



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
Departamento de Engenharia de Alimentos

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**Obtenção da Suspensão Protéica de Peixe e Secagem em
Leito de Jorro**

PARECER

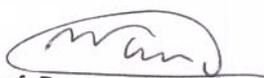
Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Antonio Manoel da Cruz Rodrigues aprovada pela Comissão Julgadora em 28 de setembro de 2000.

Antonio Manoel da Cruz Rodrigues

Mestre em Engenharia de Alimentos

Engenheiro Químico

Campinas, 28 de setembro de 2000

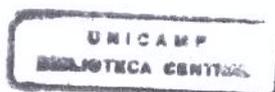

Prof. Dr. Satoshi Tobinaga
Presidente da Banca

Orientador: Prof. Dr. Satoshi Tobinaga

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

Campinas, 2000

São Paulo - Brasil



200017487

UNIDADE BC
N.º CHAMADA:
UNICAMP
R618o
V. _____ Ex. _____
TOMBO BC/ 43080
PROC. 96-278100
C D
PREÇO R\$ 99,00
DATA 14/09/00
N.º CPD _____



CM-00147246-1

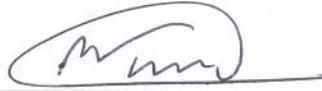
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

R618o Rodrigues, Antonio Manoel da Cruz
Obtenção da suspensão protéica de peixe e secagem em
leito de jorro / Antonio Manoel da Cruz Rodrigues. –
Campinas, SP: [s.n.], 2000.

Orientador: Satoshi Tobinaga
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Processo de leito de jorro. 2. Secagem. 3. *Merluccius
gayigayi*. 4. Pescados. 5. Superfície de resposta. I. Tobinaga,
Satoshi. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade
de Engenharia de Alimentos. III. Título.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Satoshi Tobinaga

Orientador

X S

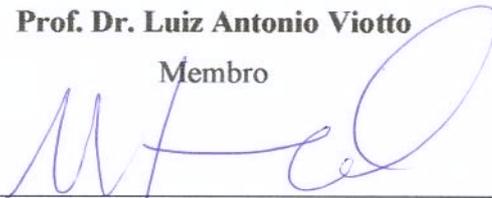
Prof. Dr. Kil Jin Park

Membro



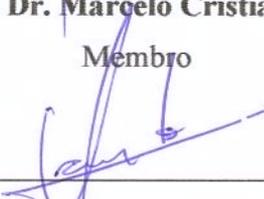
Prof. Dr. Luiz Antonio Viotto

Membro



Prof. Dr. Marcelo Cristianinni

Membro



Prof. Dr. Osvaldir Pereira Taranto

Membro

Prof.^a. Dr.^a. Maria de Jesus de Mesquita Carneiro

Membro

Prof.^a. Dr.^a. Fernanda E. X. Murr

Membro

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

As dificuldades existem não para fazer o Ser Humano sofrer, mas para desenvolver nele a capacidade de superá-las.

John Powell, S. J.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Dedico este trabalho à D. Mariana, minha mãe e ao Sr. Antonio (*in memoriam*) meu pai, pelo amor, carinho, incentivo e compreensão nos momentos mais difíceis e nos mais felizes também e por terem me ensinado a ter coragem de encarar a vida de frente.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar registrado os meus agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial:

Ao amigo e Orientado Prof. Dr. Satoshi Tobinaga pela orientação e pela confiança e liberdade dispensadas durante a realização deste trabalho.

Aos Professores Dr. Kil Jin Park, Dr. Luiz Antonio Viotto, Dr. Marcelo Cristianinni, Dr. Osvaldir Pereira Taranto, Dr^a. Maria de Jesus de Mesquita Carneiro e Dr^a. Fernanda E. X. Murr, membros da banca examinadora pelas correções e valiosas sugestões.

Aos meus irmãos José Sebastião, Afonso e Alfredo e os meus sobrinhos Alonso, Matheus, Luiza, Gabriel e Laura pelo apoio e incentivo.

À Luiza pelo amor, carinho, dedicação e incentivo em todos os momentos.

Aos amigos Gasparetto e Enny pelos conselhos e pelos momentos de descontração no ambiente de trabalho.

À Angela Grandin (Laboratório de Medidas Físicas), Ariovaldo Astini (Laboratório de Separações Físicas) e Dirce Kabuki e Raquel Manhani (Laboratório de Higiene e Legislação), pela ajuda na realização da etapa experimental, pela paciência e profissionalismo.

A Bruno e Marcelo pelos momentos descontração e apoio nos momentos difíceis.

À Suzi e Enelyta pela valiosa ajuda na etapa experimental.

À Universidade do Sul de Santa Catarina UNISUL pela concessão da bolsa CAPES/PICDT.

Aos colegas de Pós Jaime, Raniere, Eder, Patrícia, Ânoar, Daniela, Denise, Alcilene, Simône, Tânia, Alfredo, Sueli, Luciana, Nicole, Maurício, Romildo, Vera, França, Gabriel, Nadia, Celso, Lúcio, Vandoel, Leonardo pela convivência e amizade.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

	Página
Lista de Tabelas	v
Lista de Figuras	ix
Nomenclatura	xiv
Resumo	xvii
Abstract	xviii
1 Introdução	01
1.2 – Objetivos	04
2 Revisão Bibliográfica	05
2.1 – Produção e Consumo de Pescado	05
2.2 – Composição e Aspectos Nutricionais	07
2.3 – Estrutura do Músculo de Peixe	07
2.4 – Composição Protéica do Músculo de Pescado	09
2.5 – Propriedades Funcionais das Proteínas	10
2.6 – Forma de Processamento	12
2.6.1 – Resíduo e Formas de Aproveitamento	14
2.7 – Pasta de Pescado	16
2.7.1 – Processo de Lixiviação da Pasta de Peixe	18
2.7.2 – Aplicação da Pasta de Peixe	21

2.8 – Materiais Pastosos.....	26
2.9 – Equipamentos de Secagem.	26
2.10 – Secagem de pasta em Leito de Jorro.....	28
2.11 – Secagem com Partículas Inertes.....	30
2.12 – Leito de Jorro.....	34
2.13 – Fluidodinâmica do Processo.....	36
2.13.1 – Queda de Pressão Máxima e de Jorro Estável.....	37
2.13.2 – Velocidade de Jorro Mínimo.....	39
2.13.3 – Estabilidade do Leito de Jorro.....	41
2.14 – Transferência de Calor em Leito de Jorro.....	42
2.14.1 – Transferência de Calor Fluido Partícula.....	43
3 Materiais e Métodos.....	46
3.1 – Materiais.....	46
3.2 – Equipamentos.....	46
3.3 – Metodologia.....	49
3.3.1 – Preparo da Suspensão.....	50
3.3.1.1 – Planejamento Experimental do Processo de Extração .	51
3.3.2 – Estudo da Fluidodinâmica do Leito de Jorro.....	54
3.3.3 – Estudo da Vazão Máxima de Alimentação.....	55

3.3.4 – Estudo da Secagem da Suspensão Protéica de Peixe	56
3.3.5 – Avaliação das Propriedades Funcionais	57
3.3.5.1 – Solubilidade	58
3.3.5.2 – Capacidade Emulsificante	58
3.3.6.3 – Índice de Atividade Emulsificante	59
3.4. – Análises	60
3.4.1 – Umidade	60
3.4.2 – Proteína	60
3.4.3 – Lipídio	60
3.4.4 – Cinza	61
3.4.5 – Granulométrica	61
3.4.6 – Densidade	61
3.4.7 – Viscosidade	62
3.4.8 – Análise Microbiológica	62
4 Resultados e Discussão	63
4.1 – Planejamento Experimental do Processo de Extração	63
4.1.1 – Processo de Extração da Suspensão I	63
4.1.2 – Processo de Extração da Suspensão II	80
4.2 – Fluidodinâmica do Leito de Jorro	98

4.3 – Análise da Vazão Máxima de Alimentação com Pasta Padrão.	103
4.4 – Secagem da Suspensão Protéica de Peixe.	106
4.4.1 – Balanço de Massa.	111
4.5 – Avaliação das Propriedades Funcionais.	113
4.6 – Análise Granulométrica.	118
4.7 – Análise Microbiológica.	119
5 . . . Conclusão.	120
6 Sugestões.	123
7 Bibliografia.	124
Apêndice.A.	138
Apêndice.B.	144
Apêndice.C.	146

Lista de Tabelas

	Pagina
2.1 Consumo de Pescado.....	06
2.2 Propriedades funcionais importantes em aplicações alimentícias.....	12
2.3 Número de ciclos de extrações e relação músculo água.....	19
2.4 Diferença entre o músculo de pescado e o <i>Surimi</i>	22
2.5 Especificações FAO/OMS para vários tipos de CPP.....	25
2.6 Secadores de materiais pastosos com as respectivas características físicas do produto final.....	27
2.7 Características dos leitos utilizados na secagem de pastas.....	29
2.8 Correlações para queda de pressão máxima.....	38
2.9 Correlações para queda de pressão para jorro estável.....	39
2.10 Correlações para velocidade de jorro mínimo.....	40
2.11 Correlações para coeficiente de transferência de calor fluido partícula.....	44
2.12 Correlações para coeficiente de transferência de calor fluido partícula global.....	45
3.1 Níveis das variáveis Independentes estudadas no processo de extração.....	52
3.2 Matriz do planejamento com os valores codificados para cada ensaio.....	53
3.3 Valores de H_o , Q/Q_{jm} e T_{fe} , para os teste de evaporação de água.....	56
3.4 Valores de H_o , Q/Q_{jm} e T_{fe} , para os teste de secagem com suspensão de pescado.....	57

4.1	Variáveis reais e valores do rendimento de proteína e da extração de lipídios referente a suspensão I.....	64
4.2	Efeitos principais e erros padrões para o planejamento central rotacional composto referente a suspensão I.....	65
4.3	Coefficientes de regressão para os modelos do rendimento de proteína e extração de lipídios referente a suspensão I.....	67
4.4	Análise de variância para o modelo de 2ª ordem do rendimento de proteína referente a suspensão I.....	68
4.5	Análise de variância para o modelo de 2ª ordem da extração de lipídios referente a suspensão I.....	68
4.6	Variáveis reais e valores do rendimento de proteína e da extração de lipídios referente a suspensão II.....	81
4.7	Efeitos principais e erros padrões para o planejamento central rotacional composto referente a suspensão II.....	82
4.8	Coefficientes de regressão para os modelos do rendimento de proteína e extração de lipídios referente a suspensão II.....	83
4.9	Análise de variância para o modelo de 2ª ordem do rendimento de proteína referente a suspensão II.....	84
4.10	Análise de variância para o modelo de 2ª ordem da extração de lipídios referente a suspensão II.....	85
4.11	Parâmetros globais do leite de jorro.....	98

4.12	Lista das correlações utilizadas para estimativa de Q_{jm} , ΔP_{max} e ΔP_{je}	101
4.13	Comparação dos valores experimentais de vazão de mínimo jorro com os valores experimentais estimados pelas correlações 2.11, 2.12 e 2.15.....	102
4.14	Comparação dos valores experimentais de queda de pressão máxima com os valores experimentais estimados pelas correlações 2.5, 2.6 e 2.7.....	102
4.15	Comparação dos valores experimentais de queda de pressão de jorro estável com os valores experimentais estimados pelas correlações 2.8 e 2.10.....	103
4.16	Vazão máxima de alimentação de água destilada (ml/h).....	104
4.17	Análise das propriedades das suspensões utilizadas na secagem.....	106
4.18	Umidade do pó resultante da secagem da suspensão I para diferentes valores de T_{fs} e W_S com $H_o = 14$ cm.....	109
4.19	Umidade do pó resultante da secagem da suspensão II para diferentes valores de T_{fs} e W_S com $H_o = 14$ cm.....	109
4.20	Influência de H_o e T_{fs} na umidade do pó resultante da secagem da suspensão I para $W_S = 250$ ml/h.....	110
4.21	Influência de H_o e T_{fs} na umidade do pó resultante da secagem da suspensão II para $W_S = 250$ ml/h.....	110
4.22	Dados experimentais obtidos na secagem das suspensão I.....	112
4.23	Dados experimentais obtidos na secagem das suspensão II.....	112
4.24	Taxa de massa perdida calculada pela equação 4.5.....	112
4.25	Comparação das propriedades funcionais do pó das duas suspensões.....	118

4.26	Análise granulométrica das partículas obtidas na secagem das suspensões I e II.....	118
4.27	Análise microbiológica das bases protéicas desidratadas.....	119

Lista de Figuras

	Paginas
2.1 Principais proteínas do músculo de pescado.....	09
2.2 Forma de processamento da produção de pescado.....	13
2.3 Relação entre o pH e grau de inchamento do músculo.....	20
2.4 Diagrama esquemático do leito de jorro.....	35
2.5 Curva característica da queda de pressão em função da vazão de ar	37
3.1 Esquema do sistema experimental utilizado.....	48
4.1 Valores preditos vs valores experimentais para o modelo RP	70
4.2 Valores preditos vs valores experimentais para o modelo EL	71
4.3 Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) para o RP em função da relação solução extratora e pasta de peixe e velocidade de agitação.....	72
4.4 Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) para o RP em função da relação solução extratora e pasta de peixe e número de ciclos de extração... ..	73
4.5 Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função da relação solução extratora e pasta de peixe e tempo de agitação.....	73
4.6 Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função da velocidade de agitação e número de ciclos de extração.....	74

4.7	Superfície de Resposta (b) e Curvas de Nível (b) do RP em função da velocidade de agitação e tempo de agitação.....	75
4.8	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função do número de ciclos de extração e tempo de agitação.....	75
4.9	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação, solução extratora e pasta de peixe e da velocidade de agitação.....	76
4.10	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação, solução extratora e pasta de peixe e do número de ciclos de extração.....	77
4.11	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação solução extratora e pasta de peixe e do tempo de agitação.....	78
4.12	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da velocidade de agitação e do tempo de agitação.....	79
4.13	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função do número de ciclos de extração e da velocidade de agitação.....	79
4.14	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função do número de ciclos de extração e do tempo de agitação.....	80
4.15	Valores preditos vs valores experimentais para o modelo RP	86
4.16	Valores preditos vs valores experimentais para o modelo EL	86
4.17	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) para o RP em função da relação solução extratora e pasta de peixe e velocidade de agitação.....	87

4.18	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) para o RP em função da relação solução extratora e pasta de peixe e número de ciclos de extração...	88
4.19	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função da relação solução extratora e pasta de peixe e tempo de agitação.....	89
4.20	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função do número de ciclos de extração velocidade de agitação.....	90
4.21	Superfície de Resposta (b) e Curvas de Nível (b) do RP em função da velocidade de agitação e tempo de agitação.....	91
4.22	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função do número de ciclos de extração e tempo de agitação.....	91
4.23	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação, solução extratora e pasta de peixe e da velocidade de agitação.....	92
4.24	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação, solução extratora e pasta de peixe e do número de ciclos de extração.....	93
4.25	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação solução extratora e pasta de peixe e do tempo de agitação.....	94
4.26	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função do número de ciclos de extração e velocidade de agitação	94
4.27	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função do tempo de agitação e da velocidade de agitação.....	95

4.28	Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função do tempo de agitação e do número de ciclos de extração.....	80
4.29	Vazão de ar vs queda de pressão para o leito com $H_o=10$ cm.....	99
4.30	Vazão de ar vs queda de pressão para o leito com $H_o=12$ cm.....	99
4.31	Vazão de ar vs queda de pressão para o leito com $H_o=14$ cm.....	100
4.32	Vazão de ar vs queda de pressão para o leito vazio.....	100
4.33	Temperatura do ar de saída vs vazão de água, para $H_o=14,0$ cm e $T_{fe}=100$ °C.....	105
4.34	Temperatura do ar de saída vs vazão de água, para $H_o=14,0$ cm e $T_{fe}=110$ °C.....	105
4.35	Temperatura do leito vs vazão de água, para $H_o=14,0$ cm e $T_{fe}=100$ °C.....	105
4.36	Temperatura do leito vs vazão de água, para $H_o=14,0$ cm e $T_{fe}=110$ °C.....	105
4.37	Varição da queda de pressão em jorro estável em função da vazão da suspensão I; (a) $H_o=10$ cm, (b) $H_o=12$ cm e (c) $H_o=14$ cm.....	108
4.38	Varição da queda de pressão em jorro estável em função da vazão da suspensão II; (a) $H_o=10$ cm, (b) $H_o=12$ cm e (c) $H_o=14$ cm.....	108
4.39	Volume de controle do leito de jorro.....	111
4.40	Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado usando a suspensão I.....	114
4.41	Efeito das variáveis de operação sobre o Índice de atividade emulsificante do produto desidratado para suspensão I.....	115
4.42	Efeito das variáveis de operação sobre a capacidade emulsificante do produto desidratado usando a suspensão I.....	115

4.43	Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado usando a suspensão II.....	116
4.44	Efeito das variáveis de operação sobre o Índice de atividade emulsificante do produto desidratado para suspensão II.....	116
4.45	Efeito das variáveis de operação sobre a capacidade emulsificante do produto desidratado usando a suspensão II.....	117

NOMENCLATURA

A_p	Área superficial do total das partículas	$[L^2]$
C_s	Concentração de sólidos na suspensão	$[\%]$
d_b	Diâmetro superior do leito estático	$[L]$
d_c	Diâmetro da coluna cilíndrica	$[L]$
d_i	Diâmetro do orifício de entrada do jorro	$[L]$
d_p	Diâmetro médio de partícula	$[L]$
g	Aceleração da gravidade	$[Lt^{-2}]$
H_o	Altura do leito estático	$[L]$
h_a	Coefficiente de transferência de calor fluido-partícula região anular	$[Mt^{-3}T^{-1}]$
h_j	Coefficiente de transferência de calor fluido-partícula região anular	$[Mt^{-3}T^{-1}]$
h_{gl}	Coefficiente de transferência de calor fluido-partícula global	$[Mt^{-3}T^{-1}]$
M_i	Massa de partículas inertes	$[M]$
m_F	Massa do produto seco	$[M]$
m_i	Massa inicial do produto	$[M]$
Δh_v	Calor latente de vaporização	$[L^2t^{-3}]$
ΔP_{je}	Queda de pressão no jorro estável	$[ML^{-1}t^{-2}]$
ΔP_{max}	Queda de pressão máxima no leito	$[ML^{-1}t^{-2}]$
ΔT_{ml}	Média logarítmica das temperaturas	$[-]$
Q_f	Vazão de ar	$[L^3t^{-1}]$
Q_{jm}	Vazão no mínimo jorro	$[L^3t^{-1}]$
t	Tempo	
T_{bs}	Temperatura de bulbo seco	$[T]$
T_{bu}	Temperatura de bulbo úmido	$[T]$
T_f	Temperatura do ar	$[T]$
T_{ms}	Temperatura do produto seco	$[T]$
T_{fra}	Temperatura do gás na região anular	$[T]$

T_{fs}	Temperatura do ar de saída	[T]
T_{fe}	Temperatura do ar de entrada	[T]
T_{fj}	Temperatura do gás na região de jorro	[T]
T_{le}	Temperatura do leito	[T]
T_p	Temperatura da partícula	[T]
$U_{f,mj}$	Velocidade mínima de jorro	[Lt ⁻¹]
U_{fj}	Velocidade do ar na região de jorro	[Lt ⁻¹]
U_p	Velocidade da partícula	[Lt ⁻¹]
U_i	Velocidade do ar no orifício de entrada	[Lt ⁻¹]
W_{max}	Vazão máxima de alimentação da suspensão	[Mt ⁻¹]
W_s	Vazão mássica de suspensão	[Mt ⁻¹]
X_F	Umidade final do produto	[%]
X_i	Umidade da inicial do produto	[%]

Letras Gregas

ε_a	Porosidade na região anular	[-]
ε_j	Porosidade no jorro	[-]
ε_{mf}	Porosidade mínima fluidização	[-]
ε_o	Porosidade do leito estático	[-]
ρ_f	Densidade do ar	[ML ⁻³]
ρ_b	Densidade do leito	[ML ⁻³]
ρ_p	Densidade da partícula	[ML ⁻³]
ρ_s	Densidade da suspensão	[ML ⁻³]
μ_s	Viscosidade da suspensão	[ML ⁻¹ t ⁻¹]
μ_f	Viscosidade do ar	[ML ⁻¹ t ⁻¹]
η	Eficiência térmica	[-]

ψ	Fator de forma	[-]
θ	Ângulo do cone	[rad]
ϕ	Esfericidade	[-]

Grupos Adimensionais

$$\text{Ar} \quad \text{Número de Arquimedes} = \frac{gd_p^3 \rho_f (\rho_p - \rho_f)}{\mu_f^2}$$

$$\text{Nu} \quad \text{Número de Nusselt} = \frac{h_{fp} d_p}{k_f}$$

$$\text{Pr} \quad \text{Número de Prandtl} = \frac{\mu_f C_{p_f}}{k_f}$$

$$\text{Re} \quad \text{Número de Reynolds} = \frac{d_p U \rho_f}{\mu_f}$$

$$\text{Re}_i \quad \text{Número de Reynolds no orifício de entrada do ar} = \frac{d_p U_i \rho_f}{\mu_f}$$

$$\text{Re}_{j_{m,i}} \quad \text{Número de Reynolds no orifício de entrada do ar no jorro mínimo} = \frac{d_p U_{j_{m,i}} \rho_f}{\mu_f}$$

$$\text{Gu} \quad \text{Número de Gulkhman} = \frac{(T_f - T_{buf})}{T_f}$$

TESE DE DOUTORADO

Autor: Rodrigues, Antonio Manoel da Cruz

Título: Obtenção da Suspensão Protéica de Peixe e Secagem em Leito de Jorro

Orientador Prof. Dr. Satoshi Tobinaga

Departamento de Engenharia de Alimentos – DEA, FEA, UNICAMP

RESUMO

Este trabalho trata do estudo da elaboração de uma base protéica de pescado, desidratada em leito de jorro com características que permita sua incorporação na formulação de alimentos. Inicialmente estudou-se a influência de quatro variáveis experimentais na extração do material solúvel (lipídios, proteína sarcoplasmática, enzimas, pigmentos sangue). Foram elas: número de ciclos de extração, ml de solução extratora por grama de pasta de peixe e respectivamente velocidade e tempo de agitação. As respostas estudadas foram: rendimento de proteína e extração de lipídios. Para a elaboração da suspensão protéica foram utilizados filés de Merluza (*Merluccius gayigayi*), que foram triturados. A massa resultante foi submetida a dois diferentes tratamentos para remoção do material solúvel. O primeiro utilizando-se soluções de cloreto de sódio e bicarbonato de sódio. O segundo foi realizado com a solução fosfato de sódio e cloreto de sódio. A avaliação das variáveis do processo de extração foi feita através de um planejamento experimental central rotacional composto e da análise das superfícies de respostas. Para os níveis otimizados no planejamento experimental, que proporcionam a melhor combinação entre a máxima remoção de lipídios com a mínima perda de proteína as respostas do rendimento de proteína e da extração de lipídio, usando soluções aquosas de cloreto de sódio e bicarbonato de sódio, foram de 73,56 e 36,02 % respectivamente. Em relação à solução fosfato de sódio e cloreto de sódio o rendimento de proteína foi de 78,76% e a extração de lipídio foi de 39,51%. O estudo da secagem da pasta de peixe foi realizado em leito de jorro cônico cilíndrico, com leito de partículas de esferas de vidro de diâmetro médio de 2,0 mm e densidade de 1,86 g/cm³. A análise dos efeitos dos parâmetros hidrodinâmico e da temperatura sobre as propriedades funcionais do produto seco obtido, em termos de solubilidade, índice de atividade emulsificante e capacidade emulsificante, revelou que os melhores valores funcionais foram obtidos com a temperatura do ar de saída a 75 °C e altura do leito de partículas em 14,0 cm.

