidos industriais. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 27, p. 36-48, fev./mar., 2007.

NIKOLAEV, A. M.; GOLUBEV, L. G. Basic hydrodynamic characteristics of the spouting bed. **Izv. Vyssh. Ucheb. Zaved. Khim. Tekhnol.**, Vol. 7, p. 855, 1964.

NUNES, E. C. B. **Propriedades ópticas e térmicas da oleína de palma**. 2008, 83p. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2008.

OGAWA, M. et al. Resíduo do beneficiamento do camarão cultivado: obtenção de pigmentos carotenóides. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 333-337, 2007.

OLAZAR, J. et al. Stable operations conditions for gás-solid contact regimes in conical spouted beds. **Ind. Eng. Chem. Res.** v. 31, p. 1784-1792, 1992.

OLAZAR, J.; SAN JOSÉ, M. J.; AGUAYO, A. T.; ARANDES, J. M.; BILBAO, J. Pressure drop in conical spouted beds. **Chemical Engineering Journal**, v. 51, p. 53-60, 1993.

OLAZAR, M.; JOSÉ, M. J. S.; PEÑAS, F. J.; AGUAYO, A. T., BILBAO, J. Stability and hydrodynamics of conical spouted beds with binary mixtures. **Ind. Eng. Chem. Res.**, v.33, p. 1838-1844, 1994.

OLAZAR, M., San JOSÉ, OLIVEIRA, W. P. et al. Analysis of the drying of pastes in conical spouted beds. *Drying'94*, Hemisphere Publishing Corporation, Gold Coast, Australia, v. B, p. 495-502, 1994.

OLIVEIRA, W. P. **Recobrimento de partículas em leito de jorro**. 1992, 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 1992.

PALLAI, I.; NEMETH, J. Analysis of flow forms in a spouted bed apparatus by the so-called phase diagram. In: **International Congress Chemical Engineer (CHISA)**, Praga, C.2.4., 1969.

PALLAI-VARSÁNYI, E.; PÉTER-HORÁNYI, M. Drying of pastelike materials with high moisture content in inert packed spouted bed dryer. In: **8<sup>th</sup> International Congress of Chemical Engineering, Chemical Design and Automation**, p. 11, 1984.

PASSOS, M. L. et al. Drying of pastes in spouted beds of inert particles: design criteria and modeling. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 605-624, 1997.

PASSOS, R. **Extração e caracterização química de carotenóides provenientes de biomassas de interesse para a aqüicultura**. 2007, 77p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

PATEL, K. et al. Spouting behavior of wet solids. *Drying'86*, Hemisphere Publishing Corporation, New York, v.1, p. 415-420, 1986.

PEDROSA, L. 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**, v. 21, n. 2, p. 154-157, 2001.

PHAM, Q. T. Behavior of a conical spouted bed dryer for animal blood. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 61, p. 426-434, 1983.

PIGOTT, G. M.; TUCKER, B. W. **Seafood: effects of technology on nutrition**. Nova Yorke: M. Dekker, 1990.

RÉ, M. I.; FREIRE J. T. Secagem de extratos farmacológicos. In: XV Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, v. I, Uberlândia – MG. **Anais**. Uberlândia, 1987. p. 399-406.

RÉ, M. I.; FREIRE J. T. Secagem de sangue animal em leito de jorro. In: XVII Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, v. I, Campinas. **Anais**. Campinas, 1986. p. 187-198.

REGER, E. O. et al. Drying of paste-like materials on inert bodies in a spouting bed. **Zh. Prikl. Khim.** (Leningrad), v. 40, n. 10, p. 2189-2191, 1967. In: STRUMILLO, C.; MARKOWISKI, A.; KAMINSKI, W. Modern developments in drying of paste-like materials. *Advances in drying*, v. 2, . MUJUMDAR, A. S. Ed. McGraw Hill, 1983.

REYES, A. Secagem de suspensões em leito de jorro. 1993, 169p. Tese (Tese de Doutorado) – COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, 1993.

RITTNER, H. **Óleo de palma: tecnologia e utilização**. São Paulo: H. Rittner, 1996.

ROCHA, S. C. S. Secagem em sistemas com vibração. In: FREIRE, J. T.; SATORI, D. J. M. Tópicos especiais em secagem. Ed. UFSCar: São Carlos, v. 1, p. 87-127, 1992.