Palavras Chaves: Secagem, Leito de Jorro, Propriedades funcionais, Peixe.

DOCTARATE THESIS

Author: Rodrigues, Antonio Manoel da Cruz

Title: Obtainment of fish protein suspension and its spouted bed drying

Major Professor: Dr. Satoshi Tobinaga

Department of Food Engineering – DEA, FEA, UNICAMP

ABSTRACT

This is an experimental research to elaborate a the protein powde that can be used in the preparation of foodstuffs, using a spouted bed dryer. The influence of the process variables, number of extraction cycles, agitation time, ml extracting solution / g fish paste and agitation velocity on the protein yield and the lipids extraction was studied. The protein suspension was obtained by mincing the Hake (*Merlucciu gayigayi*), followed by the removal of the soluble matte. This was carried out using two different methods. The first one used sodium chloride and sodium bicarbonate solutions and the second sodium phosphate and sodium chloride. The extraction process was studied using a central composite design and response surface methodology. Responses of protein yield and lipid extraction were optimized for maximum lipid removal with minimum protein loss. Results showed that using sodium chloride and sodium bicarbonate solution, a 73.56% protein yield and a 36.02% of lipid removal was obtained. A sodium chloride and sodium phosphate solution obtained 78.76% of protein yield and 39.51% of lipid removal was obtained. The fish paste was dried in a spouted bed dryer, with spherical glass beads of 2.0 mm in diameter and a density of 1.86 g/cm³ as the bed material. The effect of the hydrodynamic parameters and the temperature on the functional properties (solubility, emulsifying activity index and emulsifying capacity) of the dried Hake fish paste showed that the best functional values were obtained with an air temperature of 75 °C and a bed height of 14.0 cm.

Keywords: Fish, Drying protein , Spouted bed, Functional properties,

1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se debatido muito sobre o déficit de proteína de alto valor biológico na dieta humana, provocado pelo aumento da população mundial e pela diminuição das fontes de origem animal, principalmente nos países em desenvolvimento. Atualmente a insuficiência de proteína é estimada em 17 milhões de toneladas ano e prever-se que até ano 2005 o déficit chegue a 22 milhões de tonelada ano.

A desnutrição protéico-energética atinge preferencialmente as crianças e pode determinar entre outras conseqüências, graves prejuízos ao crescimento e desenvolvimento, à capacidade física, imunológica e produtora do indivíduo. Segundo estimativa da FAO (Food and Agriculture Organization) e da WHO (World Health Organization), a quantidade de proteína requerida diariamente por indivíduo adulto é de aproximadamente 0,75g por kg de peso corpóreo, isto significa 80 milhões de toneladas por ano (STRUMILLO *et alii*,1995).

Hoje, perto de 1 bilhão de pessoas, em todo mundo, tem no pescado sua primeira fonte de proteína animal, sendo o mesmo responsável por 17% da proteína total da dieta humana. O pescado é considerado um alimento de fácil digestão e rico em proteínas de alto valor nutritivo, além de ser fonte de minerais como o cálcio e fósforo e vitaminas A, D e as do complexo B. A produção mundial atual de pescado capturado é de aproximadamente 100 milhões de tonelada. Sendo que 2/3 dessa produção não vem sendo utilizada para consumo humano (VENUGOPAL, 1996).

A sub-utilização de recursos pesqueiros, pode ser atribuída a inúmeros fatores, que vão desde a falta de tecnologia para a captura, e para prevenção de perdas no transporte e

armazenamento de um produto altamente perecível, à baixa disponibilidade de produtos aceitáveis ao consumidor, nos quais o custo não torne inviável a oferta.

A recuperação das proteínas de pescado de espécies de baixo valor comercial ou de subprodutos de sua industrialização constitui-se em uma alternativa promissora para o aumento de suprimento de proteína de alta qualidade. Esta recuperação também minimiza o grave problema de poluição ambiental, já que tradicionalmente, esses resíduos são lançados diretamente nos efluentes das indústrias pesqueiras.

Trabalhos publicados sobre o assunto (OETTERER, 1994; SUZUKI, 1987; MORAIS *et alii*, 1981 VENUGOPAL & SHAHIDI, 1995) mostram a viabilidade do reaproveitamento desse tipo de material, usando-se técnicas de separação mecânica do músculo de pescado para a obtenção da polpa de pescado, que pode ser utilizada como matéria prima no preparo de vários produtos alimentícios tais como o *surimi*, salsichas, patês e isolados protéicos.

No entanto a polpa de pescado obtida usando-se técnica de separação mecânica apresenta vários problemas, tais como a presença de sangue, lipídios, pigmentos, compostos odoríferos e outros componentes que contribuem e aceleram a deterioração da polpa durante armazenagem. O processo de lixiviação da polpa favorece a remoção desses componentes. A intensidade com que estas substâncias indesejáveis são removidas da polpa encontra-se relacionada com as características da polpa e com as variáveis de operação tais como: número de ciclos de lavagem, relação soluto solvente, tempo de agitação e velocidade de agitação.

O planejamento experimental, associado à metodologia de superfície de resposta tem se tornado uma ferramenta bastante útil em trabalhos que envolvem a seleção e otimização das variáveis de operação, permitindo o estabelecimento das relações empíricas entre as variáveis experimentais e as respostas envolvidas. A utilização desta técnica, segundo KHURI & CORNELL (1987), possibilita:

- Escolher uma série de experimentos que produza medidas confiáveis e adequadas da resposta de interesse;
- Determinar as condições ótimas para que as variáveis produzam um valor máximo ou mínimo na resposta;
- Determinar uma correlação que melhor se adapte aos dados obtidos.

Outro uso da polpa de pescado com grande potencial são os produtos alimentícios desidratados. A secagem de produtos biológicos, como pescado e seus derivados, é bastante utilizada como método de conservação e é particularmente importante devido à decisiva influência na melhoria da qualidade do produto e à diminuição de seu potencial de deterioração durante o período de armazenagem.

A secagem de materiais biológicos como o pescado, dependendo do tempo de exposição e da temperatura a que são submetidos, pode provocar alterações reversíveis ou irreversíveis nas propriedades funcionais das proteínas. As propriedades funcionais são propriedades físico-químicas que afetam o processamento e o comportamento das proteínas em um sistema alimentar, determinando o campo de aplicação, bem como a possibilidade de competição no mercado, na utilização como ingrediente.

Em 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 baixo custo. O mesmo vem sendo bastante usado na desidratação de materiais termosensíveis como os farmacêuticos e alimentícios (GUBULIN & FREIRE, 1989, RÉ & FREIRE, 1986; HUFENÜSSLER & KACHAN, 1985, PHAN, 1983). Comparado com outras técnicas de secagem, os secadores de leito de jorro apresentam algumas vantagens, como, por exemplo, curto tempo de residência do produto no leito, altas taxas de transferência de massa e calor e um bom controle da temperatura do leito.

1.2 - Objetivos

A importância da proteína de pescado, associada à possibilidade de se estudar alternativas de aproveitamento dos recursos pesqueiros sub-utilizados, hoje quase que totalmente descartados, tornando-o um produto com características que permita sua incorporação na formulação de alimentos, motivaram a elaboração deste trabalho. Tem como objetivos principais:

- Avaliar, modelar e otimizar os efeitos das seguintes variáveis: Relação ml de Solução extratora por g de Pasta de peixe (**RSP**), Número de Ciclos de Extração (**NCE**), Tempo de Agitação (**TA**) e Velocidade de Agitação (**VA**), sobre as respostas rendimento de proteína e extração de lipídios, no processo de extração do material solúvel, através do método de superfície de respostas.
- Avaliar a fluidodinâmica do leito de jorro através da determinação dos parâmetros: velocidade de jorro mínimo, Q_{jm} , queda de pressão máxima no leito, ΔP_{max} e queda de pressão de jorro estável, ΔP_{je} , para as alturas do leito de partículas, H_o , que propiciasse ao jorro uma boa qualidade e posteriormente determinar a capacidade máxima de alimentação da suspensão de peixe.
- Analisar no processo de secagem da suspensão de peixe, a influência das variáveis: temperatura de saída do ar, T_{fs} , altura do leito de partículas, H_o e vazão de alimentação da suspensão, W_s , sobre as propriedades funcionais; solubilidade, índice de atividade emulsificante e capacidade emulsificante do produto desidratado em leito de jorro.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - PRODUÇÃO E CONSUMO DE PESCADO

O pescado atualmente é a quinta *commodity* mundial no seu setor, perdendo apenas para o arroz, produtos florestais, leite e trigo; representando 7,5 % de toda produção global de alimentos. Hoje perto de 1 bilhão de pessoas, em todo mundo, tem no pescado sua primeira fonte de proteína animal, representando 28% do total de proteína animal ingerida na Ásia, 21% na África, 8% na América Latina, 7% na América do Norte e 10% na Europa.

Segundo a FAO (Food and Agriculture Organization), em 1998 a produção mundial de pescado foi da ordem de 100 milhões de toneladas, sendo 83 milhões de toneladas de origem marinha e 17 milhões de origem continental com destaque para a China, Peru, Japão e Chile. No mesmo ano, a estimativa da produção brasileira foi da ordem de 780 mil toneladas, sendo 215 mil toneladas de águas continentais e 565 mil toneladas de águas marinhas; um resultado que coloca o país na 24^a posição mundial de captura de pescado.

A produção de pescado no Brasil origina-se principalmente, da pesca extrativa e concentra-se nas Regiões Sul e Sudeste, onde se produzem cerca de 90% do pescado sob inspeção federal. A Região Sudeste detém aproximadamente 46% da produção nacional, a maior parte no estado do Rio de Janeiro (23%), onde se concentra a indústria de conservas de sardinha. O estado de São Paulo é responsável por 22% da produção nacional. A Região Sul, que em 1980 detinha cerca de 54% da produção, caiu e atualmente é responsável por 43%. Essa produção está concentrada nos Estados do Rio Grande do Sul (17%) e Santa Catarina (25%). Neste último o porto de Itajaí é o principal exportador de pescado (GIULIETTI & ASSUMPÇÃO, 1995).

Na Região Norte destaca-se o Estado do Pará, que detém cerca de 6% da produção nacional de pescado, devido à produção de piramutaba e camarão rosa, destinados principalmente à exportação. No Nordeste, o Estado do Ceará é o principal produtor de

pescado, isto em razão da produção de lagosta, produto também destinado à exportação (GIULIETTI & ASSUMPÇÃO, 1995).

A média mundial de consumo de pescado é da ordem de 13,3 kg per capita por ano, enquanto no Brasil o consumo é de 6,4 kg per capita por ano (FAO, 1995), ou seja, 48% do consumo mundial. O baixo consumo do brasileiro torna-se mais evidente quando comparado com o de outros países consumidores, cujos valores encontram-se apresentados na Tabela 2.1. (BORGHETTI, 1996).

Tabela 2.1 - Consumo de pescado em alguns países

País	Quantidade (kg/hab/ano)	Consumo Relativo no Brasil (%)
Japão	72,0	8,89
Portugal	60,2	10,63
Espanha	38,0	16,84
França	31,1	20,58
Peru	27,2	23,53
Chile	23,3	27,47
USA	21,3	30,05
Itália	20,1	31,84
Venezuela	14,1	45,39
Equador	9,0	71,11
Argentina	6,1	104,92

Fonte: FAO, 1995.

Um dos obstáculos ao seu maior consumo pela população brasileira se deve às deficiências dos sistemas de distribuição, comercialização e qualidade do pescado. Outro

fator desfavorável é o hábito alimentar do brasileiro, fixado predominantemente no consumo de carne bovina.

2.2 - COMPOSIÇÃO E ASPECTOS NUTRICIONAIS

A composição centesimal do músculo de pescado varia com a espécie, entre peixes da mesma espécie e entre as diferentes partes do peixe. As causas desta variabilidade são função da alimentação, idade, habitat, época do ano, sexo e mobilidade do peixe (SUZUKI, 1987). Na composição do músculo de pescado a água é o principal constituinte, variando de 66 a 84%. Os teores de proteína oscilam de 15 a 24%; os lipídios de 0,1 a 22%; carboidratos de 1 a 3% e substâncias inorgânicas de 0,8 a 2%.

Sob o ponto de vista nutricional o pescado é reconhecidamente uma excelente fonte de alimento, por possuir proteínas de alto valor biológico em função da composição nobre de aminoácidos, elementos que as constituem. Sua fração lipídica é do tipo poli-insaturada (a relação insaturados e saturados é de 3:1), vital para várias reações bioquímicas do corpo. O teor de colesterol é da ordem de 50 a 90 mg/100 g. É uma excelente fonte de sais minerais, como potássio, cálcio, ferro, fósforo e zinco e vitaminas do complexo B e vitaminas A e D (KINSELLA, 1988; VENUGOPAL & SHAHIDI, 1996).

Estudos mostram que dietas a base de peixe são mais benéficas para a saúde humana, particularmente em termos de saúde coronária (TAKEUCHI & WATANBE, 1984; LANIER & LEE, 1992). O ácido graxo ômega-3 presente no pescado reduz os níveis de colesterol maléfico (LDL - baixa densidade lipoprotéica) e aumenta os níveis de colesterol benéfico (HDL - alta densidade lipoprotéica).

2.3 - ESTRUTURA DO MÚSCULO DE PEIXE

O tecido muscular dos peixes é geralmente de cor branca, à exceção dos subcutâneos, que são escuros por conterem expressivas quantidades de mioglobina. A composição de ambos os tipos de músculo é bastante similar, diferindo pela maior

concentração de mioglobina e de lipídios, vitaminas do complexo B, glicogênio e ácidos nucléicos nos músculos escuros. O músculo escuro contém mais mitocôndrias e menos retículo sarcoplasmático e está associado com a atividade natatória. A proporção de músculo escuro varia com a espécie de peixe, mas pode se intensificar, em uma mesma espécie, em função da atividade física, aumentando no verão e diminuindo durante o inverno. Este aumento geralmente diminui o valor comercial do peixe (HALL & AHMAD, 1992; SUZUKI, 1987; VENUGOPAL & SHAHIDI, 1996).

Os peixes possuem um sistema muscular que se estende por todo o corpo e que está dividido na direção dorsoventral por apófises vertebrais e raios ósseos das aletas e em sentido horizontal por septos. De acordo com o número de vértebras, a musculatura do tronco divide-se em setores musculares (miômeros) separados entre si por membranas de tecido conjuntivo (transversais: miocomatas; horizontais: mioseptos). Os mioseptos orientam-se em linha reta e as miocomatas em zig-zag (BELITZ & GROSH, 1988).

Na seção transversal os miômeros das zonas dorsal e ventral estão ordenados em círculos concêntricos. Cada miômero é controlado por um nervo independente o que possibilita ao peixe flexionar a parte dianteira do seu corpo em uma direção, enquanto dobra a cauda em direção oposta (SUZUKI, 1987).

O miômero é composto de fibras musculares de 20 mm de comprimento e 0,02 a 1mm de diâmetro. Cada fibra é cercada de uma membrana denominada sarcolema, contendo fibrila de colágeno e contém todos os componentes de uma célula, além de miofibrilas (1000 a 2000), com 5 μ m de diâmetro, banhadas pelo sarcoplasma. As miofibrilas são segmentadas em sarcômeros, os quais são compostos de filamentos espessos e delgados. A disposição alternada dos filamentos origina bandas claras, isotrópicas (banda I) e bandas escuras, anisotrópicas (banda A). A linha Z (membrana de Krause) situa-se ao centro da banda I, e a zona H ligeiramente mais brilhante (membrana de Hensen), no centro da banda A. O sarcômero é considerado a unidade morfológica da miofibrila e corresponde à zona entre duas linhas Z e apresenta o padrão estrutural descrito ao longo do comprimento das miofibrilas (SUZUKI, 1987).

Os filamentos espessos são constituídos de moléculas de miosina (peso molecular 470.000), e os filamentos delgados de duplos fios helicoidais de moléculas de actina (peso molecular 42.000), além de troponina e tropomiosina. Entre as miofibrilas há quantidades pequenas de sarcoplasma, mitocôndrias, grânulos de glicogênios e retículo sarcoplasmático (MACKIE, 1983).

2.4 - COMPOSIÇÃO PROTÉICA DO MÚSCULO DE PESCADO

A determinação das diferentes frações protéicas de um peixe em boas condições constitui um dado importante para a avaliação de sua qualidade tecnológica e acompanhamento de mudanças ao longo da estocagem (SPINELLI et alii, 1975). O músculo de pescado contém três grupos principais de proteínas como mostra a Figura 2.1.

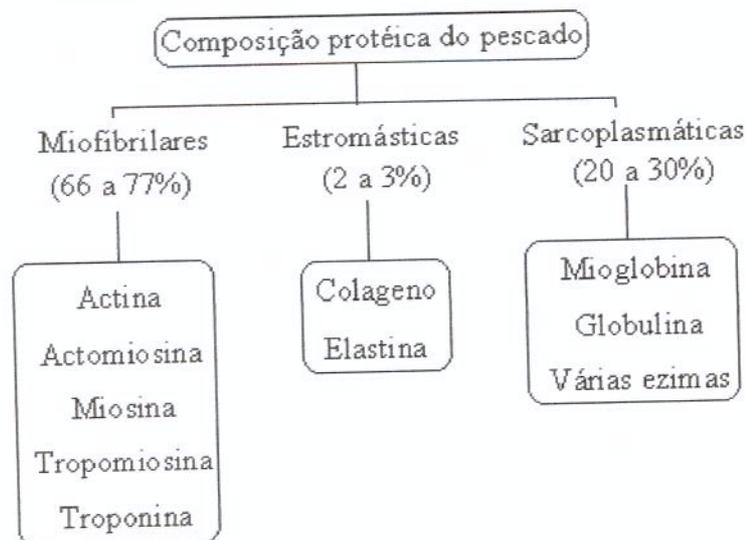


Figura 2.1 - Principais proteínas do músculo de pescado

As proteínas sarcoplasmáticas representam de 20 a 30% do total de proteínas. São extraídas por homogeneização do músculo com água ou soluções salinas de baixa força iônica ou podem ser obtidas simplesmente aplicando pressão sobre o músculo do pescado. Apresentam relativamente baixo peso molecular e suas principais características são: baixa

capacidade de retenção de água, baixa viscosidade, capacidade de adesão às proteínas miofibrilares, impedindo a formação de géis. Do ponto de vista da tecnologia de alimentos a sua remoção é necessária em função do escurecimento desenvolvido durante o aquecimento e armazenamento prolongado do produto (SUZUKI, 1987; SPINELLI *et alii*, 1975).

Em contraste com as proteínas sarcoplasmáticas, as estromásticas são pouco solúveis e representam 2 a 3% do total ou até 10% em alguns peixes cartilagosos. A fração estromástica normalmente contém proteínas do sarcolema, do retículo sarcoplasmático e das membranas mitocondriais, além das proteínas que constituem o tecido conectivo que envolve a célula muscular. Entre as proteínas do tecido conectivo, as mais importantes são o colágeno e a elastina (SUZUKI, 1987; SGARBIERI, 1998).

As proteínas miofibrilares representam 66 a 77% das proteínas totais do músculo do pescado e exercem um papel importante na coagulação e formação de géis, quando se processa o músculo do pescado. Entre as proteínas miofibrilares, a miosina é a mais abundante (50 - 58%) e é extraída por homogeneização em soluções de força iônica superior a 0,3. A miosina é uma proteína extremamente sensível à desnaturação, coagulação ou alterações químicas que comprometem as propriedades físicas dos tecidos musculares (SUZUKI, 1987).

2.5 - PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS PROTEÍNAS

O termo "Propriedade Funcional" inclui todas as propriedades físicas, químicas e estruturais que afetam o processamento e o comportamento de proteínas em um sistema alimentar. A somatória das propriedades funcionais de um alimento ou ingredientes alimentícios é definida como "funcionalidade", esse termo tem sido aplicado para se referir às propriedades não nutritivas que conferem aos alimentos maior conveniência do manuseio, melhor aparência na apresentação e melhor aceitação pelo consumidor. A

maioria das propriedades funcionais influenciam o caráter sensorial de um alimento em especial a textura (KINSELLA, 1976; BODERÍAS & MONTEIRO, 1988; SMITH, 1988).

Uma proteína pode apresentar alta qualidade nutritiva e ao mesmo tempo não possuir propriedades funcionais satisfatórias para que se efetue sua incorporação em um determinado sistema alimentício. Como exemplo temos o concentrado protéico de pescado, que apesar de apresentar elevado valor nutritivo, tem sua aplicação limitada na incorporação em sistemas alimentícios em função da sua baixa solubilidade em água (BODERÍAS & MONTEIRO, 1988).

A manifestação de funcionalidade, por certos componentes dos alimentos, irá depender das seguintes propriedades (HERMANSSO, 1975; KINSELLA, 1984; BODERÍA & MONTEIRO, 1988; DAS & KINSELLA, 1990):

- Propriedades de hidratação: Depende da afinidade ou interação da proteína com a água como solubilidade, dispersibilidade, adsorção e retenção de água e viscosidade.
- Propriedades intermolecular: Depende da habilidade da proteína em formar ligações cruzadas entre suas próprias moléculas ou com outros componentes do alimento, como as propriedades de geleificação, de formação de rede protéica e de adesividade.
- Propriedade interfacial ou de superfície: Esta propriedade está relacionada com a capacidade que tem a proteína para diminuir as tensões entre as fases hidrofílica e hidrofóbica de um alimento, como as propriedades emulsificante e espumantes.

Fatores como condições de processamento, força iônica, pH, temperatura, constante dielétrica do meio, oxidação de grupos SH e interações com outros componentes do alimento podem modificar e determinar a funcionalidade das proteínas. A Tabela 2.2 apresenta as propriedades funcionais mais estudadas e de grande importância em aplicações alimentícias.

Inúmeros trabalhos reportam na literatura de forma mais abrangente os diversos aspectos da funcionalidade das proteínas (KINSELLA, 1976; HALLING, 1981; MORRESSEY *et alii*, 1987; BORDERÍA & MONTEIRO, 1988, GIESE, 1994; WHITAKER, 1995). A revisão efetuada por SMITH (1988), refere-se especificamente sobre a funcionalidade de proteínas de músculos obtidos por cuminição.

Tabela 2.2 - Propriedades funcionais importantes em aplicações alimentícias

Propriedades gerais	Termo funcional específico
Sensorial	Cor, sabor, odor, textura, arenosidade turbidez
Hidratação	Solubilidade, dispersibilidade, absorção de água, viscosidade, formação de massa em panificação, capacidade de se umedecer, de se entumecer, de atuar como agente geleificante, de atuar como agente espessante.
Fatores de superfície	Emulsificação, formação de espuma, formação de um filme proteína/lipídio, retenção de lipídios e de sabor.
Estruturais, Texturais e Reológicas	Elasticidade, arenosidade, coesividade, mastigabilidade, viscosidade, adesividade, capacidade de formar uma estrutura ordenada, pegajosidade, agregação, geleificação, capacidade de ser texturizada, formação de massa em panificação, formação de fibra, capacidade de ser extruzada, elasticidade.
Outras	Compatibilidade com aditivos e com enzimas, reatividade com outros componentes.

Fonte KINSELLA (1976)

2.6 - FORMA DE PROCESSAMENTO

Ao contrário de outros segmentos da indústria de alimentos a indústria de processamento de pescado tem feito modestos investimentos e tentativas para diversificar sua produção e minimizar suas perdas. Nas indústrias pesqueiras se processam uma grande

quantidade de diferentes espécies de pescados comercialmente conhecidas, das quais só uma pequena parte é utilizada na elaboração de produtos destinados ao consumo humano. O resto é descartado ou sub-utilizado (SPINELLI *et alii*, 1977). A indústria de pescado produz para consumo direto o pescado fresco resfriado, pescado congelado inteiro, eviscerado, em filés e em postas; o pescado salgado, prensado, defumado e seco e o pescado enlatado; para consumo indireto, produz farinha e óleo, como mostra o esquema da Figura 2.2 (SIKORSKI & NACZK, 1981; ROS, 1998).

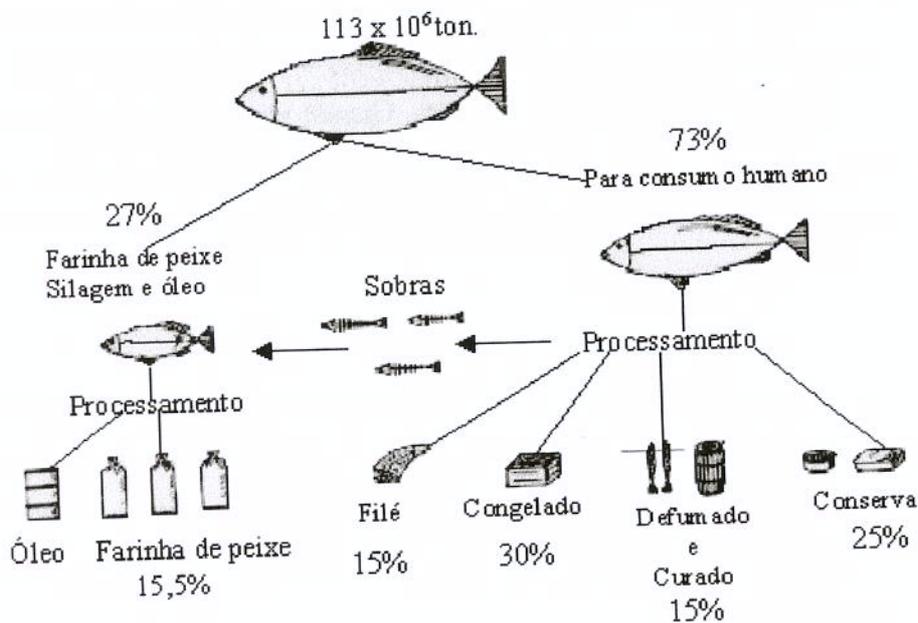


Figura 2.2 - Forma de processamento da produção de pescado

Do total da captura mundial de pescado cerca de 73% são utilizadas para consumo humano nas linhas de salga, secagem, defumação, enlatados e do mercado de pescado fresco. Os 27% restantes são destinados ao preparo de farinha de peixe para ração animal (ROS, 1998). Os processos de comercialização e industrialização para consumo humano rendem de 25 a 70% da matéria-prima como produto comestível, de modo que mais de 20 milhões de toneladas correspondentes à parte não aproveitável, deixam de participar da alimentação humana. Esta sobra é igual ao peso do pescado inteiro utilizado para a produção de farinha, o que mostra que mais de 2/3 da captura atual não está sendo utilizada

como alimento humano, apesar de nutricionalmente ser comparável à porção ora comercializada (REBECA *et alii*, 1991; OETTERER, 1994; VENUGOPAL & SHAHID, 1995).

2.6.1 - Resíduos e Formas de Aproveitamento

O termo resíduo refere-se a todos os subprodutos e sobras de processamentos de alimentos com valor econômico relativamente baixo. No caso de pescado, o material residual pode se constituir da fauna acompanhante e das aparas aproveitáveis das operações de filetagem e posteamento da indústria pesqueira. Grande parte desses resíduos quando recuperadas adequadamente, têm bom mercado, pois representam uma importante fonte de proteína de boa qualidade (MORAIS & MARTINS, 1981; VENUGOPAL & SHAHID, 1995).

Na pesca do camarão sete-barbas (*Xyphopenaeus kroyeri*), por exemplo, são capturados grandes quantidades de peixes e estes na maioria das vezes, são devolvidos mortos ao mar. Quando desembarcados são normalmente destinados a ensilagem ou simplesmente descartados nos efluentes das indústrias pesqueiras, criando um sério problema de poluição ambiental.

Analisando a captura da fauna acompanhante na pesca camaroeira nacional CONOLLY (1987), comenta que a produção em 1986 foi de 414 mil toneladas, das quais 32% foram aproveitadas (desembarcadas) e 68% desperdiçadas (lançadas ao mar). O autor menciona ainda que a proporção de captura em peso foi de 1:11, ou seja, para cada 1kg de camarão foram capturados 11 kg de peixe. Dentre as dez espécies mais abundantes em peso, muitas têm grande importância comercial como a corvina (*Micropogonias furnieri*) e a pescada-foguete (*Macrodon ancylodon*) (MORAIS *et alii*, 1992).

Outra fonte de resíduo já mencionada são as aparas aproveitáveis das operações de filetagem e posteamento. As latas utilizadas no Brasil para o enlatamento de sardinha em

conserva são na maioria retangulares, de 140g de capacidade, nas quais o peixe é colocado no sentido do comprimento do corpo na lata. Esta disposição do produto nas latas faz com que a matéria-prima utilizada, deva ter um limite determinado de tamanho após o processo de descabeçamento e evisceração, normalmente efetuados mecanicamente em uma única operação. Esse limite é próximo de 12 cm, que é o comprimento máximo da lata (MORAIS & MARTINS, 1981).

Porém, as sardinhas, capturadas, principalmente nas costas dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, apresentam, habitualmente, um comprimento total superior a 17 cm, as quais, mesmo após o processo de descabeçamento e evisceração, ficam com um comprimento ao redor de 14 - 15 cm. No ato do enlatamento, esse excesso é descartado, indo as aparas para fábricas de farinha para emprego em rações de animais. Por questões de apresentação e aparência, não se descarta a parte da cauda, de menor diâmetro e de qualidade organoléptica inferior, a parte descartada é justamente a de maior diâmetro, próximo à cabeça. Isto representa uma perda aproximada de 15% em relação ao peso da sardinha (MORAIS & MARTINS, 1981).

Aproveitando resíduos sólidos da indústria pesqueira TARKY *et alii* (1973) prepararam hidrolisados com pepsina. O produto apresentou PER (protein efficiency ratio - quociente de eficiência protéica), de 1,65 (caseína = 3,33). Quando adicionado de caseína (rica em triptofano) em proporções iguais, o valor de PER elevou-se para 3,39. MONTECALVO *et alii* (1984) testaram várias formas de recuperar a proteína que sobra do resíduo da filetagem de linguado, avaliando variáveis como pH do meio de extração, tempo e temperatura do processo, precipitação isoelétrica, relação proteína/solvente, e na forma de complexo de fosfato as proteínas solúveis resultantes da precipitação isoelétrica. O rendimento foi de cerca de 70%.

Utilizando pasta de peixe de baixo valor comercial, lavada com solução de cloreto de sódio e posteriormente cozida ou seca em forno a 100 °C YU & KAUR (1992), preparam biscoitos com a adição de 8, 16 e 24% de peixe na sua formulação. A

aceitabilidade sensorial foi avaliada em termos da cor, textura, odor e sabor. Os resultados mostraram que os biscoitos preferidos foram os obtidos com 16% cujo teor protéico foi de 9,63%.

Estudando a viabilidade da elaboração de uma farinha mista de baixo custo, MORAIS *et alii* (1981), utilizaram polpa recuperada mecanicamente da carcaça de Goete (*Cynoscion jamaicensis*), proveniente da operação de filetagem, em mistura com farinha de *grits* de milho, na proporção de 3:1 e efetuando a secagem em um secador tipo cilindro rotativo. O produto obtido de coloração creme, com leve aroma de peixe apresentou qualidades adequadas para uso como suplemento na elaboração de alimentos destinados a consumo humano. O produto alcançou valores de PER de 3,4 em relação ao PER da caseína de 2,5.

Outra alternativa no aproveitamento de espécies desvalorizadas e sobras aproveitáveis da filetagem é a elaboração de produtos pesqueiros reestruturados. Esta nova geração de produto que é conhecida como análogos de crustáceos. São preparados pela extrusão da pasta de *surimi* em várias formas que se assemelha a carne de crustáceo tais como caranguejo, lagosta, viera e camarão. Um dos produtos desenvolvidos, mais bem sucedido é a "pata de caranguejo", bastante popular nos países asiáticos (BORDERIAS & MATEOS, 1996).

2.7 - PASTA DE PESCADO

Como mencionado anteriormente a utilização da pasta de pescado, como matéria-prima na elaboração de produtos alimentícios é uma excelente alternativa de oferecer ao consumidor uma gama maior de produtos novos ou similares de produtos já conhecidos, feitos à base de pescado. Isso pode significar não somente produtos com alto teor de proteína a baixo custo, como também um aproveitamento mais racional dos recursos pesqueiros principalmente os sub-utilizados (FAO, 1981; MACKIE, 1983; REGIER & RAIZIN, 1988, VENUGOPAL & SHAHIDI, 1995).

O processo de elaboração de pasta de pescado surgiu no Japão no século XVI e foi introduzido nos países ocidentais no final dos anos 60 com o uso de máquinas desossadoras, comumente denominadas de *deboning machine*, que possibilitou a obtenção de um material cárneo (polpa), isento de partículas ósseas, fragmentos de pele e escamas.

A técnica de separação mecânica da carne de pescado baseia-se na extrusão do músculo de pescado, já eviscerado e descabeçado, através de orifícios de um cilindro perfurado. A pele, cartilagem e espinhas são retidas na parte externa do cilindro e são removidos continuamente. O diâmetro dos orifícios da placa variam de 3 a 7 mm, e são selecionados de acordo com o tamanho e qualidade do peixe.

A aplicação desta técnica permite obter rendimentos em carne de pescado, superiores (de 10 a 20%), comparativamente aqueles obtidos por métodos convencionais de filetagem. Por outro lado, em função da destruição da estrutura celular do músculo causada durante o processo de separação, a deterioração da polpa é muito mais rápida do que a de filés obtidos da mesma matéria-prima. (VENUGOPAL & SHAHIDI, 1995).

É comum nessa operação a inclusão na polpa de componentes indesejáveis, como sangue e fragmentos de ossos, bem como a dispersão da flora microbiana presente na superfície da matéria-prima que facilita a aceleração da deterioração da polpa na estocagem (VENUGOPAL & SHAHIDI, 1995).

A qualidade da polpa de pescado reflete-se na suculência, textura, sabor, aroma, cor e nas suas propriedades funcionais e dependem das condições de frescor e do tipo de peixe utilizado. A adição de determinados compostos como os fosfatos, que aumentam a capacidade de retenção de água da proteína muscular e o controle do tamanho das partículas, contribui de forma positiva na melhoria da suculência e da textura. O sabor e o aroma também podem ser corrigidos por meio de misturas com espécies de pescado com propriedades aromáticas aceitáveis e pelo emprego de aditivos, naturais ou artificiais. É

possível também, melhorar a cor e a estabilidade da pasta de pescado através de uma operação de lixiviação do músculo. Dependendo da composição química do pescado ou da mistura a ser utilizada, é recomendável o emprego de antioxidante quando o nível de gordura for acentuado na pasta, a fim de prevenir a rancificação do produto (OLIVER, *et alii*, 1988)

2.7.1 - Processo de Lixiviação da Pasta de Peixe

O processo de lixiviação da pasta de pescado tem como objetivo remover substâncias solúveis, lipídios, sangue, pigmentos, compostos odoríferos e o aumento da concentração de proteína miofibrilar. As substâncias solúveis incluem: proteína sarcoplasmática, enzimas digestivas (principalmente a protease), sais inorgânicos, proteínas de baixo peso molecular e óxido de trimetilamina. A quantidade com que estas substâncias solúveis indesejáveis são removidas da pasta é função de vários fatores, tais como: a qualidade e temperatura da água, o grau de agitação e o tempo de contato água-partículas (LEE, 1984; LANIER, 1986; BODERÍAS & MATEOS, 1996; SUZUKI, 1987).

O processo de lixiviação da pasta de pescado, quando efetuado com água fria (5 - 10 °C) é um método simples e efetivo na remoção de lipídios. Segundo SATO *et alii*, (1987) pode-se eliminar até 60 % da gordura do músculo branco com o uso de água fria e que a adição de bicarbonato promove um aumento na eficiência de extração da gordura.

Na operação de lixiviação os parâmetros: ciclos de lavagem, proporção água músculo e tempo de agitação sofrem grande influência da composição, espécie e da qualidade do peixe que está sendo processado. Na Tabela 2.3 encontram-se alguns exemplos de lavagem de pasta de peixe. Segundo YAMAMOTO (1974), 50% dos componentes solúveis em água são extraídos já no primeiro ciclo e a capacidade de formação de gel aumenta com o número de ciclos de lavagem em até seis vezes.

Tabela 2.3 - Número de ciclos de extrações e relação músculo-água

Ciclos de lavagem	Relação músculo-água	Referência
3	1:5 a 20	OCKERMAN & HANSEN (1994)
1	1:3	MORAIS & CAMPOS (1993)
4	1:4	OLIVER et alii, (1988)
2	1:5	KARMA & LAUBER (1987)
3	1:3 a 4	BORDERÍAS & TEJADA (1987)
5	1:30 a 40	Z. S K. (1984)

Por outro lado um número excessivo de ciclos de lavagem, com tempo de contato músculo-água, prolongado podem provocar o inchamento do músculo, dificultando a remoção da água no refino da pasta, além de gerar custos energéticos, consumo de água e no tratamento do efluente líquido da indústria (SUZUKI, 1987; SOBSTAD & ZETTERLING, 1988; BODERÍAS & MATEOS, 1996).

A qualidade da água utilizada é outro fator que altera a eficiência do processo de lixiviação da pasta de peixe. Os principais parâmetros que determinam a eficiência da água de lavagem são a concentração de vários sais inorgânicos (dureza da água) e o pH (SONU, 1986).

Sais inorgânicos como cálcio e magnésio em concentrações acima de 0,6%, na água de lavagem afetam indesejavelmente a capacidade de formação de géis, causando desnaturação das proteínas miofibrilares durante o armazenamento, além de reduzir a estabilidade térmica durante a lavagem (OKADA, 1981).

Com relação ao pH este pode afetar a retenção de água durante o processo de lixiviação, propriedade de ligação da água e conseqüentemente a habilidade de formação de géis. A Figura 2.3 mostra a relação entre o pH do músculo do pescado e o grau de inchamento. Para pH na faixa de 4,8 a 5,6 a água pode ser eliminada facilmente, mas para assegurar a máxima performance funcional da proteína miofibrilar do peixe, já que a mesma apresenta uma certa instabilidade a pHs inferiores a 6,3, é recomendável que o pH da água seja ajustado a um valor semelhante ao pH do músculo de peixe fresco (6,5 a 7,0). No caso de peixes frescos de carne vermelha ou escura, no qual o pH da carne é um pouco mais baixo (5,7 a 6,0), são utilizadas soluções alcalinas, usualmente bicarbonato de sódio para o ajuste (NISHIOKA, 1984; SUZUKI, 1987).

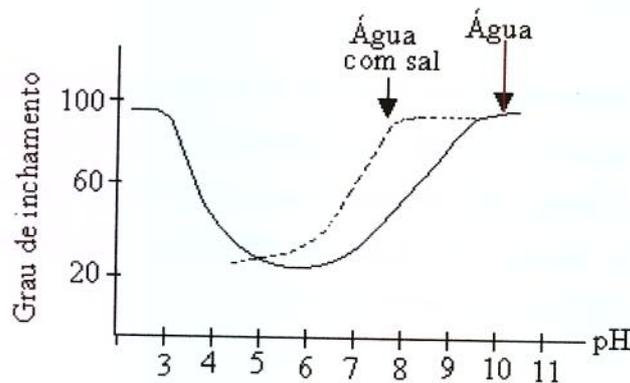


Figura 2.3 - Relação entre o pH e grau de inchamento do músculo.

O congelamento é o processo mais usado na conservação da pasta quando a mesma não é empregada de imediato na elaboração de produtos. A temperatura de congelamento e o tempo de armazenagem da pasta dependem da espécie de peixe e dos tratamentos auxiliares a que foi submetida. Segundo BODERÍAS & MATEOS (1996), a pasta de peixe pode ser armazenada por até 5 meses a temperaturas abaixo de -18°C sem qualquer deterioração apreciável e perda de propriedades funcionais.

A velocidade de congelamento, também é determinante na qualidade da pasta. Quando o tecido é congelado rapidamente formam-se cristais de gelo muito pequenos, tanto

intracelularmente como extracelularmente. Se o congelamento é lento, formam-se grandes cristais de gelo, inicialmente no espaço extracelular. Grandes cristais de gelo intracelular lesionam as membranas celulares (SUZUKI, 1987; HULTIN, 1993, XIONG, 1994).

2.7.2 - Aplicação da Pasta de Peixe

Um dos produtos a base de pasta de pescado mais conhecido é o *surimi* termo japonês dado ao músculo de pescado separado mecanicamente, submetido a um processo de lixiviação com soluções salinas e água e adicionado de crioprotetores, que tem a função de prevenir a desnaturação da actomiosina durante o congelamento e armazenamento (MATSUMOTO, 1978; LEE, 1986; SUZUKI, 1987).

O *surimi* quimicamente é um concentrado de proteína miofibrilares. O produto ideal deve apresentar menos de 1% de gordura e baixo teor de tecido conjuntivo e proteína sarcoplasmática. Na Tabela 2.4 encontra-se a composição, as características organolépticas e o comportamento durante o congelamento do *surimi* e do músculo picado de pescado (TEJADA & BORDERÍAS, 1987).

Uma das propriedades funcionais mais importantes do *surimi* é a sua capacidade para formar géis, para isto é necessária a adição de sal, para que a actomiosina seja extraída das miofibrilas do músculo. Sob ação do sal a actomiosina perde sua estrutura original, passando para um estado disperso, denominado de sol de actomiosina, que quando aquecida adquire a forma de uma rede em cujas as malhas irão alojar-se água e outros ingredientes, conferindo uma textura especial ao produto (TEJADA & BORDERÍAS, 1987)

Tabela 2.4 - Diferenças entre o músculo de pescado e o *surimi*

Especificações	Músculo de pescado picado	<i>Surimi</i>
Umidade (%)	60 - 80*	70 - 80**
Proteína (%)	17	12 - 17
Lipídios (%)	1 - 30*	N.C
Porcentagem de miofibrilares	70 - 77	≅ 100
Porcentagem de sacoplásmicas	20 - 25	N.C
Porcentagem de estroma	3	N.C
Nitrogênio não protéico (%)	1,5 - 3,0	N.C
Aspectos sensoriais	Cor segundo a espécie; contém sangue, resíduo de espinha escama e odor de pescado.	Pasta branca, sem estrutura e sem odor de pescado.

*Segundo a espécie época de captura, **Segundo o processo de fabricação,.

No processo de formação do gel a temperatura para que este atinja a forma desejada deve ser superior a 75 °C. Quando a sol de actomiosina é mantida em repouso e submetida a temperaturas inferiores a 50 °C, num determinado intervalo de tempo, ocorre segundo SUZUKI (1987) o fenômeno de assentamento, formando-se um gel translúcido, denominado pelos japoneses de *Suwari*, que quando aquecido novamente a temperaturas superiores a 75 °C, adquire a forma de gel definitivo. O mesmo autor comenta ainda que para temperaturas de aquecimento em torno de 60 °C, a estrutura do gel altera-se indesejavelmente, passando a um estado não elástico, que impede a formação do gel. Este fenômeno é denominado pelos japoneses de *modori*.