ROCHA S. C. S; FRAILE V.; LESCANO, C. A. A. Determinação das curvas de secagem do resíduo do leite de soja em leito de jorro com inertes e da curva fluidodinâmica para o material inerte. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2005, Campinas. **Artigos Eletrônicos**. Campinas: Unicamp, 2005. Disponível em: <<http://www.feq.unicamp.br/~cobeqic/>>. Acesso em: 28 jul. 2009.

RODRIGUES, A. M. da C. **Secagem de pasta de peixe em leito de jorro**. 2000, 136p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

SACHINDRA, N. M.; BHASKAR, N.; MAHENDRAKAR, N. S. Carotenoids in crabs from marine and fresh waters of India. **LWT - Food Science and Technology**, v. 38, p. 221-225, 2005.

SACHINDRA, N. M.; MAHENDRAKAR, N.S. Process optimization for extraction of carotenoids from shrimp waste with vegetable oils. **Bioresource Technology**, n.96, p. 1195-1200, 2005.

SAITO, A.; REGIER, L. W. Pigmentation of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) by feeding dried crustacean wastes. **Journal of the Fisheries Research Board of Canadian**, v. 28, n. 4, p. 509-512, 1971.

SAN JOSE, M.J.; OLAZAR, M.; AGUADO, R.E.; BILBAO, J. Influence of the conical section geometry on the hydrodynamics of shallow spouted. **Chemical Engineer Journal**, v.62, p.113-120, 1996.

SAMPAIO, L.; LOPES, M.; HERNANDEZ, P.; LIVIO, T. Apreciações relativas a dinâmica do leito de jorro cônico convencional e modificado. In: XII Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, v. I, Maringá – PR. **Anais**. Maringá, 1984. p. 218-235.

SANTOS, A. M. **Análise do potencial do biodiesel de dendê para a geração elétrica em sistemas isolados da Amazônia**. 2008, 224p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, M. M. S.; PEREZ, R.; JÚNIOR, A. G. S.; SIQUEIRA, J. Estudos de Implantação de Unidades de Extração de Óleo Vegetal: Estudo de caso Soja, Dendê e Mamona. In: I CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BODIESEL, 8, 2006, Brasília. **Anais eletrônicos**. Brasília: DF, 2006. Disponível em <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/desenvolvimento/12.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2008.

SANTOS, S. D. **Extração de pigmentos carotenóides de resíduos do processamento do camarão branco *Litopenaeus vannamei* utilizando autólise proteolítica**. 2006, 66p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2006.

SCHNEIDER, T.; BRIDGWATER, J. Drying of solutions and suspensions in spouted beds. **Drying'89**, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1989. p. 421-425.

SEBRAE. **Tecnologia de criação do camarão da Malásia (*Macrobrachium rosenbergii*): manual de carcinicultura de água doce**. Vitória, ES, 2005. 57 p.

SHOEMAKER, S. The use of enzymes for waste management in food industry. In: HARLANDER, S. K.; LABUZA, T. P. **Biotechnology in Food Processing**. New Jersey: Noyes Publishing, 1986. p. 259-269.

SOUZA JR., L. M. **Estudo experimental da secagem de suspensões em leito de jorro cônico com inertes**. 1996, 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1996.

SPTIZNE, P. I.; FREIRE, J. T. Estudo da secagem de pasta: influência da pasta no processo. In: XXIV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, v. 1, Uberlândia – MG. **Anais**. Uberlândia, 1996. p. 185-190.

SRIKET, S. et al. Comparative studies on chemical composition and thermal properties of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) meats. **Food Chemistry**, v. 103, p. 1199-1207, 2007.

STRUMILLO, C. et al. Modern development in drying of pastelike materials. *Advances in Drying*, v. 2: Editora McGraw Hill, p. 193-231, 1983.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. *Drying: principles, applications and design*. **Gordon and Breach Science Publishers**, Montreaux, 1986. 448p.

TOLASA, S. et al. Determination of astaxanthin and canthaxanthin in salmonid. **European Food Research and Technology**. v. 221, p. 787-791, 2005.