O mecanismo de formação do *suwari* é explicado pela destruição da actomiosina sob ação do calor, formando-se pontes entre as moléculas, com a formação de uma rede terciária onde a água fica retida nos enlaces moleculares formados por meio de uniões

hidrofóbicas e pontes de hidrogênio. Oxidantes relacionados com radicais -SH, têm o efeito de acelerar a formação do *Suwari*, enquanto açúcares como glicose, sacarose, etc., agem de modo inverso (SUZUKI, 1987).

Com relação ao fenômeno do *modori*, três são as possíveis interpretações dos mecanismos de formação: i) a termocoagulação das proteínas miofibrilares, ii) a degradação proteolítica da miosina por proteases alcalinas, que tem atividades entre 50 e 70 °C, com atividade máxima a 60 °C e iii) participação de proteínas não enzimáticas (MAKINODAM, 1982, SUZUKI, 1987).

O *surimi* é uma fase intermediária no preparo de uma grande variedade de produtos como: *kamaboko*, *chikuwa*, *hanpen*, *tempura kaen-surimi* (produtos tradicionais da culinária japonesa), salsichas, *fisheburge*, nuggetes e análogo de crustáceos (pata de caranguejo, camarão, lagosta etc). As condições de manufatura como o método de cozimento, que podem ser fritos, a vapor, cozidos e assados, depende do tipo de produto que está sendo elaborado (TEJADA & BORDERÍAS, 1987; SUZUKI, 1987; VENUGOPAL & SHAHIDI, 1995).

Outra aplicação da pasta de pescado é na elaboração de produtos desidratados. A desidratação de produtos biológicos, tais como pescado e seus derivados é um processo atrativo e importante devido sua decisiva influência na melhoria da qualidade do produto e por diminuir seu potencial de deterioração, tornando estável durante o período de armazenagem sem a necessidade de refrigeração. Na linha de produtos desidratados a partir de polpa de pescado o Concentrado Protéico de Pescado (CPP) é o mais conhecido e estudado.

O concentrado protéico de pescado é um produto desidratado, estável, no qual as proteínas estão mais concentradas que no pescado original. O termo concentrado protéico de pescado foi adotado pela FAO/OMS/UNICEFE, em 1961, em substituição ao nome que predominava anteriormente (farinha de pescado para consumo humano). A FAO classifica os CPPs em três categorias. Tipo A, um produto na forma de pó sem nenhum odor ou sabor

e contendo no máximo 0,75% de gordura. O tipo B, também na forma de pó com ligeiro odor ou sabor e contendo no máximo um teor de gordura de 3%. O tipo C é uma farinha de pescado comum, mas preparada sob condições estritamente higiênicas. Outras especificações como critério de classificação dos CPPs encontram-se na Tabela 2.5 (BRODY, 1965; HALLIDAY & DISNEY, 1971; SUZUKI 1987).

Os CPPs como o *surimi* não são produtos de consumo direto e sim um complemento que pode ser incorporado a outros alimentos, principalmente aqueles ricos em carboidrato e deficientes em proteínas como por exemplos: pães, biscoitos, molhos, pastas tipo talharim e sopas em um nível que não afete as propriedades sensoriais destes alimentos (HALLIDAY & DISNEY, 1971; GEROMEL & FORSTER, 1982).

O processo para obtenção do CPP foi discutido em inúmeros trabalhos. Alguns tratam dos vários métodos empregados na elaboração dos CPPs de forma mais detalhada (BRODY, 1965; HALLIDAY & DISNEY, 1971; BERTULLO, 1975; HALL & AHMAD, 1992) e outros estudam o emprego e aproveitamento de espécies sub-utilizadas no preparo de CPP com consideráveis qualidade nutricional e propriedades funcionais (SPINELL *et alii*, 1972; CHEN *et alii*, 1975; SIKKA *et alii*, 1979; SHAHIDE & VENUGOPAL, 1994; VENUGOPAL *et alii*, 1994).

O Ministério da Agricultura e da Pesca do Japão desenvolveu um concentrado protéico texturizado denominado de *marinbeef*, que apresenta sabor agradável após a reidratação. Foram preparados pratos em que substituiu-se a carne bovina por *marinbeef*, em várias proporções, como hambúrgueres, almôndegas, cubos de carne empanados e molho de carne e os mesmos tiveram uma alta aceitação. Hambúrguer, cuja porcentagem de carne foi substituída em até 60% quando comparado com uma amostra com 100% de carne, não se observou nenhuma diferença em relação ao gosto e textura. O valor nutritivo do *marinbeef* foi semelhante ao dos peixes de origem, atingindo valores como 98% de digestibilidade, NPU (Net protein utization - utilização líquida da proteína) de 88 - 90, PER de 3,5 a 3,7 (caseína = 2,8), e valor biológico de 89 a 92 (SUZUKI, 1987).

Tabela 2.5 - Especificações da FAO/OMS para os vários tipos de CPP.

Especificações	Tipos de Concentrados protéicos de pescado		
	A	B	C
Conteúdo de proteína (N x 6,25) a 10% de umidade	mín. 67,5%	ídem tipo A	mín. 60%
Digestibilidade pela pepsina	mín. 92%	ídem tipo A	ídem tipo A
Lisina disponível	Mín. 6,5% da proteína	ídem tipo A	ídem tipo A
Umidade	máx. 10%	ídem tipo A	ídem tipo A
Gordura	máx. 0,75%	máx. 3%	máx. 10%
Cloretos	máx. 1,5%	ídem tipo A	ídem tipo A
Sílica	máx. 0,5%	ídem tipo A	ídem tipo A
Odor e sabor	Isento	ligeiro	ídem tipo B
Estabilidade na estocagem após 6 meses a 27°C	Isento de odor e sabor estranhos ou perda de proteína	Nenhuma especificação para sabor e odor. Nenhuma perda de proteína	ídem tipo B
Microbiologia	Ausência de <i>Enterococos</i> , <i>Salmonela</i> , <i>Shigella</i> , <i>Estafilococos coagulase + e anaeróbios patogénicos</i>	ídem tipo A	ídem tipo A
Contagem bacteriana total a 32°C	10 ⁴ col/g	Nenhuma especificação	ídem tipo B
Toxicologia	Nenhum aditivo ou resíduo de solvente tóxico	Nenhum flavorizante ou antioxidante e resíduo de solvente tóxico	ídem tipo B
Necessidade de teste toxicológico	Sim	Sim	Sim

2.8 - MATERIAIS PASTOSOS

Estruturalmente, considera-se como material pastoso um sistema sólido-líquido constituído de partículas microscópicas ou coloidais dispersas em uma fase líquida. Suas propriedades dependem: do tamanho e forma das partículas, concentração de sólidos, das interações partícula - partícula e partícula líquido (PASSOS *et alii*, 1997). Em virtude do grande número de variedades de pasta, torna-se difícil distinguir tipos particulares de estruturas; no entanto de acordo com o conteúdo de sólido, STRUMILLO & KUDRA (1986), classificam os materiais pastosos em quatro grupos: suspensões ou lamas bombeáveis, soluções e emulsões, pasta dura e pasta fofa.

Quando submetido a determinados processos térmicos, 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 elastofrágio, em que ele quebra facilmente. Essa transição pode resultar em considerável aderência do material às paredes do equipamento, formando-se aglomerados que requererão maior tempo para secagem (STRUMILLO *et alii*, 1983; FREIRE, 1992; ROOS & KAREL, 1991).

Diversos materiais pastosos de naturezas orgânica e biológica, alguns, de interesse comercial, principalmente nas indústrias alimentícia e farmacêutica têm sido submetido à operação de secagem, como por exemplo: sangue animal, purê de banana, polpa de tomate, polpa de urucum, leveduras, clara e gema de ovos, concentrado protéico de pescado, amido farinha de mandioca e soluções hidro-alcoólicas de guaraná. Segundo PASSOS *et alii* (1997), este tipo de material apresenta sérias restrições a temperatura e ao tempo de residência durante o processo de secagem.

2.9 - EQUIPAMENTOS DE SECAGEM

Em função do elevado número de variáveis envolvidas na caracterização da pasta, assim como, a grande variação de granulometria do produto final, não há um padrão de secador recomendado (FREIRE, 1992). O que justifica a realização de uma investigação

independente para cada material a ser processado. A Tabela 2.6 apresenta uma relação de diferentes tipos de secadores, para materiais pastosos e a classificação do produto final da operação de secagem.

Tabela 2.6 - Secadores de materiais pastosos com as respectivas características físicas do produto final (FREIRE, 1992).

Pasta	Secador	Produto final
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	Pós granulados grosseiros
	Jorro	
Pastas Fofas/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) Pastas com composição entre as duras e fofas/lodos;

(b) Pastas duras com alteração estrutural;

(c) Pasta derivada das fofas/lodos por liquefação.

2.10 - SECAGEM DE PASTA 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 usados, são citados na literatura, materiais de caráter orgânico, inorgânico e biológico. Os primeiros estudos sobre aplicação do leito de jorro para este tipo de material foram realizados na ex-URSS por REGER *et alii* (1967) citado por MATHUR & EPSTEIN (1974) na secagem de tintas e lacas, soluções salinas e de açúcar. Posteriormente surgiu a secagem de sangue animal com a finalidade de obter suplementos alimentícios ricos em ferro (PHAM & POOLEY, 1981; PHAM, 1983; RÉ & FREIRE 1986, 1987).

Destas publicações conclui-se que a secagem em leito de jorro é uma alternativa barata em comparação com a secagem em um secador *spray dryer*. O leito de jorro tem maior capacidade volumétrica de processamento por unidade de área ocupada. De acordo com os dados obtidos por FANE *et alii* (1980) o leito de jorro apresenta uma capacidade volumétrica por unidade de área ocupada, no mínimo, dez vezes maior que do *spray dryer*.

Outro fator positivo na utilização do leito de jorro na secagem de pasta é a sua eficácia na desidratação de produtos termicamente sensíveis como suspensões de proteínas e com baixa viscosidade e conteúdo de gordura (PASSOS *et alii*, 1997). Na Tabela 2.7 encontra-se outras aplicações, investigadas principalmente a nível de laboratório nas quais analisou-se tanto a umidade como a qualidade dos respectivos produtos.

O processo de secagem de pastas e suspensões ocorre quando a pasta ou suspensão que foi injetada no leito recobre as partículas inertes que formam o mesmo, 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), acima das regiões anular e de jorro, através de ejetores (FREIRE, 1992).

Tabela 2.7 - 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	Referência
<ul style="list-style-type: none"> •LJCC $0,14m \leq d_c \leq 0,30m$ $d_c/d_i = 6: \theta=60^\circ$ •Alimentação da suspensão no topo do leito 	<ul style="list-style-type: none"> •Polietileno $d_p=3,9mm; \phi < 1,0;$ $\rho_p = 820kg/m^3$ $0,30kg \leq M_i \leq 6,0kg$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Sangue animal $0,06 \leq W_s/M_i \leq 1,2/h$ $c_s = 0,16$ •Extrato vegetal $W_s/M_i = 0,05/h$ $0,03 \leq c_s \leq 0,15$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Similar ao obtido em spray dryer •Similar a produtos comerciais 	Organoléptica Proteína, umidade. Solubilidade Densidade Granulométrica	RÉ (1986) RÉ & FREIRE (1989)
<ul style="list-style-type: none"> •LJCC $d_c=0,152m$ $d_c/d_i = 4: \theta=60^\circ$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Esfera de vidro $d_p=2,7 e 5,0 mm;$ $\phi = 1,0$ $\rho_p = 2800kg/m^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Polpa de banana •Polpa de tomate $W_s \leq 2,25 kg/h$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Melhor que o obtido em drum dryer •Inferior a produtos comerciais 	Umidade, pH, açúcar reductor, acidez total, viscosidade, cor	HUFENÚSSLER (1985) KACHAN (1988)
<ul style="list-style-type: none"> •LJCC $d_c=0,297m$ $d_c/d_i = 6: \theta=60^\circ$ •Alimentação da suspensão no topo do leito 	<ul style="list-style-type: none"> •Polietileno $d_p=3,16 - 3,26 mm; \phi = 0,82 - 0,86$ $\rho_p=1011 - 1045kg/m^3$ $1,1kg \leq M \leq 7,5kg$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Polpa de umbu $0,04 \leq W_s/M_i \leq 0,31/h$ $0,076 \leq c_s \leq 0,206$ •Polpa de acerola $W_s/M_i = 0,02/h$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Apta para o preparo de sucos 	Umidade e teor de vitamina C	LIMA (1992) ALSINA et alii, (1996)
<ul style="list-style-type: none"> •LJC $d_c=0,60m$ $d_c/d_i = 11,3: \theta=60^\circ$ •Alimentação da suspensão na base do leito 	<ul style="list-style-type: none"> •Polietileno $d_p=3,0mm$ $0,67 \leq \phi \leq 0,80$ $\rho_p = 920kg/m^3$ $6,0kg \leq M \leq 10,0kg$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Susp. de alumina $0,08 \leq W_s/M_i \leq 0,35/h$ $0,10 \leq c_s \leq 0,20$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Similar a de um catalisador comercial 	Umidade granulométrica Porosidade	REYES (1993)
<ul style="list-style-type: none"> •LJC $d_c=0,60m$ $d_c/d_i=16,67: \theta=60^\circ$ •Alimentação da suspensão no topo do leito 	<ul style="list-style-type: none"> •Polietileno $d_p=3,54mm;$ $\phi = 0,74$ $\rho_p = 1000kg/m^3$ $6,0kg \leq M_i \leq 10kg$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Leite desnatado $0,15 \leq W_s/M_i \leq 1,44/h$ $0,05 \leq c_s \leq 0,09$ 	<ul style="list-style-type: none"> •Propriedades físicas similares as de produtos comerciais 	Umidade granulométrica Cor.	SOUZA Jr. (1996)

As partículas de 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 elastrofrágio a película de suspensão torna-se frágil e friável em razão das colisões entre as partículas, que favorecem a abrasão da película seca e a elutriação dos finos. O pó formado é arrastado pela corrente de ar e separado em ciclone ou em um sistema de filtros (PASSOS *et alii*, 1997). As partículas de inertes, livres do produto, recirculam no leito, sendo novamente recobertas pela suspensão.

Segundo MATHUR & EPSTEIN (1974) o processo cíclico de deposição, secagem e quebra da película 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 estacionária, seja pequena e o movimento do leito de partícula 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.

2.11 - SECAGEM COM PARTÍCULAS INERTES

Na secagem em leito de jorro com corpos inertes, como mencionamos anteriormente o material úmido é pulverizado sobre as partículas de inertes, cobrindo-lhes a superfície por uma fina película de suspensão. Os corpos inertes devem ser resistentes as altas temperaturas e ao atrito, de modo a manter a sua forma geométrica e dimensões, evitando alterações na dinâmica do leito durante o processo e de modo a não contaminar o produto seco (STRUMILO & KUDRA, 1986). O material do inerte não pode ser poroso nem tão pouco 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 está 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 - VARSONYI & PETE -HRANYI, 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 (1990), a cinética do processo de secagem pode ser dividida em duas fases: cinética da secagem do material e cinética da 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 abrupto crescimento na taxa de aglomeração e formação de grânulo, os quais provocarão o aparecimento de blocos no leito (STRUMILLO *et alii*, 1983).

A remoção contínua do material que cobre os inertes requer que eles sejam secos a um nível de umidade tal, que se torne friável (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 adimensional [2.1] (REGER *et alii* 1967).

$$N_u = (-0,062k_e + 0,17) A_r^{-0,438} \cdot R_e^2 \cdot G_u^{0,61} \cdot \frac{d_p}{H_o} \quad (2.1)$$

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

onde: k_e : coeficiente de utilização de energia = (calor para evaporação de umidade)/(calor total consumido).

$$A_r: \text{Número de Arquimédes} = [d_p^3 g \rho_f (\rho_p - \rho_f)] / \mu_f^2$$

$$R_e: \text{Número de Reynolds} = U_p d_p \rho_f / \mu_f$$

$$G_u: \text{Número de Gulkhaman} = (T_f - T_{bu f}) / T_f$$

H_o : Altura estática do leito;

d_p : Diâmetro da partícula.

Para leito de jorro com inertes foi proposta a equação [2.2] para o cálculo da umidade do produto final (CSUKÁS *et alii*, 1976).

$$X_F = X_i \left[1 - \frac{(1 - e^{-\eta})}{\eta} \right] \quad (2.2)$$

onde:

$$\eta = \frac{d_p \rho_s X_i \Delta h_v m_i}{6h(T_{fs} - T_{ms})m_F'(1 + X_i)} \quad (2.3)$$

O parâmetro que mais influencia a umidade do produto é a temperatura de saída do agente secante, não havendo efeito prático significativo da temperatura de entrada (PASSOS *et alii* 1987).

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

Na operação em regime permanente também ocorre aglomeração do 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 aumento da taxa de alimentação, que impossibilita o estabelecimento do regime permanente pode ser minimizado com 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 de massa (SPITZNER & 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 (SPITZNER & FREIRE, 1996). Essas forças estão relacionadas ao filme líquido que se fixa na superfície da partícula inerte, gerando pontos de contatos 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 alii*, 1997). As pontes líquidas promovem um grande aumento nas forças de adesão intrapartícula, aumentando a aglomeração entre as partículas. SPITZNER & FREIRE (1997) estudando a presença da pasta no leito de jorro com inertes, verificaram que, à medida que as partículas recobertas pela pasta circulam pelo leito a água evapora, aumentando a concentração de sólidos na pasta, ocorrendo a substituição das pontes líquidas por ponte sólidas.

As pontes sólidas são mais fortes que as líquidas, portanto o aparecimento dessas pontes aumenta ainda mais a aglomeração das partículas. A aglomeração instabiliza a circulação e o jorro de partículas, havendo a necessidade de uma maior vazão de ar para mantê-los (SPITZNER & FREIRE 1997).

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. Pelo contato direto gás quente-suspensão e pelo contato indireto, onde o gás transfere calor para as partículas de inertes, que por sua vez transferem este calor para suspensão. O contato direto ocorre predominantemente na região de jorro, enquanto o contato indireto se dá principalmente na região anular (PASSOS *et alii*, 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.

2.12 - LEITO DE JORRO

O leito de jorro foi projetado originalmente para processamento de partículas cujos tamanhos impossibilitariam a fluidização no leito fluidizado convencional, necessitando, portanto de altas velocidades de entrada do gás. A primeira aplicação dessa técnica foi na secagem de trigo por GISHLER e MATHUR em 1954 no "National Research Council" do Canada (MATHUR & EPSTEIN, 1974).

O leito de jorro na forma como foi concebido, é conhecido atualmente como leito de jorro convencional (LJC), consta basicamente de uma coluna cilíndrica de base tronco-cônica onde o fluido, no caso o ar quente, é injetado centralmente na base da coluna contendo as partículas, a uma dada vazão característica do sistema fluido-partícula. Formando-se, então, 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 a fase densa de sólidos ($\epsilon_a = \epsilon_{mf}$), com o movimento descendente das partículas em contra-corrente com fluido (transporte com leito deslizante). Esse fenômeno característico do leito de jorro provoca uma circulação das partículas, como mostra a representação esquemática do leito de jorro na Figura 2.4. Embora as partículas possam voltar ao jorro ao longo da interface jorro-anulo, a maior parte retorna pela região inferior da base tronco-cônica (MATHUR & EPSTEIN, 1974).

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 dos sólidos, tornando possível a operação de secagem a temperaturas do gás superiores àquelas verificadas em um leito fluidizado convencional. Aplica-se, assim à secagem de materiais termicamente sensíveis, como semente de trigo e ervilha (HOVMAN, 1987),

extratos vegetais farmacológicos (RÉ e FREIRE, 1987), no recobrimento de comprimidos (ROCHA, 1992), na extração mecânica de corantes naturais de sementes tropicais (urucum) (GUIMARÃES *et alii*, 1989).

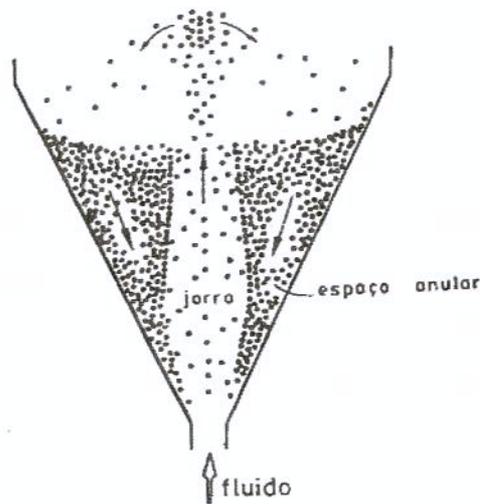


Figura 2.4 - Diagrama esquemático do leito de jorro.

Embora a técnica do leito de jorro seja eficiente para processos envolvendo partículas grandes ($d_p > 1\text{ mm}$), 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 do jorro estável.

Algumas limitações na utilização do leito de jorro convencional foram relacionadas por MUJUMDAR (1989): elevada perda de carga antes de se atingir a formação do jorro, limite 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 massa, faixa de operação limitada, capacidade reduzida por unidade de espaço, devido aos limites no diâmetro da coluna e a máxima altura do leito e a dificuldades no "scale up".

Como forma de minimizar essas limitações do leito de jorro convencional algumas modificações na configuração do leito foram desenvolvidas, afim de atender as necessidades do processo (PASSOS *et alii*, 1987). Dentre essas, ressalta-se aqui a do leito de jorro cônico, bastante estudada e utilizada em países do leste europeu.

A principal vantagem do uso da geometria cônica 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 alii*, 1992; HADZISMAJLOVIC *et alii*, 1983). A queda de pressão no mínimo jorro é, também menor nesta geometria cônica. No entanto, sérias instabilidades na formação do jorro podem ocorrer devido ao dimensionamento do diâmetro do injetor (MASSARANI, *et alii*, 1992).

Do ponto de vista da fluidodinâmica, os principais parâmetros relacionados ao projeto de leitos de jorro são: a velocidade de jorro mínimo, U_{fjm} ; a queda de pressão máxima, ΔP_{max} ; a queda de pressão de jorro estável, ΔP_{je} ; e a altura máxima de jorro estável, H_{max} . 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.