TSVIK, M. Z.; NABIV, M. N.; RIZAEVN, U. MERENKOV, K. V.; VYZGO, V. S. The velocity for external spouting in the combined process for production of granulated fertilizer. **Uzb. Khim. Zk.**, v. 11, n. 2, p. 50, 1967. In: OLAZAR, J.; SAN JOSÉ, M. J.; AGUAYO, A. T.; ARANDES, J. M.; BILBAO, J. Stable operations conditions for gas-solid contact regimes in conical spouted beds. **Ind. Eng. Chem. Res.** v. 31, p. 1784-1792, 1992.

VASCONCELOS, M. M. M.; SILVEIRA, V. M. M. A. Rendimento e composição química dos componentes estruturais do camarão branco, *Litopenaeus vannamei*, cultivado no município de Acaraú/CE. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS: estratégia para o desenvolvimento. Recife. **Anais...** Recife: SBCTA, 2004.

VAZQUEZ J.; SANCHEZ-MUNIZ, F. J. Revisión: proteína de pescado y metabolismo del colesterol. **Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, v. 34, n. 6, p. 589-608, 1994.

VELU, C. S.; CZECZUGA, B.; MANUZWAMY, N. Carotenoprotein complexes in entomostracan crustaceans (*Streptocephalos dichotomus* and *Moina micrura*). **Comp. Biochem. Phys. B.**, n. 135, p. 35-42, 2003.

WINTER, C. M. G. **Avaliação dos teores de ácidos graxos trans em batata palha comercializada na cidade de Curitiba - PR**. 2006, 100p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

## **ANEXOS**

## ANEXO A – Dados do estudo fluidodinâmico do secador tipo leito de jorro.

–

**Leito Vazio:**

<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Diferença de Pressão Para Vazão de Ar Crescente (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Diferença de Pressão Para Vazão de Ar Decrescente (N/m<sup>2</sup>)</b>
8,9E-03	0,0	9,8
1,0E-02	29,4	29,4
1,2E-02	39,2	39,2
1,3E-02	58,8	49,0
1,4E-02	68,6	58,8
1,6E-02	88,3	68,6
1,7E-02	98,1	78,5
1,8E-02	117,7	98,1
1,9E-02	127,5	127,5
2,1E-02	147,1	127,5
2,2E-02	156,9	156,9
2,3E-02	186,3	166,7
2,4E-02	215,7	186,3
2,6E-02	225,5	205,9
2,7E-02	245,2	225,5
2,8E-02	274,6	255,0
3,0E-02	304,0	284,4
3,1E-02	323,6	323,6
3,2E-02	343,2	343,2
3,3E-02	372,6	362,8
3,5E-02	402,0	402,0

$H_0 = 15\text{cm}$ :

Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Diferença de Pressão Para Vazão de Ar Crescente (N/m <sup>2</sup> )	Diferença de Pressão Para Vazão de Ar Decrescente (N/m <sup>2</sup> )
1,3E-03	78,5	88,3
2,6E-03	313,8	274,6
3,8E-03	725,6	392,2
5,1E-03	--	488,6
6,4E-03	872,7	620,8
7,7E-03	--	579,9
8,9E-03	1078,6	656,6
1,0E-02	--	657,0
1,1E-02	942,9	696,2
1,3E-02	785,1	730,5
1,4E-02	778,8	761,2
1,5E-02	730,8	747,6
1,7E-02	--	732,3
1,8E-02	752,5	720,6
1,9E-02	650,7	652,9
2,0E-02	670,5	676,6
2,2E-02	658,6	685,9
2,3E-02	685,9	708,1
2,4E-02	675,0	710,4
2,6E-02	724,3	719,9
2,7E-02	709,3	--
2,8E-02	696,2	715,0
2,9E-02	703,2	697,6
3,1E-02	706,0	719,5
3,2E-02	725,6	728,2

$H_0 = 20\text{cm}$ :

Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Diferença de Pressão Para Vazão de Ar Crescente ( $\text{N}/\text{m}^2$ )	Diferença de Pressão Para Vazão de Ar Decrescente ( $\text{N}/\text{m}^2$ )
1,3E-03	68,6	1421,8
2,6E-03	372,6	1372,8
3,8E-03	853,1	1314,0
5,1E-03	1166,9	1294,4
6,4E-03	1392,4	1245,3
7,7E-03	1470,9	1196,3
9,2E-03	1588,5	1176,7
1,0E-02	1598,4	1117,9
1,1E-02	1588,5	1206,1
1,3E-02	1559,1	1206,1
1,6E-02	1451,3	1196,3
1,7E-02	1186,5	1186,5
1,8E-02	1235,5	1127,7
1,9E-02	1186,5	1186,5
2,0E-02	1196,3	1078,6
2,1E-02	1108,1	902,1
2,3E-02	1127,7	872,7
2,5E-02	1186,5	813,9
2,6E-02	1196,3	725,6
2,8E-02	1255,1	715,8
3,0E-02	1294,4	627,6
3,1E-02	1333,6	509,9
3,3E-02	1392,4	313,8
3,4E-02	1421,8	98,1

$H_0 = 22\text{cm}$ :

Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Diferença de Pressão Para Vazão de Ar Crescente ( $\text{N}/\text{m}^2$ )	Diferença de Pressão Para Vazão de Ar Decrescente ( $\text{N}/\text{m}^2$ )
1,28E-03	78,4	107,9
2,81E-03	284,4	294,2
4,08E-03	333,4	411,8
5,36E-03	1157,1	470,7
6,88E-03	1451,3	549,1
8,67E-03	1676,8	627,6
1,07E-02	1814,1	668,9
1,25E-02	1934,4	743,6
1,45E-02	1949,9	815,2
1,58E-02	1887,3	850,6
1,76E-02	1770,2	889,5
1,91E-02	1646,0	931,4
2,07E-02	1447,5	1084,1
2,50E-02	1154,1	1057,2
2,68E-02	1121,8	1123,0
2,91E-02	1121,8	1136,4
3,11E-02	1041,8	937,1
3,26E-02	981,9	981,6
3,49E-02	970,3	964,6

## ANEXO B – Dados de extração do carotenóide.

T<sub>Extração</sub> = 50°C:

Tempo de Extração (min)	Amostra A		Amostra B		Amostra C	
	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)
0	0	0,000	0	0,000	0	0,000
15	0,239	20,843	0,252	21,977	0,224	19,535
30	0,270	23,547	0,262	22,849	0,241	21,017
45	0,280	24,419	0,274	23,895	0,248	21,628
60	0,289	25,203	0,278	24,244	0,257	22,413
75	0,298	25,988	0,294	25,640	0,263	22,936
90	0,305	26,599	0,294	25,640	0,271	23,634
105	0,307	26,773	0,291	25,378	0,278	24,244
120	0,310	27,035	0,295	25,727	0,281	24,506
135	0,308	26,860	0,294	25,640	0,284	24,767
150	0,307	26,773	0,295	25,727	0,291	25,378
165	0,308	26,860	0,295	25,727	0,296	25,814
180	0,310	27,035	0,294	25,640	0,298	25,988

Tempo de Extração (min)	Amostra D		Amostra E		Amostra F	
	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)
0	0	0,000	0	0,000	0	0,000
15	0,202	17,616	0,157	13,692	0,206	17,965
30	0,209	18,227	0,180	15,698	0,213	18,576
45	0,215	18,750	0,193	16,831	0,220	19,186
60	0,223	19,448	0,201	17,529	0,226	19,709
75	0,230	20,058	0,207	18,052	0,234	20,407
90	0,236	20,581	0,211	18,401	0,242	21,105
105	0,241	21,017	0,218	19,012	0,246	21,453
120	0,249	21,715	0,223	19,448	0,251	21,890
135	0,254	22,151	0,229	19,971	0,256	22,326
150	0,259	22,587	0,234	20,407	0,260	22,674
165	0,262	22,849	0,238	20,756	0,267	23,285

180	0,265	23,110	0,241	21,017	0,274	23,895
-----	-------	--------	-------	--------	-------	--------

**T<sub>Extração</sub> = 60°C:**

Tempo de Extração (min)	Amostra A		Amostra B		Amostra C	
	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)
0	0	0,000	0	0,000	0	0,000
15	0,262	22,849	0,258	22,500	0,242	21,105
30	0,276	24,070	0,266	23,198	0,260	22,674
45	0,289	25,203	0,278	24,244	0,272	23,721
60	0,297	25,901	0,295	25,727	0,279	24,331
75	0,306	26,686	0,293	25,552	0,286	24,942
90	0,308	26,860	0,298	25,988	0,293	25,552
105	0,314	27,384	0,306	26,686	0,296	25,814
120	0,321	27,994	0,304	26,512	0,307	26,773
135	0,330	28,779	0,301	26,250	0,314	27,384
150	0,335	29,215	0,300	26,163	0,320	27,907
165	0,339	29,564	0,302	26,337	0,326	28,430
180	0,345	30,087	0,301	26,250	0,331	28,866