2.13.- 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 na Figura 2.5. A linha sólida é obtida quando se promove o incremento da vazão de fluido, enquanto a linha pontilhada é obtida quando se realiza o caminho inverso.

Os pontos de interesse dessa curva são a velocidade de jorro mínimo, U_{fjm} ; a queda de pressão máxima, ΔP_{max} ; e a queda de pressão de jorro estável, ΔP_{je} , pois, a partir deles, determina-se a menor vazão de gás que propicia o fenômeno de jorro, a potência máxima a ser fornecida pelo soprador e a potência consumida durante a operação.

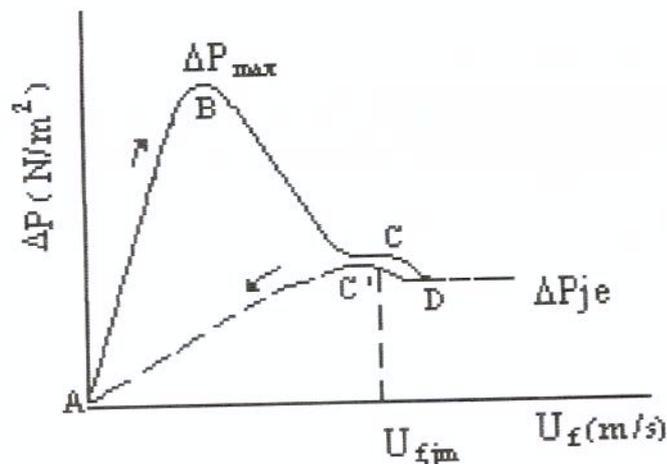


Figura 2.5.- Curva característica da queda de pressão em função da vazão de ar.

2.13.1 - Queda de Pressão Máxima e de Jorro Estável

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

A perda de carga máxima é a que ocorre pouco antes do jorro ser estabelecido (ponto B da Figura 2.5), e sua ocorrência pode ser atribuída a energia requerida pelo fluido para romper o leito compacto e formar um jorro interno na parte inferior do leito. Para que esse jorro interno subseqüentemente se desenvolva para um jorro estável (ponto D da Figura 2.5).

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 estimativas dos valores de queda de pressão máxima (ΔP_{\max}) e queda de pressão de jorro estável. (ΔP_{je}). As Tabelas 2.8 e 2.9 resumem informações disponíveis para leito de jorro cônico, indicando-se a faixa das variáveis pertinentes a estas variáveis.

Tabela 2.8 - Correlações para queda de pressão máxima.

Correlação	Referência
$\frac{\Delta P_{\max}}{\rho_b g H_0} = 1 + 0,062 \left(\frac{d_b}{d_i} \right)^{2,54} \left(\frac{d_b}{d_i} - 1 \right) \text{tg}(\theta/2)^{-0,18} \quad (2.4)$ <p> $d_b = d_i + 2.H_0. \text{tg}(\theta/2)$ $\rho_b = (\rho_p - \rho_g).(1 - \epsilon_0)$ $d_i = 5,0\text{cm}; H_0 = 10 - 25\text{cm}; \theta = 10 - 60^\circ$ $d_p = 0,16 - 0,28 \text{ mm}$ Material: quartzo. </p>	GELPERIN <i>et alii</i> (1961)
$\frac{\Delta P_{\max}}{\Delta P_{je}} = 1 + 6,65 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{1,2} \text{tg}(\theta/2)^{0,50} Ar^{-0,2} \quad (2.5)$ <p> $d_i = 1,03 - 1,29 \text{ cm}; H_0 = 3 - 15\text{cm}; \theta = 10 - 60^\circ$ $d_p = 0,5 - 2,5 \text{ mm}; \rho_p = 0,98 - 2,36 \text{ g/cm}^3$ Material: quartzo, areia, painço e silicato de alumínio. </p>	MUKHLENOV & GORSSTEIN (1965)
$\frac{\Delta P_{\max}}{\rho_b g H_0} = 1 + 0,055 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{2,54} - 0,0018 \left(\frac{d_i}{d_p} \right) \quad (2.6)$ <p> $d_i = 2,5 - 3,8 \text{ cm}; \phi = 0,64 - 0,87; \theta = 60^\circ$ $\rho_p = 0,87 - 1,24 \text{ g/cm}^3; \rho_b = 0,52 - 0,76 \text{ g/cm}^3$ Material: Resina ABS-Y, polipropileno, painço, alpiste e sorgo. </p>	SAMPAIO <i>et alii</i> (1984)
$\frac{\Delta P_{\max}}{\Delta P_{je}} = 1 + 0,116 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{0,50} \text{tg}(\theta/2)^{0,80} Ar^{0,0125} \quad (2.7)$ <p> $d_i = 1,5 - 15 \text{ cm}; d_c = 8,8 - 90\text{cm}; \theta = 30 - 60^\circ$ $d_p = 2,16 - 6,17 \text{ mm}; \rho_p = 0,845 - 2,986 \text{ g/cm}^3$ Material: esferas de vidro, polibutadieno, cubos de madeira, feijão poliestireno, lentilha, ervilha e arroz. </p>	OLAZAR <i>et alii</i> (1993)

Tabela 2.9 - Correlações para a queda de pressão de jorro estável.

Correlação	Referência
$\frac{\Delta P_{je}}{\rho_b g H_0} = \frac{7,68 \operatorname{tg}(\theta/2)^{0,2}}{\operatorname{Re}_{jm,i}^{0,2} (H_0/d_i)^{0,33}} \quad (2.8)$ <p> $d_i = 1,03 - 1,29 \text{ cm}; H_0 = 3 - 15 \text{ cm}; \theta = 10 - 60^\circ$ $d_p = 0,5 - 2,5 \text{ mm}; \rho_p = 0,98 - 2,36 \text{ g/cm}^3$ Material: quartzo, areia, painço e silicato de alumínio. </p>	MUKHLENOV & GORSHTEIN (1964)
$\frac{\Delta P_{je}}{\rho_b g H_0} = 1 + 0,055 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{2,54} - 0,0018 \left(\frac{d_i}{d_p} \right) \quad (2.9)$ <p> $d_i = 2,5 - 3,8 \text{ cm}; \phi = 0,64 - 0,87; \theta = 60^\circ$ $\rho_p = 0,87 - 1,24 \text{ g/cm}^3; \rho_b = 0,52 - 0,76 \text{ g/cm}^3$ Material: Resina ABS-Y, polipropileno, painço, alpiste e sorgo. </p>	SAMPAIO <i>et alii</i> (1984)
$\frac{\Delta P_{je}}{\rho_b g H_0} = 1,20 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{0,08} \operatorname{Re}_{jm,i}^{-0,06} \operatorname{tg}(\theta/2)^{-0,011} \quad (2.10)$ <p> $d_i = 1,5 - 15 \text{ cm}; d_c = 8,8 - 90 \text{ cm}; \theta = 30 - 60^\circ$ $d_p = 2,16 - 6,17 \text{ mm}; \rho_s = 0,845 - 2,986 \text{ g/cm}^3$ Material: esferas de vidro, polibutadieno, cubos de madeira, feijão poliestireno, lentilha, ervilha e arroz. </p>	OLAZAR <i>et alii</i> (1993)

2.13.2 - Velocidade de Jorro Mínimo

É a velocidade superficial do fluido no 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' da Figura 2.5). 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_{fjm}) aumenta com o aumento da altura do leito e com a diminuição do diâmetro do leito, sendo pouco sensível à variação no diâmetro do bocal de entrada (MATHUR e EPSTEIN, 1974).

Com respeito ao efeito da forma das partículas, cabe ressaltar que a velocidade de jorro mínimo (U_{fjm}), nos leitos constituídos por partículas esféricas é aproximadamente

60% maior que em leitos de partículas não esféricas, de alturas equivalentes (PATEL *et alii*, 1986 : LIU & LISTER, 1991). Algumas das correlações existentes na literatura para estimativa da velocidade de jorro mínimo ($U_{f,im}$), para leitos cônicos, assim como as condições operacionais usadas no desenvolvimento dessa, são apresentadas na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Correlações para a velocidade de jorro mínimo

Correlação	Referência
$Re_{j,mi} = 0,4 \cdot Ar^{0,52} \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{1,24} \operatorname{tg}(\theta/2)^{0,42} \quad (2.11)$ <p>$d_i = 2,0 - 4,2$ cm; $H_0 = 10 - 50$cm; $\theta = 20 - 50^\circ$ $d_p = 1,5 - 4,0$ mm; $\rho_p = 1,65$ a $1,7$ g/cm³ Material: partículas de fertilizante.</p>	TSVIK <i>et alii</i> (1967)
$Re_{j,mi} = 0,174 \cdot Ar^{0,5} \left(\frac{d_b}{d_i} \right)^{0,85} \operatorname{tg}(\theta/2)^{-1,25} \quad (2.12)$ <p>$d_i = 1,0 - 1,3$ cm; $H_0 = 3 - 15$cm; $\theta = 12 - 60^\circ$ $d_p = 0,5 - 2,5$ mm; $\rho_p = 0,98 - 2,36$ g/cm³ Material: quartzo, areia, painço e silicato de alumínio</p>	GORSHTAIN & MUKHLENOV (1964)
$Re_{j,mi} = 0,0258 \cdot Ar^{0,5} \left(\frac{H_0}{d_i} \right) - 5,1382 \cdot \left(\frac{H_0}{d_i} \right) \quad (2.13)$ <p>$d_i = 2,5 - 3,8$ cm; $\phi = 0,64 - 0,87$; $\theta = 60^\circ$ $\rho_p = 0,87 - 1,24$ g/cm³; $\rho_b = 0,52 - 0,76$ g/cm³ Material: Resina ABS-Y, polipropileno, painço, alpiste e sorgo.</p>	SAMPAIO <i>et alii</i> (1984)
$U_{f,mj} = 13,5 \cdot (2gH_0)^{0,5} \left(\frac{d_p}{d_b} \right)^{1,17} \left(\frac{d_i}{d_b} \right)^{0,372} \left(\frac{H_0}{d_b} \right)^{-0,148} \left(\frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f} \right)^{0,285} \quad (2.14)$ <p>$d_i = 2,1 - 3,5$ cm; $H_0 = 24 - 40$cm; $\theta = 60^\circ$ $d_p = 2,1 - 2,8$ mm; $\rho_p = 0,927 - 1,490$ g/cm³ Material: uréia, uréia revestida por enxofre, polietileno, poliestireno, poliformaldeído (com atomização de ar na base do leito).</p>	CHOI & MEISEN (1992)
$Re_{j,mi} = 0,126 \cdot Ar^{0,5} \left(\frac{d_b}{d_i} \right)^{1,68} \operatorname{tg}(\theta/2)^{-0,57} \quad (2.15)$ <p>$d_i = 1,5 - 15$ cm; $d_c = 8,8 - 9$cm; $\theta = 30 - 60^\circ$ $d_p = 2,16 - 6,17$ mm; $\rho_p = 0,845 - 2,986$ g/cm³ Material: esferas de vidro, polibutadieno, cubos de madeira, feijão poliestireno, lentilha, ervilha e arroz.</p>	OLAZAR <i>et alii</i> (1992)

Vale a pena ressaltar que existe uma grande discordância entre os valores obtidos a partir das correlações apresentadas nas Tabelas 2.8 a 2.10. Assim sendo, é necessário realizar uma profunda análise das várias correlações existentes na literatura, bem como dos dados experimentais publicados, visando-se obter uma correlação que forneça estimativa confiável.

2.13.3 - Estabilidade do Leito de Jorro

A operação estável de um leito de jorro é função de diversos parâmetros relacionados às propriedades do material inerte, à carga de sólidos e à própria geometria da coluna, incluindo o diâmetro do orifício de entrada do gás. MATHUR & EPSTEIN (1974) apresentam uma revisão bem ampla de alguns critérios de estabilidade.

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, $W_{smáx}$, está relacionada à temperatura e umidade do gás na saída e também à umidade do produto:

REGER *et alii*, (1967), comentam que um estrito controle da temperatura do ar na saída é fundamental para assegurar o êxito da operação. Caso a temperatura do fluido na saída seja reduzida abaixo de um determinado valor, o material tende a se aglomerar dentro do equipamento cessando o jorro;

PHAM (1983) verificou a formação de grumos de sangue úmido no interior do leito para elevados valores da umidade de saída do gás. Também trabalhando com sangue RÉ & FREIRE (1986) definiram dois critérios para especificar a capacidade máxima na secagem:

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

SCHNEIDER & BRIDGWATER (1989), ao secar diversas substâncias inorgânicas, notaram que a umidade relativa do gás na saída superiores a 70 - 80% ocasionam a perda de estabilidade do leito. GUBULIN & FREIRE (1989) utilizaram como critério para especificar a capacidade máxima de secagem do sistema, em ensaios de secagem de suspensões de carbonato de cálcio, que a umidade final do gás de saída fosse 95%.

MORRIS & 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 torno de 12%. Em operações de evaporação 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 alii*, (1994) realizando operações de secagem de sangue bovino com anti-coagulante e água destilada, adotaram três diferentes critérios para a determinação da vazão máxima:

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

2.14 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM LEITO DE JORRO

A transferência de calor em leito de jorro é assunto de grande complexidade devido principalmente à formação de pelo menos duas regiões com mecanismos fluidodinâmicos e térmicos bem definidos e a interação entre elas ser quase desconhecida (FREIRE, 1992).

Normalmente os estudos sobre a transferência de calor em leite de jorro são feitos através do coeficiente de troca térmica. Nos últimos anos, pesquisadores como SERIKAWA *et alii* (1986), MUJUMDAR, (1989), FREIRE (1992), concordam em mencionar a falta de informações específicas sobre o coeficiente de transferência de calor em leite de jorro. Segundo FREIRE (1992), este coeficiente pode ser analisado em três situações distintas: a transferência objeto submerso-leito; a transferência parede-leito, e a transferência calor fluido-partículas.

A transferência de calor objeto submerso-leito os principais trabalhos desenvolvidos foram ampla e criticamente analisados por MATHUR & EPSTEIN (1974). Com relação à transferência de calor parede-leito SILVA & FREIRE (1989) e FREITAS & FREIRE (1993) apresentaram uma revisão atualizada para leitos cônicos. Aqui só será apresentada, numa forma resumida, a transferência de calor fluido-partícula, por ser esta, a forma de transferência mais usada, quando da secagem de pastas e suspensões em leite de jorro.

2.14.1 - Transferência de Calor Fluido Partícula

O leite de jorro possui duas regiões com comportamento bastante distinto. Devido a isto, os coeficientes de transferência de calor fluido-partícula são diferentes para cada região. Porém, a determinação experimental destes coeficientes é difícil devido à complexidade de se definir as diferenças de temperatura entre a partículas e o fluido e a correspondente área de troca térmica, que são distintas para o jorro e para o anulo (MATHUR & EPSTEIN, 1974).

Para a estimativa dos coeficientes de transferência de calor na região de jorro, geralmente utilizam-se correlações desenvolvidas para o transporte pneumático; enquanto que para a região anular utilizam-se correlações desenvolvidas para leitos empacotados e/ou deslizantes. A Tabela 2.11 apresentam algumas correlações para coeficientes de transferência de calor fluido-partícula na região anular (h_a) e na região de jorro (h_j).

Tabela 2.11 - Correlações para coeficiente de transferência de calor fluido-partícula.

Correlação	Coeficiente	Referência
$\text{Nu}_j = I + J \cdot \text{Pr}^{0,333} \text{Re}^{0,55} \quad (2.16)$ <p>onde: $I = 2/[1 - (1 - \varepsilon_j)^{0,33}]$ e $J = 2/\varepsilon_j$</p>	h_j	ROWE & CLAXTON (1965)
$\text{Nu}_j = 0,00114(1 - \varepsilon_j)^{0,5984} \left[\frac{(U_{fj} - U_p \cdot d_p \cdot \rho_f)}{\mu_f} \right]^{0,8159} \quad (2.17)$ <p>válida para: $0,00025 \leq (1 - \varepsilon_j) \leq 0,05$ e $180 \leq \text{Re}_p \leq 1800$.</p>	h_j	BANDROWSKI & KACZMARZYC (1978)
$j_h = 1,12/\text{Re}^{0,363} \quad (2.18)$	h_a	PETROVIC & THODOS (1968)
$\text{Nu}_a = 0,42 + 0,35\text{Re}^{0,8} \quad (2.19)$ <p>para $\text{Re} \leq 100$</p>	h_a	LITTMAN & SLIVA (1970)

Apesar dos coeficientes de transferência de calor serem diferentes para cada região do leito, freqüentemente, se define um único coeficiente de transferência fluido-partícula (h_{gl}), que é representativo da transferência de calor gás-partícula total no leito. Porém, mesmo com esta definição ainda persiste uma dificuldade adicional na estimativa e comparação desses coeficientes, que reside na definição da diferença característica de temperatura (KMIEC, 1975; PONTE & FREIRE, 1988). Estes autores apresentam três definições distintas:

$$q = h_1 \cdot A_p \cdot \Delta T_{ml}; \quad \Delta T_{ml} = \frac{T_{fe} - T_{fs}}{\ln \left(\frac{T_{fe} - T_p}{T_{fs} - T_p} \right)} \quad (2.20)$$

$$q = h_2 A_p (T_{fe} - T_{p1}) \quad (2.21)$$

$$q = h_3 A_p (T_{fs} - T_{p2}) \quad (2.22)$$

De acordo com a definição utilizada, são obtidos diferentes valores para o coeficiente de transferência de calor. Nas equações 2.20 a 2.22, o índice 2 se refere à temperatura final dos sólidos e A_p se refere à área superficial total das partículas. Na Tabela 2.12 apresentam-se algumas correlações de coeficiente de transferência de calor fluido-partícula global.

Tabela 2.12 - Correlações para coeficiente de transferência de calor fluido-partícula global.

Correlação	Referência
$Nu = 0,0005 \left(\frac{d_p \cdot U_{f,mj} \cdot \rho_s}{\mu_f} \right)^{1,46} \left(\frac{U_{fj}}{U_{f,mj}} \right)^{1,30} \quad (2,23)$	UEMAKI & KUGO (1967)
$Nu = 0,0597 Re^{2,0} Gu^{0,61} Ar^{-0,438} \left(\frac{H_0}{d_p} \right)^{-1,0} \quad (2,24)$ <p>para:</p> $0,31 \times 10^6 \leq Ar \leq 5,0 \times 10^6 \quad 40 \leq H_0 / d_p \leq 55$ $935 \leq Re_i \leq 1700 \quad 0,18 \leq Gu \leq 0,392$	REGER <i>et alii</i> (1967)
$Nu = 0,897 Re^{0,4640} Pr^{0,333} Ar^{0,116} \cdot \text{tg}(\theta/2)^{-0,813} \left(\frac{H_0}{d_p} \right)^{-1,19} \psi^{2,26} \quad (2,25)$ <p>$10 \leq Re \leq 210; \quad 0,268 \leq \text{tg}(\theta/2) \leq 100; \quad 1,21 < \psi < 1,41$ $2,8 \cdot 10^3 \leq Ar \leq 1,8 \cdot 10^6; \quad 13 \leq H_0 / d_p \leq 185$</p>	KMIEC (1975)
$Nu = 0,0451 Re^{0,664} Pr^{0,333} Ar^{0,226} \text{tg}(\theta/2)^{-0,852} \left(\frac{H_0}{d_p} \right)^{-1,47} \left(\frac{d_i}{d_p} \right)^{0,9470} \phi^{2,30} \quad (2,26)$ <p>Recobrimento de comprimidos com comprimento de 4mm x 7mm e 4,3mm x 9mm densidade 1476kg/m³ esfericidade entre 0,866 e 0,978</p>	KUCHARSKI & KMIEC (1983)

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Materiais

Para a elaboração da suspensão protéica foram utilizados filés de Merluza (*Merluccius gayigayi*). A escolha dessa espécie no preparo da suspensão deve-se a grande massa residual gerada pela indústria de pescado existente na Região do Vale do Itajaí, Santa Catarina, na operação de filetagem. Os filés foram adquiridos em um Hipermercado da Cidade de Campinas na forma de blocos prensados e congelados e que foram armazenados em freezers a -18°C até seu processamento.

No processo de lixiviação do músculo de Merluza, para a remoção das substâncias solúveis (lipídios, enzimas, pigmentos e impurezas), foram utilizados os seguintes reagentes de grau analítico: cloreto de sódio (NaCl), bicarbonato de sódio (NaHCO_3), fosfato de sódio monobásico (Na_2HPO_4) e fosfato de sódio dibásico (NaH_2PO_4). Nas determinações químicas foram utilizados reagentes de grau analítico de acordo com as especificações requeridas pelos métodos empregados. Nos experimentos de desidratação da suspensão de pescado foram usados como material inerte, esferas de vidros com diâmetro médio de 2 mm e densidade $1,86 \text{ g/cm}^3$.