Tempo de Extração (min)	Amostra D		Amostra E		Amostra F	
	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)	Abs.	Conc. de ASX (µg/g)
0	0	0,000	0	0,000	0	0,000
15	0,213	18,576	0,184	16,047	0,215	18,750
30	0,221	19,273	0,191	16,657	0,223	19,448
45	0,230	20,058	0,197	17,180	0,231	20,145
60	0,238	20,756	0,208	18,140	0,243	21,192
75	0,243	21,192	0,213	18,576	0,259	22,587
90	0,249	21,715	0,218	19,012	0,262	22,849
105	0,255	22,238	0,226	19,709	0,270	23,547
120	0,260	22,674	0,230	20,058	0,274	23,895
135	0,264	23,023	0,238	20,756	0,279	24,331
150	0,269	23,459	0,241	21,017	0,286	24,942
165	0,272	23,721	0,248	21,628	0,291	25,378

180	0,275	23,983	0,253	22,064	0,298	25,988
-----	-------	--------	-------	--------	-------	--------

$T_{\text{Extração}} = 70^{\circ}\text{C}$ :

Tempo de Extração (min)	Amostra A		Amostra B		Amostra C	
	Abs.	Conc. de ASX ( $\mu\text{g/g}$ )	Abs.	Conc. de ASX ( $\mu\text{g/g}$ )	Abs.	Conc. de ASX ( $\mu\text{g/g}$ )
0	0	0,000	0	0,000	0	0,000
15	0,300	26,163	0,273	23,808	0,271	23,634
30	0,308	26,860	0,287	25,029	0,278	24,244
45	0,314	27,384	0,295	25,727	0,289	25,203
60	0,322	28,081	0,295	25,727	0,294	25,640
75	0,329	28,692	0,298	25,988	0,297	25,901
90	0,331	28,866	0,300	26,163	0,303	26,424
105	0,336	29,302	0,309	26,948	0,315	27,471
120	0,340	29,651	0,308	26,860	0,321	27,994
135	0,346	30,174	0,308	26,860	0,328	28,605
150	0,350	30,523	0,309	26,948	0,334	29,128
165	0,355	30,959	0,310	27,035	0,340	29,651
180	0,359	31,308	0,309	26,948	0,347	30,262

Tempo de Extração (min)	Amostra D		Amostra E		Amostra F	
	Abs.	Conc. de ASX ( $\mu\text{g/g}$ )	Abs.	Conc. de ASX ( $\mu\text{g/g}$ )	Abs.	Conc. de ASX ( $\mu\text{g/g}$ )
0	0	0,000	0	0,000	0	0,000
15	0,229	19,971	0,191	16,657	0,231	20,145
30	0,238	20,756	0,197	17,180	0,239	20,843
45	0,245	21,366	0,205	17,878	0,247	21,541
60	0,249	21,715	0,212	18,488	0,255	22,238
75	0,255	22,238	0,219	19,099	0,263	22,936
90	0,258	22,500	0,223	19,448	0,274	23,895
105	0,264	23,023	0,231	20,145	0,279	24,331
120	0,269	23,459	0,237	20,669	0,286	24,942
135	0,272	23,721	0,245	21,366	0,291	25,378
150	0,276	24,070	0,252	21,977	0,298	25,988
165	0,283	24,680	0,260	22,674	0,305	26,599

180	0,287	25,029	0,269	23,459	0,313	27,297
-----	-------	--------	-------	--------	-------	--------

ANEXO C – Dados relativos ao teste de Tukey com nível de significância de 5%.

- **Comparativo de redução entre as amostras secas e a suspensão:**

<b>AMOSTRAS SECAS</b>						
<b>Ácido Graxo</b>	<b>SA</b>	<b>SB</b>	<b>SC</b>	<b>SD</b>	<b>SE</b>	<b>SF</b>
C14:0	0,73	0,54	1,00	1,15	1,27	1,43
C14:1	0,09	0,08	0,02	0,28	0,28	0,35
C16:0	3,72	3,53	4,86	5,70	5,93	7,33
C16:1	1,41	1,27	1,25	1,47	1,84	2,21
C18:0	0,65	0,23	1,99	2,58	2,22	3,21
C18:1	7,49	4,25	4,43	4,68	4,96	5,56
C18:1 vac	---	0,70	0,58	0,80	0,94	1,20
C18:2 (LA)	1,13	0,99	1,13	1,07	1,13	1,17
C20:0	0,31	0,26	0,45	0,36	0,45	0,44
C20:1	---	0,00	0,81	0,14	0,09	0,15
C18:3 (LNA)	---	0,10	0,08	0,13	0,21	0,24
C20:2	---	---	0,05	0,16	---	0,13
C20:3	---	---	0,11	0,09	---	0,20
C20:4 (ETA)	---	0,12	2,67	2,58	0,90	1,00
C22:1	1,01	0,77	0,77	0,77	1,12	1,37
C20:5 (EPA)	1,89	1,41	1,56	1,86	2,45	2,75
C24:0	---	---	---	0,10	---	---
C24:1	0,05	0,08	0,09	0,72	0,67	0,73
C22:6 (DHA)	0,94	0,74	0,82	0,90	1,35	1,57

Obs: As células que estão em destaque laranja apresentam redução significativa dos percentuais de ácidos graxos, a um nível de significância de 5%.

SA – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra A e da Suspensão.

SB – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra B e da Suspensão.

SC – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra C e da Suspensão.  
 SD – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra D e da Suspensão.  
 SE – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra E e da Suspensão.  
 SF – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra F e da Suspensão.

- Resultados do teste de Tukey para avaliação da influencia da temperatura do processo de secagem.

VARIAÇÃO DE TEMPERATURA				
Ácido Graxo	AC	AE	BD	BF
C14:0	0,27	0,54	0,61	0,89
C14:1	-0,07	0,19	0,20	0,27
C16:0	1,14	2,21	2,17	3,80
C16:1	-0,16	0,43	0,20	0,94
C18:0	1,34	1,57	2,35	2,98
C18:1	-3,06	-2,53	0,43	1,31
C18:1 vac	---	---	0,10	0,50
C18:2 (LA)	0,00	0,00	0,08	0,18
C20:0	0,14	0,14	0,10	0,18
C20:1	---	---	0,14	0,15
C18:3 (LNA)	---	---	0,03	0,14
C20:2	---	---	---	---
C20:3	---	---	---	---
C20:4 (ETA)	---	---	2,46	0,88
C22:1	-0,24	0,11	0,00	0,60
C20:5 (EPA)	-0,33	0,56	0,45	1,34
C24:0	---	---	---	---
C24:1	0,04	0,62	0,64	0,65
C22:6 (DHA)	-0,12	0,41	0,16	0,83

Obs: As células que estão em destaque laranja apresentam redução significativa dos percentuais de ácidos graxos, já as células que estão em destaque amarelo apresentaram aumento significativo no percentual de ácidos graxos a um nível de significância de 5%.

AC – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra A e da Amostra C.  
 AE – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra A e da Amostra E.  
 BD – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra B e da Amostra D.  
 BF – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra B e da Amostra F.

- Resultados do teste de Tukey para avaliação da influência da altura de leite estático ( $H_0$ ) no processo de secagem.

VARIÇÃO DE ALTURA			
Ácido Graxo	AB	CD	EF
C14:0	0,19	0,15	0,16
C14:1	0,01	0,26	0,07
C16:0	0,19	0,84	1,40
C16:1	0,14	0,22	0,37
C18:0	0,42	0,59	0,99
C18:1	3,24	0,25	0,60
C18:1 vac	---	0,22	0,26
C18:2 (LA)	0,14	-0,06	0,04
C20:0	0,05	-0,09	-0,01
C20:1	---	---	0,06
C18:3 (LNA)	---	0,05	0,03
C20:2	---	0,11	---
C20:3	---	-0,02	---
C20:4 (ETA)	---	-0,09	0,10
C22:1	0,24	0,00	0,25
C20:5 (EPA)	0,48	0,30	0,30
C24:0	---	---	---
C24:1	-0,03	0,63	0,06
C22:6 (DHA)	0,20	0,08	0,22

**Obs:** As células que estão em destaque laranja apresentam redução significativa dos percentuais de ácidos graxos, a um nível de significância de 5%.

AB – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra A e da Amostra B.

CD – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra C e da Amostra D.

EF – Relação entre os percentuais de ácidos graxos da Amostra E e da Amostra F.