3.2 - Equipamentos

Os experimentos de secagem foram realizados em um leito de jorro cônico construído e instalado no Laboratório de Medidas Físicas (LAMEFI), do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA). O secador consistiu de uma base cônica em inox de 0,2 cm de espessura, com ângulo incluso de 60° , diâmetro do orifício de entrada de 4,26 cm e diâmetro superior de 30,0 cm. Acoplado à base cônica havia uma coluna cilíndrica de vidro com 0,4 cm de espessura, 30,0 cm de diâmetro e 40,0 cm de altura. A parte superior do secador foi formada por outro cone em inox, com ângulo de 60° , dotada de um orifício com 3,0 cm de diâmetro, por onde foi introduzida a mangueira que conduziu a suspensão de peixe. Na entrada da base cônica inferior foi colocada uma tela metálica para sustentar e

evitar a queda das partículas inertes em repouso. As tomadas de pressão e temperaturas foram colocadas próximas a entrada e saída do ar e na base cônica inferior. Fazem parte do leito de jorro os seguintes equipamentos periféricos:

- Soprador centrífugo, marca Ibram, acionado por um motor trifásico Eberle com potência de 4,5 Hp;
- Aquecedor elétrico composto de um conjunto de seis resistências, no formato cônico, refratário de porcelana, da marca LORENZETTI, com entrada de 0 a 220 volts, dispostas em paralelo numa caixa metálica, fornecendo uma potência máxima de 4000 Watts. As resistências encontravam-se ligadas a um indicador e controlador de temperatura, modelo CDC99 da marca Contemp. Este controlador permitiu 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 psicrômetro para a determinação das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar de secagem na saída do secador. O sistema constou de um tubo de PVC com 10,0 cm de diâmetro e 35,0 cm de comprimento, no qual foram adaptados dois termopares tipo T, (calibrados numa faixa de temperatura de 10 a $100 \pm 0,1$ °C), com bainha de aço inox. No ponto médio do tubo de PVC foi acoplado um tubo de ensaio, o qual continha uma mecha mergulhada em água que envolveu um termopar, permitindo a determinação da temperatura de bulbo úmido;
- Um ciclone de LAPPLE, construído em aço inox, promoveu a separação e coleta do material seco;
- Um bico ejetor ligado através de uma mangueira de silicone (temperatura tolerável de 62 a 260 °C e diâmetro interno de 0,4 cm), a uma bomba peristáltica Masterflex pump controle, modelo 7520-55, da marca Cole Parmer Instrument Company, que bombeou a suspensão para o interior do leito de jorro. Para manter a pasta homogeneizada foi utilizado um agitador magnético com aquecimento da marca FISOTOM, modelo 753A, com potência de 1000 W, faixa de rotação de 110 a 1180 rpm;

- Um medidor de vazão tipo placa de orifício calibrado e executado segundo OWER & PANKHURST (1977), conectado a um manômetro diferencial em vidro tipo tubo em U. A placa ficou localizada entre o aquecedor elétrico e a unidade de secagem;
- Um registrador e coletor de dados de temperatura com 12 canais da Cole Parmer Instrument Company, modelo Scanning Thermocouple Thermomete Data 92800-10 (calibrado de -5 a $300 \pm 0,1$ °C) com interface RS - 232 para conexão com um microcomputador, e programa que possibilita controle e visualização da operação.

Para a linha de transporte do ar foi utilizado um tubo de aço galvanizado com duas polegadas de diâmetro, que por sua vez, foi envolvido por uma camada de 3,0 cm de espessura de lã de vidro e alumínio corrugado, como revestimento térmico. O sistema possuía uma válvula gaveta com uma polegada e meia, corpo de bronze, para o controle da vazão total do sistema. A Figura 3.1 apresenta uma visão geral do equipamento.

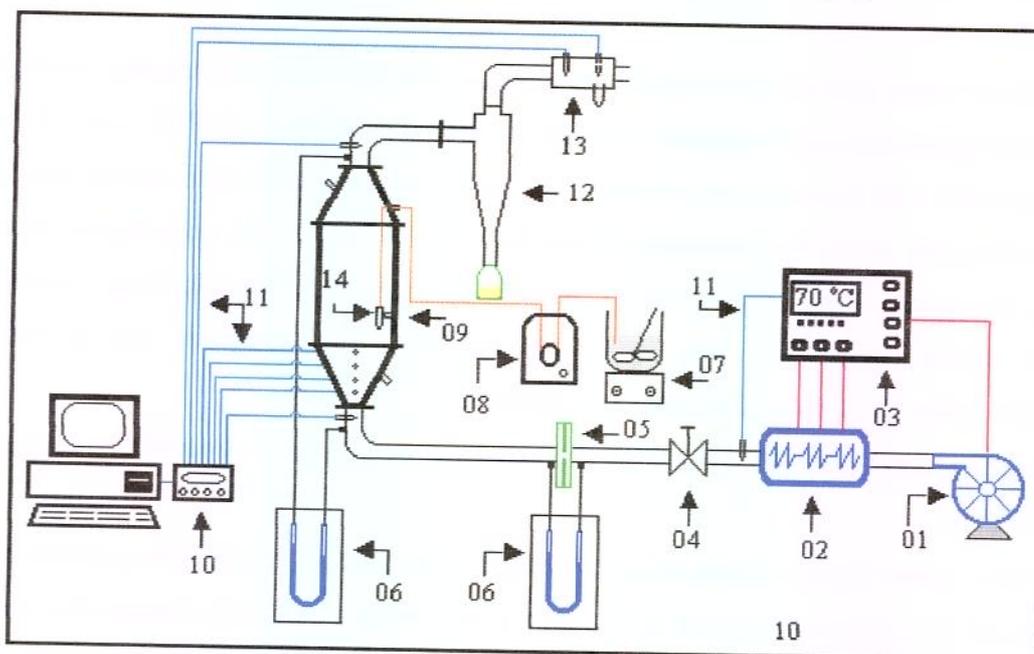


Figura 3.1 - Esquema do sistema experimental utilizado

Soprador de ar (01); Aquecedor elétrico (02); Controlador de corrente elétrica (03); Válvula gaveta (04), Placa de orifício (05); Manômetro (06); Agitador (07); Bomba

ml de Solução extratora por g de Pasta de peixe (RSP), Número de Ciclos de Extração (NCE), Tempo de Agitação (TA) e Velocidade de Agitação (VA).

Todas as suspensões obtidas nesta etapa foram desidratadas a 80 °C, em estufa com circulação de ar forçada e a matéria seca resultante foi triturada em moinho analítico, obtendo-se granulometria de 60 mesh.

3.3.1.1 Planejamento Experimental do Processo de Extração

Para estudar os efeitos da relação ml de solução extratora por g de pasta de peixe (RSP), número de ciclo de Extração (NCE), tempo de agitação (TA) e velocidade de agitação (VA), foi utilizado o delineamento central rotacional composto (BOX & WILSON, 1951). As variáveis foram estabelecidas com três níveis codificados em -1, 0, +1. Os valores reais correspondentes a estes níveis foram calculados de acordo com a seguinte equação:

$$x_i = \frac{X_i - Y}{\Delta X_i} \quad (3.1)$$

Onde:

- x_i valor codificado da variável X_i ;
- X_i valor real da variável;
- Y valor real da variável no ponto central;
- ΔX_i módulo de diferença entre dois valores consecutivos.

Esse planejamento apresenta ainda dois níveis de variáveis axiais codificados como $-\alpha$ e $+\alpha$. O valor de α é função do número de variáveis independentes ($K = 4$, no caso), sendo definida pela seguinte equação:

$$\alpha = (2^K)^{1/4} \quad (3.2)$$

- Estudo da fluidodinâmica do leite e da capacidade máxima de evaporação com adição de água como pasta padrão;
- Secagem da suspensão de pescado;
- Avaliação das propriedades funcionais do produto final.

3.3.1 - Preparo da Suspensão

No preparo da suspensão protéica de pescado os filés de Merluza foram cortados ainda congelados na forma de pequenos cubos e mantidos a temperatura ambiente durante 5 minutos. Após esse período foram triturados e homogeneizados em um multiprocessador, durante 10 segundos. Para cada operação de trituração e homogeneização foram utilizados aproximadamente 150 g de filé de Merluza.

A massa resultante foi então submetida a dois tratamentos diferentes de remoção do material solúvel (proteínas sarcoplasmáticas, sangue, pigmentos e a fração lipídica) no processo de lixiviação. No primeiro tratamento, o processo de extração do material solúvel foi efetuado utilizando-se soluções de cloreto de sódio (NaCl, 0,1M), bicarbonato de sódio (NaHCO₃, 0,1M) e água refrigerada (5 a 7 °C). O segundo tratamento foi realizado utilizando uma solução tampão de fosfato (Na₂HPO₄+NaH₂PO₄+ NaCl 0,1M, pH 6,5) e água refrigerada (5 a 7 °C). Após cada extração foi efetuada uma drenagem da suspensão em um filtro fabricado com micro-tela de poliéster de alta resistência. A pasta resultante da última drenagem foi então ressuspensa em água numa razão de 1:2 (p/v) e mantida em repouso a temperatura ambiente (25 - 27 °C), por aproximadamente 12 horas.

As suspensões resultantes do tratamento realizado com NaCl e NaHCO₃ foram denominadas de **Suspensão I**. As suspensões resultante do tratamento realizado com fosfato e NaCl, receberam a denominação de **Suspensão II**.

Em ambos os tratamentos, no processo de lixiviação, foram estudados, através de um planejamento experimental, os efeitos e as influências, das seguintes variáveis: Relação

peristáltica (08); Leito de jorro (09); Unidade de monitoramento e aquisição de dados (10), Termopar (11); Ciclone (12); Psicrômetro (13) e Bico ejetor (14).

No preparo da suspensão de peixe, a cominuição dos filés de Merluza foi efetuada em um multiprocessador de alimentos da marca WALITA, modelo RI 3173/72. No processo de lixiviação foi empregado agitador mecânico com tacômetro digital com capacidade de agitação de até 25 litros da marca FISOTOM, modelo 713D, com rotação regulável até 5000 rpm, provido de uma haste de aço inóx com 0,9 cm de diâmetro e 25,0 cm de comprimento, fixa por mandri e com lâmina inclinada ou de fluxo axial com largura de 8,0 cm.

Além da vidraria e aparelhos comuns, foram utilizados nas determinações físicas e químicas os seguintes equipamentos:

- *Agitador de peneiras, marca Prodest, modelo 3580
- *Balança analítica, marca Bosch, modelo SAE 200, capacidade máxima de 210 g;
- *Balança semi-analítica, marca Marte, modelo AS200, capacidade máxima de 2000 g;
- *Centrifuga, marca Jouan-France, modelo BR4i, com refrigeração (-9 a 40 °C) e velocidade de 14.000 rpm;
- *Digestor e destilador de proteínas Micro-Kjedahl, marca Tecnal, modelo TE036-E;
- *Espectrofotômetro, marca (Hach), modelo (DR-4000U);
- *Estufa de secagem Fanem, modelo 320-SE, com circulação de ar forçada (0 - 300 °C);
- *Estufa de secagem a vácuo, marca Napco, modelo 5831 (0 a 30 in Hg e 30 a 200 °C);
- *Moinho analítico marca QUIMIS, modelo Q - 298A, velocidade de 20000 rpm.
- *pHmetro, marca Mettler Toledo, modelo 320, com temperatura regulável de 0 a 100 °C e faixa de pH de 0 a 14,0;
- *Viscosímetro, marca Brookfield Rheometer, modelo DV-II, Spindle SC4-34;

3.3 - Metodologia

O desenvolvimento experimental desse trabalho foi dividido em quatro etapas:

- Preparo da suspensão de pescado;

Para $K=4$, o valor de α calculado pela equação 3.2, no caso estudado, foi 2. As faixas de variações entre o limite inferior e o superior de cada variável foram estabelecidas com base em testes preliminares.

O planejamento estatístico requer um número mínimo de tratamentos. Neste experimento foram usados 27 tratamentos, sendo dezesseis fatoriais (combinações entre os níveis -1 e +1), oito axiais (uma variável no nível $\pm \alpha$ e três em 0) e três centrais (quatro variáveis no nível 0). Os pontos centrais de nível zero servem para estimar o erro experimental e determinar a precisão da equação polinomial (BARROS NETO, 1995).

Na Tabela 3.1, encontram-se os valores codificados e reais do planejamento experimental central rotacional composto para quatro variáveis independentes e cinco níveis de variação. A Tabela 3.2, apresenta a matriz do planejamento com as condições experimentais com seus valores codificados utilizados em cada ensaio. As respostas ou variáveis estudadas para cada experimento foram: Rendimento de Proteína (RP) e Extração de Lipídios (EL).

Tabela 3.1 - Níveis das variáveis independentes estudadas no processo de extração.

Variáveis Codificada	Níveis				
	$-\alpha = -2$	-1	0	+1	$+\alpha = +2$
X_1	1:1	2:1	3:1	4:1	5:1
X_2	3	5	7	9	11
X_3	90	180	270	360	450
X_4	2	4	6	8	10

Onde

X_1 = variável codificada para relação ml de solução extratora por g de pasta de peixe;

X_2 = variável codificada para número de ciclos de extração;

X_3 = variável codificada para velocidade de agitação (rpm);

X_4 = variável codificada para tempo de agitação (min).

Tabela 3.2 - Matriz do planejamento com os valores codificados para cada ensaio

Experimentos	Níveis codificados das variáveis			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1
6	+	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	-1
9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1
12	+1	+1	-1	+1
13	-1	-1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1
15	-1	+1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	-2	0	0	0
21	+2	0	0	0
22	0	-2	0	0
23	0	+2	0	0
24	0	0	-2	0
25	0	0	+2	0
26	0	0	0	-2
27	0	0	0	+2

Durante nove dias, foram executados diariamente quatro experimentos de forma aleatória. Para análise do efeito combinado das variáveis independentes (X_1 , X_2 , X_3 , e X_4) nas respostas avaliadas (**RP** e **EL**), empregou-se a metodologia de superfície de resposta (BOX & DRAPER, 1969). A estimativa desses efeitos foi realizada através do *Software Statistica for Windows*, versão 5.0. As análises estatísticas dos resultados obtidos durante o planejamento experimental foram feitas por Análises de Variância (ANOVA).

3.3.2 - Estudo da Fluidodinâmica do Leito de Jorro

A fluidodinâmica foi caracterizada através da determinação da velocidade de jorro mínimo (Q_{jm}), queda de pressão máxima no leito (ΔP_{max}) e queda de pressão de jorro estável (ΔP_{je}). Para a determinação desses parâmetros foi construído um gráfico de queda de pressão em função da vazão de gás alimentado ao leito. Para isso adotou-se o seguinte procedimento:

Inicialmente, introduziu-se uma determinada carga de material inerte, de modo a fixar a altura estática do leito (H_0). Em seguida, injetou-se ar pelo orifício de entrada do leito, variando-se de forma crescente a sua vazão. A cada vazão de ar, registrada em um medidor do tipo placa de orifício, determinou-se o valor correspondente da queda de pressão entre a entrada e a saída do leito em um manômetro diferencial tipo tubo em U, cujo o fluido manométrico foi água destilada.

Este procedimento foi repetido até que a queda de pressão total atingisse um valor aproximadamente constante, mesmo com aumento da vazão do ar. Atingido este ponto, iniciou-se o procedimento inverso, ou seja, diminuiu-se gradualmente a vazão de ar e mediu-se a queda de pressão. Este procedimento foi repetido até cessar a passagem do ar pelo leito.

Para que o gráfico de queda de pressão no leito em função da vazão de ar representasse somente a resistência ao escoamento do ar devido a carga de inerte, foi

descontada da queda de pressão total a queda de pressão devido ao leito vazio. As alturas de leito estático (H_0), nas quais estes testes foram desenvolvidos foram: 10, 12 e 14 cm. A escolha dessas alturas foi realizada com base em testes preliminares nos quais o processo desenvolvido apresentou uma operação estável.

3.3.3 - Estudo da Vazão Máxima de Alimentação

Na estimativa da vazão máxima de alimentação foi adotada a metodologia descrita por MORRIS & FREIRE (1990), que substitui a suspensão por água destilada que pode ser considerada como "pasta padrão". A operação iniciou-se com a introdução no equipamento de uma determinada carga de material inerte, de modo a fixar a variável H_0 . Em seguida foi injetado ar na base do leito com vazão crescente até que a vazão, (Q/Q_{jm}^a) escolhida fosse alcançada. Obtido o jorro, deu-se início então ao aquecimento do ar até que o mesmo alcançasse, na entrada do leito a temperatura fixada (T_{fe}). Atingida esta temperatura, fez-se medidas em intervalos regulares de 10 segundos, das temperaturas de saída do ar (T_{fs}) do leito de partícula, tanto na região anular (T_{fra}) como na região de jorro (T_{frj}), para detectar o instante em que o processo entrou em regime permanente. Atingido esse regime, deu-se início à alimentação da água na vazão desejada (W_s) através do bico ejetor e aguardou-se de 20 a 30 minutos para que o processo entrasse novamente em regime permanente e então, efetuou-se medidas das temperaturas citadas anteriormente, e das temperaturas de bulbo úmido e bulbo seco na saída do leito, para cálculo da umidade do ar (Y_{fs}). A seguir, aumentou-se a vazão de alimentação de água e repetiu-se o procedimento descrito, até que a umidade de saída do ar atingisse um valor próximo da saturação e/ou leito ficou instável.

A vazão na qual ocorreu uma dessas condições foi definida como a vazão máxima de suspensão suportada pelo equipamento (W_{smax}). Determinada esta vazão, selecionou-se uma outra condição experimental e repetiu-se o procedimento descrito. A Tabela 3.3 apresenta as variáveis e as faixas de operação utilizadas nessa etapa. As alturas do leito foram fixadas com base nas explicações já citadas. A variável (Q/Q_{jm}^a) foi definida com base nos testes de caracterização fluidodinâmica, onde para os valores escolhidos o jorro apresentou boa qualidade de operação. A temperatura do ar de entrada (T_{fe}), foi selecionada

com base nas informações fornecidas na literatura (MORRIS & FREIRE, 1990; SPITZNER & FREIRE, 1996).

Tabela 3.3 - Valores de H_o , Q/Q_{jm} e T_{fe} , para os teste de evaporação de água.

H_o (cm)	Q/Q_{jm}	T_{fe} (°C)
10,0	1,3; 1,4;1,5	100 e 110
12,0	1,2; 1,3; 1,4	100 e 110
14,0	1,2; 1,3; 1,4	100 e 110

3.3.4. - Estudo da Secagem da Suspensão Protéica de Peixe

Para os experimentos de secagem da suspensão de peixe, introduziu-se no leito uma determinada carga de inerte, de modo a fixar o valor de H_o . Em seguida, estabeleceu-se o jorro na vazão predeterminada. Com o jorro estabelecido, iniciou-se o aquecimento do ar até que a temperatura do ar na entrada do jorro alcançasse o valor desejado.

Com objetivo de reduzir o tempo necessário para atingir o regime permanente na operação de secagem da suspensão, durante o aquecimento do material inerte, introduziu-se no leito água destilada através do bico ejetor, numa vazão próxima àquela na qual se injetaria a suspensão.

Atingido o regime permanente no aquecimento das partículas inertes, substituiu-se a alimentação de água destilada pela alimentação de suspensão, na vazão desejada. Neste momento anotou-se o tempo inicial da operação. O leito com a suspensão de peixe levou aproximadamente de 5 a 7 minutos de operação para entrar em regime. Durante o processo, foram efetuadas medidas de temperaturas na entrada e saída do leito, temperaturas de bulbo úmido e bulbo seco no psicrômetro e de vazão de ar na placa de orifício. O registro das temperaturas foi efetuado em intervalos de 10 segundos no registrador e coletor de dados de temperaturas e as medidas da vazão de ar foram efetuadas em intervalos de 10 minutos.

Durante o processo de secagem o pó foi coletado no ciclone e acondicionado em frascos de vidro.

Finalizado o tempo fixado para secagem, em média uma hora e meia, interrompeu-se a coleta do pó e a alimentação da suspensão (o leito foi novamente alimentado com água). Determinou-se, então a massa injetada de suspensão no leito no tempo de operação e a massa de pó coletado, com objetivo de determinar o rendimento do processo.

Concluído o teste, uma nova combinação de variáveis foi realizada e repetiu-se todo o procedimento descrito anteriormente. A Tabela 3.4 apresenta os valores das variáveis estudadas. A variável (T_{fs}) teve seu valor definido com base nas informações fornecidas na literatura para materiais com elevado teor protéico, utilizando-se uma faixa de temperatura que proporcionasse, boa qualidade na operação e não promovesse profundas alterações na conformação original da proteína (desnaturação) (SUZUKI, 1987; SPINELLI *et alii*, 1975; PHAM, 1983; RÉ & FREIRE, 1986). As variáveis Q/Q_{jm} e W_s , tiveram seus valores escolhidos com base nos testes da capacidade máxima de evaporação com pasta padrão, enquanto a variável H_o , nas explicações já citadas.

Tabela 3.4 - Valores de H_o , Q/Q_{jm} e T_{fs} , para os testes de secagem com suspensão de pescado.

H_o (cm)	Q/Q_{jm}	W_s (ml/h)	T_{fs} (°C)
10,0	1,5	250, 300, 350 e 400	70, 75 e 80
12,0	1,4	250, 300, 350 e 400	70, 75 e 80
14,0	1,4	250, 300, 350 e 400	70, 75 e 80

3.3.5 - Avaliação das Propriedades Funcionais

Os produtos protéicos desidratados, além da necessidade de apresentar propriedades nutricionais satisfatórias, devem possuir certas propriedades funcionais que os tornem

compatíveis com vários alimentos. São estas propriedades que determinam seu campo de aplicação, bem como, a possibilidade de competição no mercado de uma nova proteína a ser incorporada como ingrediente nos alimentos.

Dessa forma, para avaliar os efeitos do processo de secagem em leite de jorro na funcionalidade das proteínas do produto obtido, foram realizadas análises:

3.3.5.1 - Solubilidade (S)

A solubilidade foi determinada de acordo com o método de MORR *et alii* (1985), variando-se o pH de uma solução de proteína a 1%, em solução refrigerada de cloreto de sódio 0,5 M. A dosagem do conteúdo de proteína solúvel foi determinada pelo método micro-Kjeldahl. A porcentagem de proteína solúvel foi dada pela equação (3.3).

$$S = \left[\frac{C_s \times 50}{M \times \frac{C_A}{100}} \right] \times 100 \quad (3.3)$$

Onde: C_s é a concentração de proteína no sobrenadante (mg/ml); M é a massa da amostra (mg) e C_A é a concentração de proteína na amostra (%).

3.3.5.2 - Capacidade Emulsificante (CEM)

A capacidade emulsificante foi avaliada conforme o procedimento descrito por PEARCE & KINSELLA (1978). Amostras contendo 10 ml de uma solução de proteína a 0,5% foram homogeneizadas em um agitador mecânico a 2500 rpm em banho de gelo, com a adição simultânea de óleo de milho até a inversão das fases (quebra da emulsão). Neste ponto foi interrompida a adição de óleo e determinou-se então, o volume de óleo gasto no momento da quebra da emulsão. Este procedimento foi novamente repetido, até um ponto antes da inversão das fases. A emulsão obtida nesta etapa foi utilizada na determinação do índice de atividade emulsificante. As análises foram realizadas no mínimo em triplicata,

devido a dificuldade de visualização do ponto de inversão. Os resultados foram expressos através do volume de óleo que foi emulsificado antes da inversão das fases, por massa de proteína.

3.3.6.3 - Índice de Atividade Emulsificante (IAE)

O índice de atividade emulsificante foi determinado conforme o método descrito por PEARCE & KINSELLA (1978), modificado por MINE *et alii* (1991) e SHAHIDI *et alii* (1995). Amostras contendo 1,0 g da emulsão obtida na etapa de determinação da capacidade emulsificante, em triplicata, foram diluídas em solução de Dodesil Sulfonado de Sódio (SDS) 0,1%, numa razão de 1:500 (v/v). Sendo em seguida determinada a absorbância da emulsão diluída a 500 nm, usando-se cubetas de 0,9 cm de caminho ótico. O IAE foi determinado através da equação 3.4.

$$\text{IAE}(\text{m}^2/\text{g}) = \frac{2 \times T}{\phi \times C} \quad (3.4)$$

na qual: C é concentração de proteína na fase aquosa (%); T é a turbidez, determinada pela equação 3.5 e ϕ é fração de volume da fase aquosa, determinada pelo procedimento descrito por PEARCE & KINSELLA (1978), utilizando a equação 3.6.

$$T = \frac{2,303 \times A}{L} \quad (3.5)$$

$$\phi = \frac{m_a - (E \times m_b)}{m_a + m_b \left[(1 + E) \times \frac{D_o}{D_s} - E \right]} \quad (3.6)$$

Onde:

A é absorvância; L a distância (percurso) da luz na cubeta (cm); m_a a massa seca da emulsão (g); m_b a diferença entre a massa de emulsão e a massa seca de emulsão (g); E a concentração de soluto (g/ml); D_o a densidade do óleo (g/ml) e D_s a densidade da solução protéica a 0,5% (g/ml).

O IAE foi expresso em unidade de área da interface estabilizada por unidade de peso de proteína (m^2/g).

3.4. - Análises

Para avaliar a matéria-prima, o processo de elaboração da suspensão e o produto desidratado, foram realizadas as seguintes análises:

3.4.1 - Umidade

Determinada gravimetricamente seguindo o método nº 16192 descrito pela AOAC (1980), após 24 horas de secagem em estufa a vácuo a 70 °C e 660 mm Hg, até peso constante.

3.4.2 - Proteína

Nitrogênio total foi determinada pelo método micro-Kjeldahl, de acordo com método nº 16193 descrito pela AOAC (1980), utilizando o fator 6,25 para o cálculo do teor de proteína.

3.4.3 - Lipídio

Determinado pelo método de BLIGH & DYER (1959), utilizando clorofórmio e metanol como solvente, sendo posteriormente colocadas em estufa com circulação forçada a 100 °C, até peso constante conforme a metodologia da AOAC (1980).

3.4.4 - Cinza

Determinada gravimetricamente, após calcinação da amostra em mufla a 550 °C até peso constante conforme o método n° 16196 da AOAC (1980).

3.4.5 - Granulometria

A distribuição do tamanho de partículas do produto desidratado foi determinada utilizando-se 20 g de amostra e um conjunto de peneiras padronizadas de diferentes diâmetros de abertura (32, 35, 42, 48, 60, 65, 80, 115, 170, 200 mesh e fundo). A movimentação das peneiras deu-se por vibração, durante o intervalo de tempo de 20 minutos (FOUST *et alii*, 1982).

A determinação do diâmetro médio da partícula foi efetuada através da metodologia que utiliza o diâmetro médio em superfície ou média de Sauter descrita por COULSON & RICHARDSON (1974), utilizando a equação 3.7.

$$d_{ms} = \frac{1}{\sum_{i=1} \frac{X_i}{d_{mi}}} \quad (3.7)$$

na qual X_i é a fração em massa de partículas retidas e d_{mi} o diâmetro médio da abertura entre as peneiras.

3.4.6 - Densidade

A densidade da suspensão resultante foi determinada em triplicata, por picnometria com temperatura de referência 35 °C.

3.4.7 - Viscosidade

A viscosidade da suspensão resultante foi determinada em triplicata, através de um viscosímetro rotacional Brookfield, provido de copo giratório (*spindle*) tipo cilindro-cone SC4 - 34, interface RS - 232, para conexão com microcomputador e o programa Wingather, que possibilitou o controle e visualização da operação. Os testes foram conduzidos nas temperaturas de 35 °C (temperatura da suspensão no tanque de alimentação da bomba).

3.4.8 - Análise microbiológica

A avaliação da qualidade microbiológica foi efetuada adotando-se o procedimento de VANDERZANT & SPLITTOESSER (1992), e analisou a presença e quantificação dos seguintes microorganismos: *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, coliformes fecais e clostrídio sulfito redutores.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Planejamento Experimental do Processo de Extração

Como foi mencionado anteriormente foram realizados dois tratamentos para avaliar o rendimento de proteína e a extração de lipídios. No primeiro utilizou-se como solução extratora NaCl e NaHCO₃; no segundo utilizou-se solução de fosfato e NaCl. Para estudar os efeitos das variáveis envolvidas no processo de lixiviação foi realizado um delineamento central rotacional composto. Para uma melhor compreensão dos efeitos a discussão dos resultados será feita de forma individual.

4.1.1 - Processo de Extração da Suspensão I

Os resultados experimentais obtidos com o primeiro tratamento empregado no processo de extração do material solúvel, para as 2 variáveis dependentes, Rendimento de Proteína (RP) e Extração de Lipídios (EL), a partir das 27 combinações das 4 variáveis independentes, Relação ml de Solução extratora por g de Pasta de peixe (RSP), Número de Ciclos de Extração (NCE), Tempo de Agitação (TA) e Velocidade de Agitação (VA), correspondentes ao planejamento central rotacional composto, são apresentados na Tabela 4.1.

Para se ter condições de medir estatisticamente a influência de cada variável no rendimento de proteína e remoção de lipídios, a Tabela 4.2 mostra os efeitos principais de cada variável, de interações entre elas e os erros padrões associados aos mesmos a um nível de 95% de confiança. Os efeitos foram calculados através do *software Statistica for Windows*, e foram baseados na metodologia que emprega a "Tabela dos Coeficientes de Contrastes" conforme descrição de BOX *et alii*, (1978) e os erros, por sua vez, foram calculados pela estimativa das variâncias, também descrito pelos mesmos autores.

Tabela 4.1 - Variáveis reais e valores do rendimento de proteína e extração de lipídios referente a Suspensão I.

Ensaio	Variáveis independentes				Respostas	
	RSP (ml/g)	VA (rpm)	NCE	TA (min)	RP (%)	EL (%)
1	2,0	180,0	5	4,0	67,66	31,15
2	4,0	180,0	5	4,0	63,03	27,49
3	2,0	360,0	5	4,0	67,01	31,63
4	4,0	360,0	5	4,0	64,00	30,01
5	2,0	180,0	9	4,0	61,80	35,15
6	4,0	180,0	9	4,0	63,10	35,85
7	2,0	360,0	9	4,0	62,14	31,55
8	4,0	360,0	9	4,0	64,05	38,14
9	2,0	180,0	5	8,0	76,15	32,00
10	4,0	180,0	5	8,0	62,90	33,46
11	2,0	360,0	5	8,0	72,66	27,18
12	4,0	360,0	5	8,0	63,15	30,07
13	2,0	180,0	9	8,0	66,00	30,51
14	4,0	180,0	9	8,0	61,06	47,03
15	2,0	360,0	9	8,0	62,24	36,31
16	4,0	360,0	9	8,0	59,64	49,52
17	1,0	270,0	7	6,0	65,58	33,85
18	5,0	270,0	7	6,0	60,59	45,95
19	3,0	90,0	7	6,0	64,00	30,13
20	3,0	450,0	7	6,0	60,45	33,42
21	3,0	270,0	3	6,0	66,67	36,19
22	3,0	270,0	9	6,0	60,05	40,09
23	3,0	270,0	7	2,0	64,00	28,56
24	3,0	270,0	7	10,0	67,23	24,43
25	3,0	270,0	7	6,0	62,95	36,48
26	3,0	270,0	7	6,0	62,15	36,11
27	3,0	270,0	7	6,0	62,79	37,01

De acordo com BOX *et alii*, (1978), através da comparação dos valores dos efeitos estimados para cada variável com o erro padrão associado, é possível prever a influência de cada uma na resposta estudada. Assim, como está exposto na Tabela 4.2, notou-se que o RP, não foi influenciado significativamente pelos efeitos quadráticos, X_1 , da relação solução extratora por pasta de peixe, X_2 , da velocidade de agitação, X_3 , do número de ciclos de extração e pelos efeitos X_2X_3 , de interações entre a velocidade de agitação vs o número de ciclos de extração.

Tabela 4.2 - Efeitos principais e erros padrões para o planejamento experimental, referente a Suspensão I.

Fator	RP		EL	
	Efeitos	Erro padrão	Efeitos	Erro padrão
Média	62,630	0,244	36,533	0,261
Linear				
X_1	-3,726	0,173	5,024	0,185
X_2	-1,159	0,173	0,696	0,185
X_3	-4,148	0,173	5,739	0,185
X_4	1,456	0,173	1,404	0,185
Quadrático				
X_1^2	0,633	0,183	1,721	0,196
X_2^2	0,203	0,183	-2,341	0,196
X_3^2	0,770	0,183	0,841	0,196
X_4^2	1,898	0,183	-4,981	0,196
Interações				
X_1X_2	1,039	0,212	0,756	0,226
X_1X_3	3,259	0,212	4,744	0,226
X_1X_4	-3,234	0,212	4,009	0,226
X_2X_3	-0,121	0,212	1,524	0,226
X_2X_4	-1,253	0,212	-0,201	0,226
X_3X_4	-1,914	0,212	2,531	0,226

Em relação a **EL**, observou-se que os efeitos, linear da velocidade de agitação, X_2 , e quadrático do número de ciclos de extração, X_3 , seguidos pelos efeitos de interações entre a relação solução extratora por pasta de peixe vs velocidade de agitação, X_1X_2 e da velocidade de agitação vs tempo de extração, X_2X_4 , não influenciaram significativamente na resposta.

Entretanto, ao contrário à resposta do **RP**, os efeitos quadráticos de X_1 e X_2 , afetaram significativamente na resposta de **EL**. Em ambos os casos, as variáveis que apresentaram influências significativas foram a relação solução extratora por pasta de peixe, X_1 , número de ciclos de extração, X_3 , nos efeitos lineares e tempo de agitação, X_4 , nos efeitos lineares e quadráticos, além das interações da relação solução extratora por pasta de peixe vs número de ciclos de extração, X_1X_3 e tempo de agitação, X_1X_4 , seguida pelas interações número de ciclos de extração vs tempo de agitação, X_3X_4 . Os efeitos considerados estatisticamente significativos a um nível de 95% de confiança encontram-se em negrito na Tabela 4.2.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4.2 e utilizando o pacote computacional *Statistica for Windows*, foi efetuada a exclusão das variáveis consideradas estatisticamente não significativas e determinados os coeficientes de regressão para os modelos de **RP** e **EL**. Na Tabela 4.3 são apresentados os coeficientes de regressão considerados estatisticamente significativos a um nível de 95% de confiança para os modelos de **RP** e **EL**.

A partir dos coeficientes apresentados na Tabela 4.3, foi possível obter os modelos empíricos, que relacionam o rendimento de proteína (**RP**) e a extração de lipídios (**EL**), com as variáveis estudadas, as tabelas de análise de variância e os gráficos tridimensionais de superfície de resposta, que permitem estudar as interações entre as variáveis e auxiliam na escolha da melhor condição de operação no processo de extração realizada com NaCl e NaHCO_3 , 0,1M.

Tabela 4.3 - Coeficientes de regressão para os modelos de rendimento de proteína **RP** e extração de lipídios **EL**, referentes Suspensão I.

Fator	RP	EL
Média	74,525	64,925
Linear		
X ₁	-4,273	-17,026
X ₃	-2,046	-5,953
X ₄	3,039	2,572
Quadrático		
X ₁ ²	—	0,871
X ₄ ²	0,197	-0,620
Interações		
X ₁ X ₂	0,006	—
X ₁ X ₃	0,815	1,186
X ₁ X ₄	-0,808	1,002
X ₂ X ₃	—	0,007
X ₂ X ₄	-0,003	—
X ₃ X ₄	-0,239	0,316

Os modelos empíricos de 2ª ordem do rendimento de proteína (**RP**) e de extração de lipídios (**EL**) relacionando as variáveis estudadas estão representados pelas equações 4.1 e 4.2. Neles foram considerados apenas os coeficientes estatisticamente significativos, o restante foi desprezado e incorporado ao erro por falta de ajuste.

$$RP = 0,197 X_4^2 - 4,273 X_1 - 2,046 X_3 + 3,039 X_4 + 0,006 X_1 X_2 + 0,815 X_1 X_3 - 0,808 X_1 X_4 - 0,003 X_2 X_4 - 0,239 X_3 X_4 + 74,525 \quad (4.1)$$

$$EL = 0,871 X_1^2 - 0,62 X_4^2 - 17,026 X_1 - 5,953 X_3 + 2,572 X_4 + 1,186 X_1 X_3 + 1,002 X_1 X_4 + 0,007 X_2 X_3 + 0,316 X_3 X_4 + 64,925 \quad (4.2)$$

A validade dos modelos de **RP** e **EL** foi verificada através da Análise de Variância (ANOVA), apresentadas respectivamente nas Tabelas 4.4 e 4.5, calculadas a um nível de 95% de confiança.

Tabela 4.4 - Análise de variância para o modelo de 2ª ordem do rendimento de proteína (**RP**), referente a Suspensão I.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	333,411	10,0	33,341	22,86	2,49
Resíduo	23,335	16,0	1,458		
Falta de ajuste	22,977	14,0	1,641		
Total	356,746	26,0			

% Variação explicada (R^2) = 93,46

% máxima variação explicável = 99,89

Tabela 4.5 - Análise de variância para o modelo de 2ª ordem da extração de lipídios (**EL**), referente a Suspensão I.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	787,861	10,0	78,786	8,84	2,49
Resíduo	142,641	16,0	8,915		
Falta de ajuste	142,232	14,0	10,159		
Total	930,503	26,0			

% Variação explicada (R^2) = 84,67

% máxima variação explicável = 99,96

O procedimento para verificar a validade dos modelos tem como princípio básico os critérios estatísticos de coeficiente de correlação, R^2 e o teste F. O coeficiente de correlação é um parâmetro estatístico que compara a variância dos valores das respostas previstas pelo modelo proposto com a variância da própria população dos pontos experimentais. Quanto mais próximo de um estiver o valor do coeficiente de correlação

entre os valores previstos e os valores experimentais, melhor será o ajuste do modelo aos dados experimentais (BOX *et alii*, 1978).

O teste F de significância é usualmente utilizado para verificar se o modelo explica uma quantidade significativa da variação dos dados experimentais, comparando-se o valor estimado para F a partir dos resultados experimentais com o valor tabelado para uma distribuição de referência $F_{\alpha, p-1, N-1}$. O fundamento do teste F consiste em verificar se existe ou não relação entre as variáveis e a resposta. Segundo BARROS NETO *et alii*, (1995) quando não há relação entre resposta e a variável, pode-se demonstrar que a razão entre as médias quadráticas da regressão e dos resíduos, MQ_R/MQ_r , segue uma distribuição denominada pelos autores de hipótese nula. Neste caso a variação nos valores dos resultados foi devido exclusivamente a fatores aleatórios.

A hipótese nula pode ser testada comparando o valor efetivamente calculado para MQ_R/MQ_r com o valor de F tabelado. Se a razão MQ_R/MQ_r for maior que F tabelado, então a hipótese nula é rejeitada a um nível de significância e pode-se afirmar que a quantidade de variação devido ao modelo é significativamente maior que a variação não explicada e o modelo é considerado válido (BARROS NETO *et alii*, 1995).

No caso estudado o valor tabelado de F para ambos os modelos, **RP** e **EL** a um nível de 95% de confiança foi 2,49. Esse valor encontra-se bem abaixo dos valores calculados de F, para **RP** e **EL**, apresentados nas Tabelas 4.4 e 4.5, que foram de 22,86 e 8,84 respectivamente, o que demonstra que a quantidade de variações devido aos modelos são maiores que as variações não explicadas e os modelos são considerados válidos. Desta forma, é possível dizer que os modelos ajustados de **RP** e **EL** explicam 93,46 e 84,67% das variações das respostas encontradas respectivamente e são estatisticamente significativos.

No entanto, uma regressão, embora significativa do ponto de vista do teste F, pode não ser preditiva, por cobrir uma faixa de variação pequena dos fatores estudados. Para que

isto não ocorra, isto é, para que uma regressão não seja apenas estatisticamente significativa mas também útil para fins preditivos, sugeriu-se (BOX e WETZ, 1973), que o valor de F calculado fosse no mínimo de quatro a cinco vezes o valor do F tabelado. Essa condição é amplamente satisfeita no caso do modelo de **RP**, onde o valor de F calculado é 9,18 vezes maior que o valor de F tabelado, o que indica que o modelo além de ser significativo é preditivo no intervalo de confiança de 95,0%.

Com relação ao modelo **EL** observa-se na Tabela 4.5, que o valor do F calculado para o mesmo é 3,55 vezes maior que o valor de F tabelado, o que indica que o modelo não satisfaz a condição estabelecida por BOX & WETZ (1973), no sentido de que o valor de F calculado deva ser de quatro a cinco vezes maior que o valor de F tabelado, para o modelo ser considerado preditivo. No entanto cabe ressaltar que devido a complexidade do processo e com base no coeficiente de correlação, que neste caso foi 0,8467, um valor aceitável dentro dos padrões de Engenharia, e a diferença entre o valor mínimo sugerido por BOX & WETZ (1973) e o obtido pelo modelo ($4 - 3,55 = 0,45$) não ser significativa, conduziu a aceitá-lo como um modelo preditivo.

As Figuras 4.1 e 4.2 mostram os valores observados experimentalmente em função dos valores preditos pelo uso dos modelos de **RP** e **EL**. Nelas observa-se que os modelos de **RP** e **EL** podem representar razoavelmente o comportamento da resposta frente à variação das variáveis na faixa estuda.

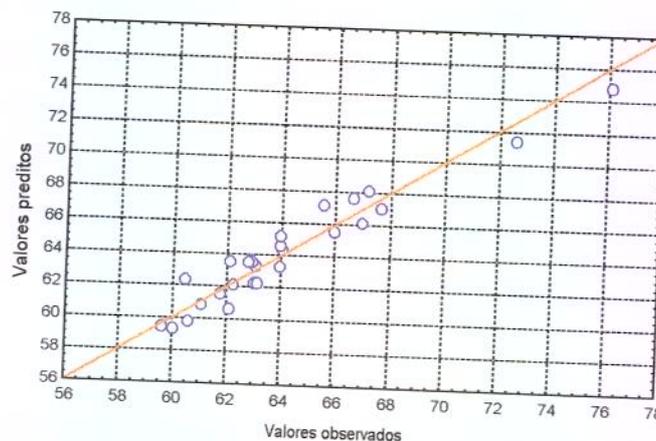


Figura 4.1 - Valores preditos vs Valores experimentais para o modelo **RP**.

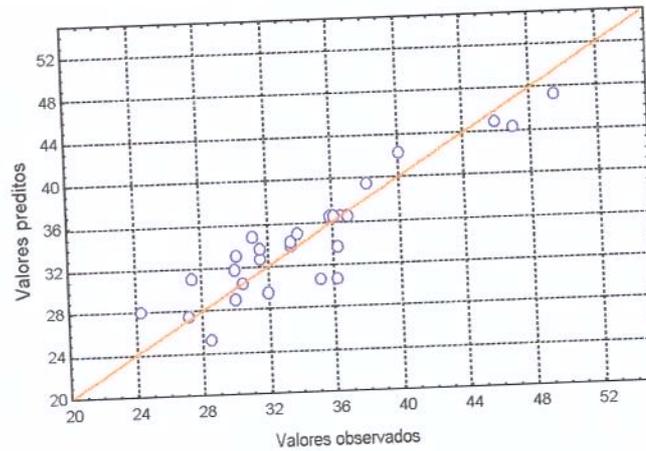


Figura 4.2 - Valores preditos vs Valores experimentais para o modelo **EL**.

Para efetuar uma análise mais detalhada do comportamento de cada variável construiu-se com auxílio do *software Statistica for Windows*, gráficos tridimensionais de superfície de resposta e curvas de nível para todas as combinações possíveis de variáveis. Em todas as figuras, a variável que não está representada, teve seu valor mantido constante no nível utilizado no ponto central. Nas Figuras 4.3 a 4.8 apresentam-se as superfícies de resposta e as curvas de nível correspondentes, geradas pelo modelo de 2ª ordem para o **RP** em função das variáveis independentes.

A Figura 4.3a descreve a variação do rendimento de proteína em função das variáveis **VA** e **RSP**, mantendo-se fixa no ponto central as variáveis **TA** e **NCE**, enquanto a Figura 4.3b apresenta para as mesmas condições, a curva de nível correspondente. Na Figura 4.3a verifica-se que o rendimento de proteína é fortemente influenciado pelo efeito da variável **RSP**. A Figura 4.3b mostra que o rendimento de proteína foi favorecido positivamente, quando se trabalhou com valores da **RSP** entre 1 e 2 v/p e **VA** na faixa de 90 rpm a 270 rpm. Segundo FARFÁN (1990), quando a solução salina possui baixa força iônica, a solubilidade é escassa, talvez devido à falta de uma certa condutividade do meio, mas com o aumento da concentração do sal, ocorre a estabilização dos grupos carregados

da proteína, diminuindo o coeficiente de atividade, o que redundava em benefício da solubilidade.

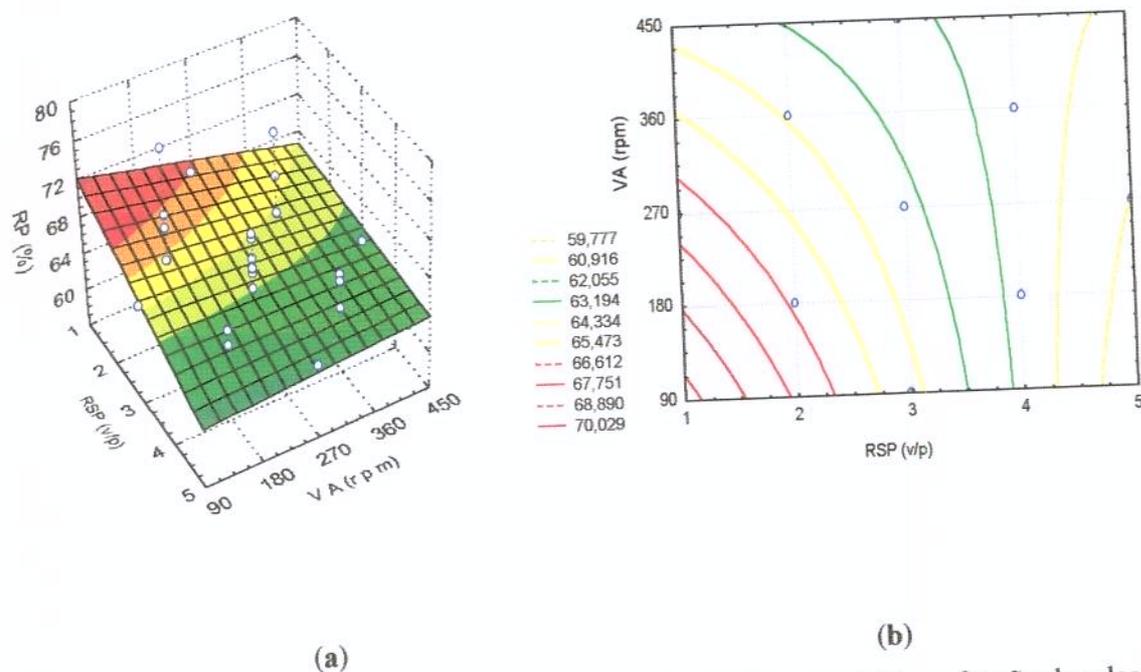


Figura 4.3 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) para o RP em função da relação solução extratora e pasta de peixe e velocidade de agitação.

O efeito de interação entre a RSP e NCE, no rendimento de proteína, é mostrado na Figura 4.4. Nota-se no gráfico de superfície de resposta, Figura 4.4a, que ambas variáveis exercem forte influência na resposta e que a associação dos níveis inferiores de NCE e RSP favorecem a tendência de elevação do rendimento de proteína. As curvas de nível da Figura 4.4b mostram que o rendimento de proteína atinge um valor máximo quando trabalha-se com valores de NCE entre 3 e 5 ciclos de lavagem e RSP abaixo de 2 v/p.

A Figura 4.5 descreve o comportamento da interação entre RSP e TA sobre o rendimento de proteína. Na Figura 4.5a, observa-se uma tendência de elevação nos valores do rendimento de proteína para baixos valores da RSP e elevados valores do TA. As curvas de nível da Figura 4.5b, mostram, que as melhores respostas foram obtidas quando utilizou-se valores do TA na faixa de 8 a 10 minutos e valores da RSP entre 1 e 2 p/v.

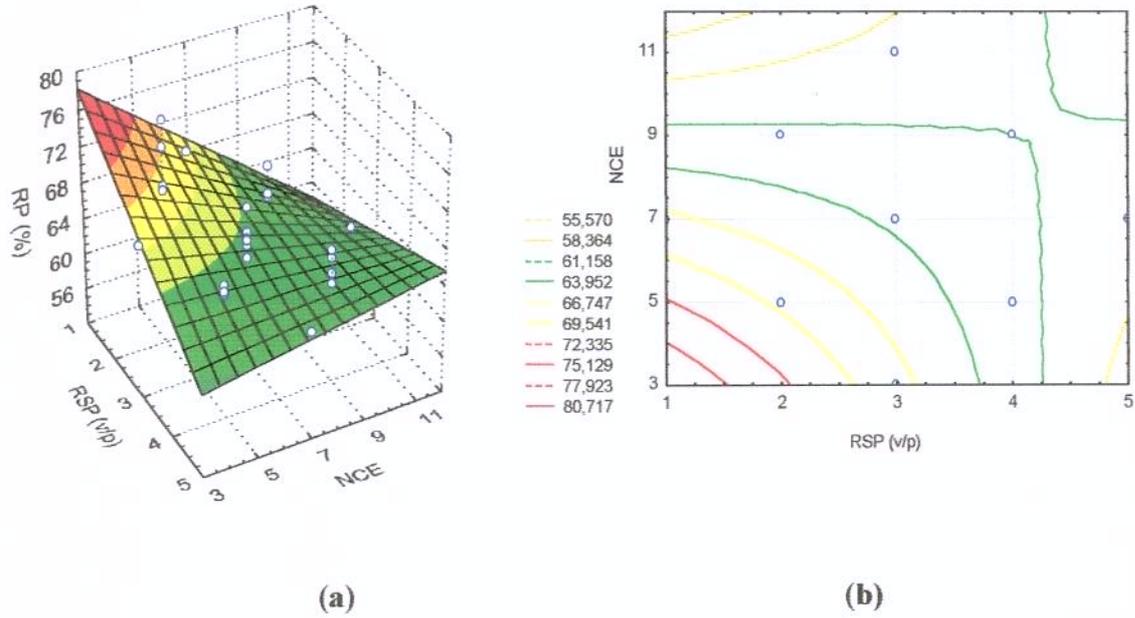


Figura 4.4 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) para o RP em função da relação solução extratora e pasta de peixe e número de ciclos de extração.

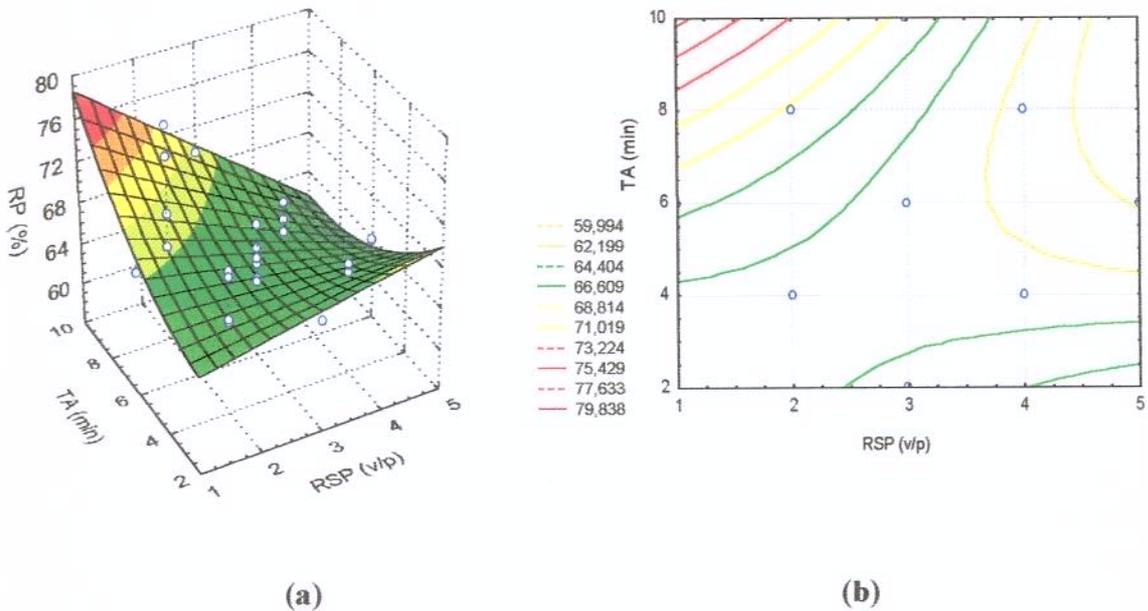


Figura 4.5 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função da relação solução extratora e pasta de peixe e tempo de agitação.

A Figura 4.6 descreve a influência do NCE e da VA, sobre o rendimento de proteína. Percebe-se no gráfico de superfície de resposta, Figura 4.6a, que a resposta é mais sensível a variações da variável NCE. As curvas de nível da Figura 4.6b mostram que independentemente do valor da VA, operando-se com valores de NCE a baixos de 5 ciclos obteve-se excelentes respostas para o rendimento de proteína.

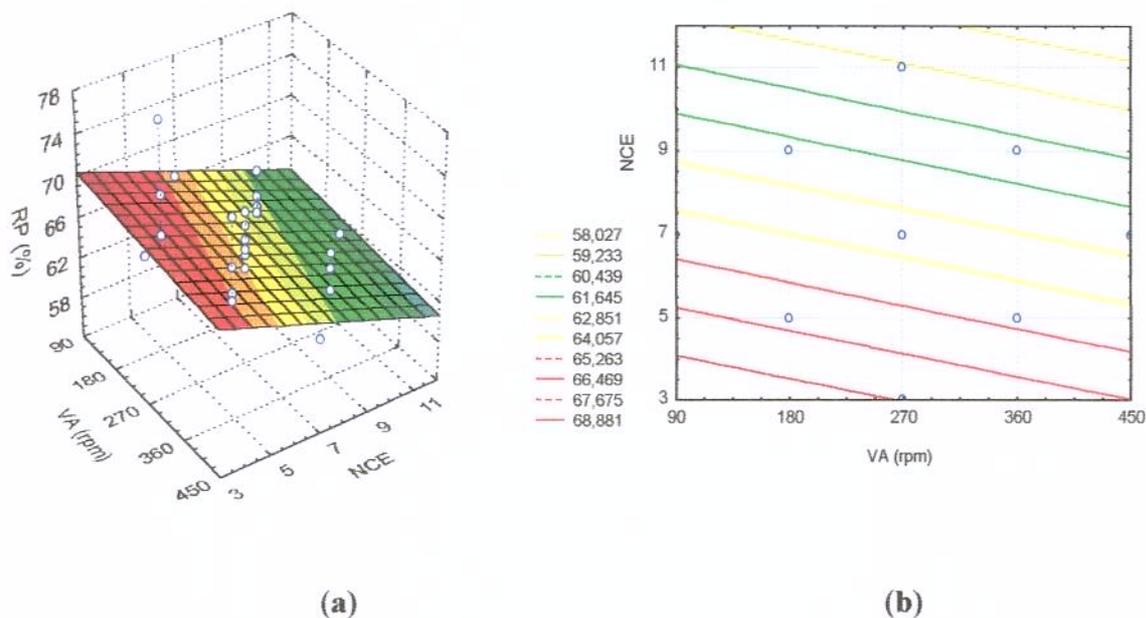


Figura 4.6 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função da velocidade de agitação e número de ciclos de extração.

O comportamento da VA e do TA, no rendimento de proteína é apresentado na Figura 4.7. No gráfico de superfície de resposta, Figura 4.7a, verificou-se que a variável TA exerceu forte influência na resposta do que a VA. As curvas de nível da Figura 4.7b, mostram que a associação de valores do TA acima de 8 min, a valores de VA, inferiores a 180 rpm, possibilitou obter boas respostas para o rendimento de proteína.

A Figura 4.8 mostra a variação do rendimento de proteína em função das variáveis NCE e VA. Observou-se no gráfico de superfície de resposta, Figura 4.8a, a existência de uma região indesejável à resposta, na qual, os baixos rendimentos estão relacionados a valores do NCE, superiores a 9 ciclos. Por outro lado, operando-se com valores elevados

da variável TA (acima de 7 minutos), e valores do NCE, inferiores a 4 ciclos de lavagem, leva a obter boas resposta para o rendimento, como mostra a Figura 4.8b.

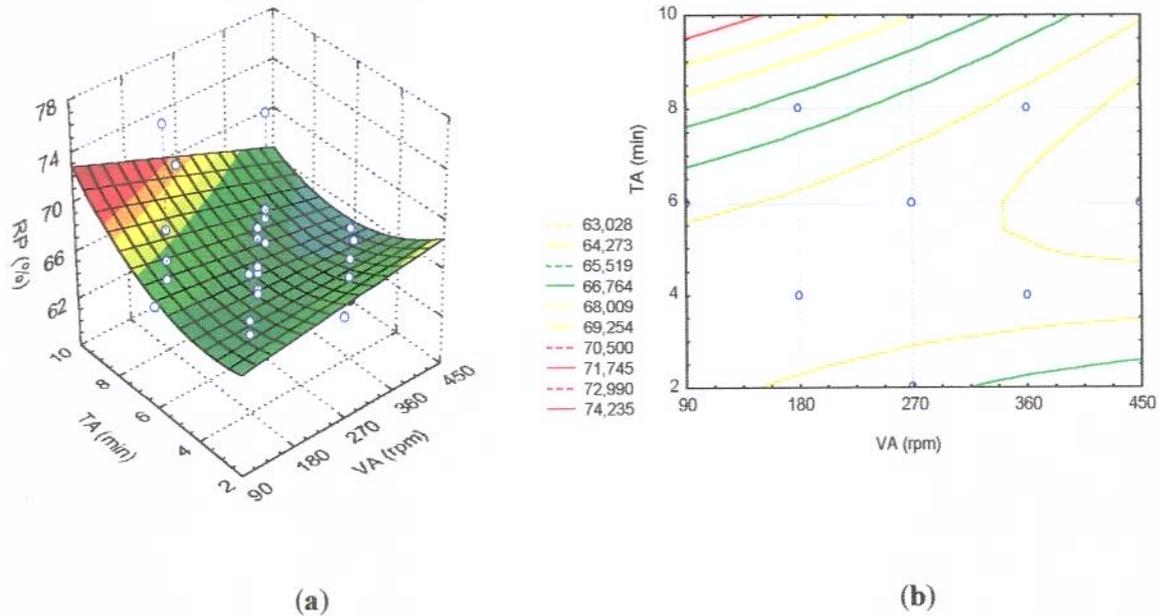


Figura 4.7 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função da velocidade de agitação e tempo de agitação.

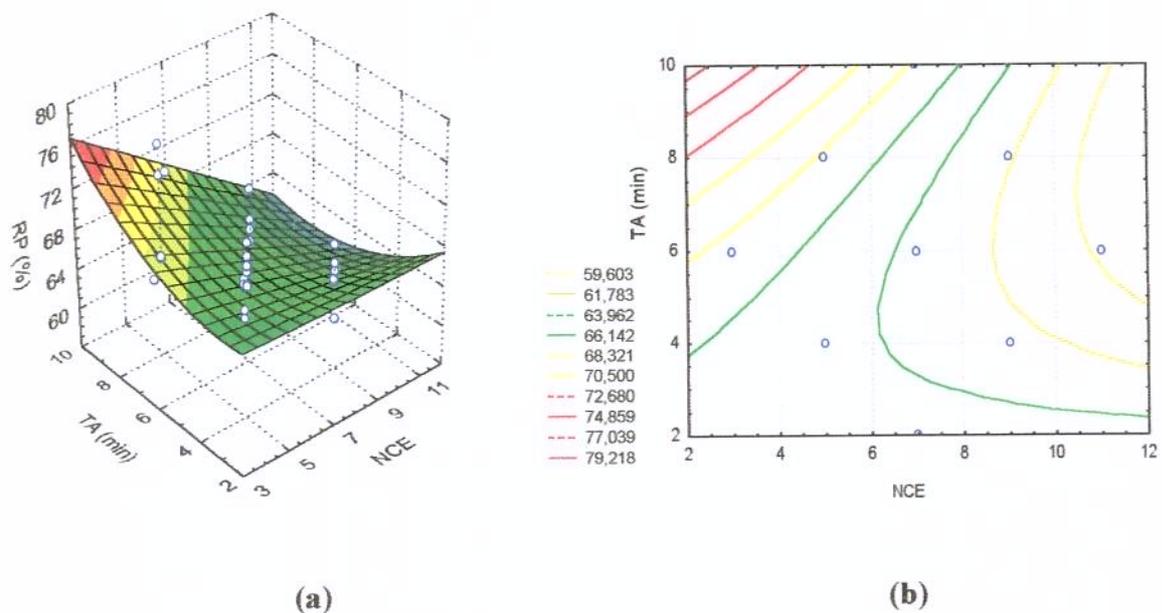


Figura 4.8 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função do número de ciclos de extração e tempo de agitação.

Nas figuras 4.9 a 4.14 são apresentadas as superfícies de resposta e as curvas de nível correspondentes, geradas pelo modelo de 2ª ordem para o **EL** em função das variáveis independentes.

O comportamento da **VA**, e da **RSP**, na resposta de extração de lipídios, para condições restritivas do **NCE** e **TA**, é apresentado na Figura 4.9. Pela Figura 4.9a, observou-se que a variável **RSP** exerce forte influência sobre a resposta, sendo que os maiores valores para a extração de lipídios foram obtidos operando-se com altos valores de **RSP** (acima de 4 v/p) e valores da **VA** na faixa de 240 a 300 rpm, como mostra a figura 4.9b. Este efeito, já esperado, deve-se ao fato que ao elevarmos a concentração da solução extratora, estamos diminuindo a viscosidade da mistura e com isso aumentando a velocidade de extração da fração lipídica.

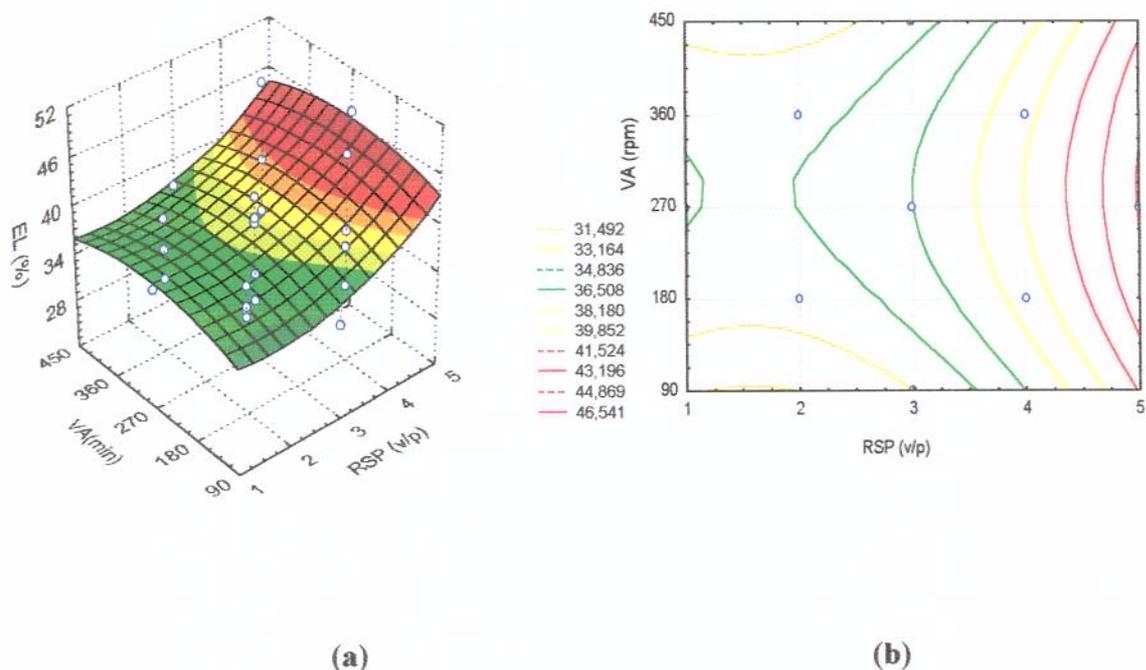


Figura 4.9 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da **EL** em função da relação, solução extratora e pasta de peixe e da velocidade de agitação.

A Figura 4.10 ilustra a variação da extração de lipídios em função das variáveis **RSP** e **NCE**. A análise do gráfico de superfície de resposta, Figura 4.10 a permite observar

o forte efeito da interação dessas duas variáveis na extração de lipídios. As curvas de nível da Figura 4.10 b mostraram que a combinação de valores da **RSP** e **NCE**, acima de 4,0 v/p e 8 ciclos, respectivamente, favorecem a solubilização da fração lipídica e provoca um aumento acentuado no valor da resposta. Segundo BODERÍAS & TEJADA (1987), sucessivos ciclos de lavagem, além de reduzir a desnaturação da actomiosina, favorecem na remoção de lipídios, porém elevam os custos operacionais do processo, já que existe a necessidade de efetuar um tratamento do líquido drenado.

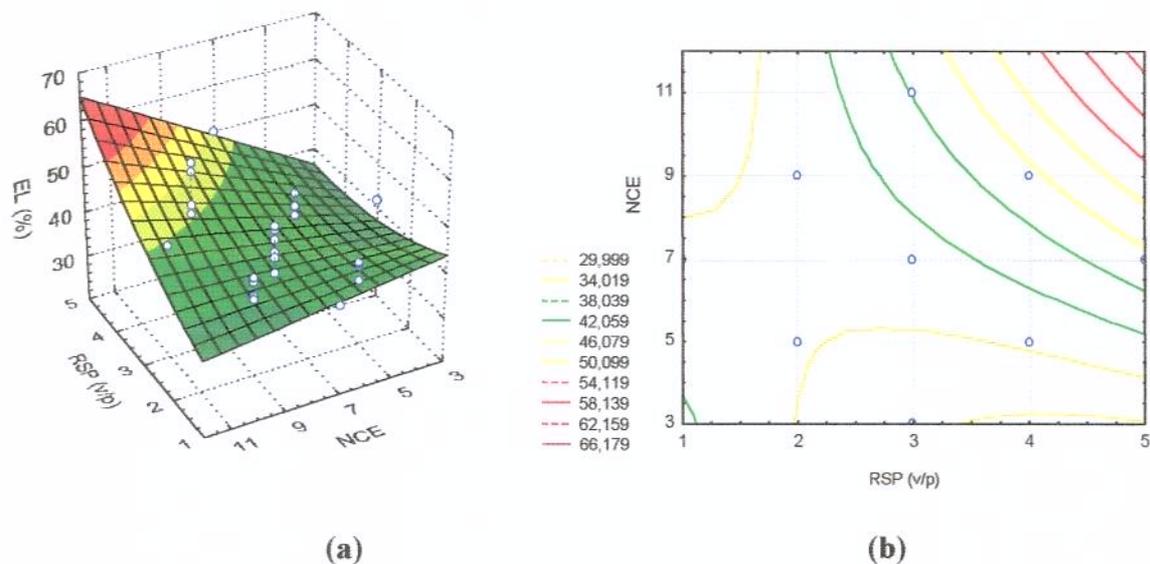


Figura 4.10 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação, solução extratora e pasta de peixe e do número de ciclos de extração.

O efeito da interação das variáveis **RSP** e **TA**, na extração de lipídios, é apresentado na Figura 4.11. Observou-se na Figura 4.11a que ambas variáveis exercem uma forte influência na resposta, sendo que, as melhores respostas para a extração de lipídios foram obtidas utilizando valores do **TA** entre 4 e 8 minutos para valores da **RSP** acima de 2 v/p, como se visualiza na Figura 4.11b.

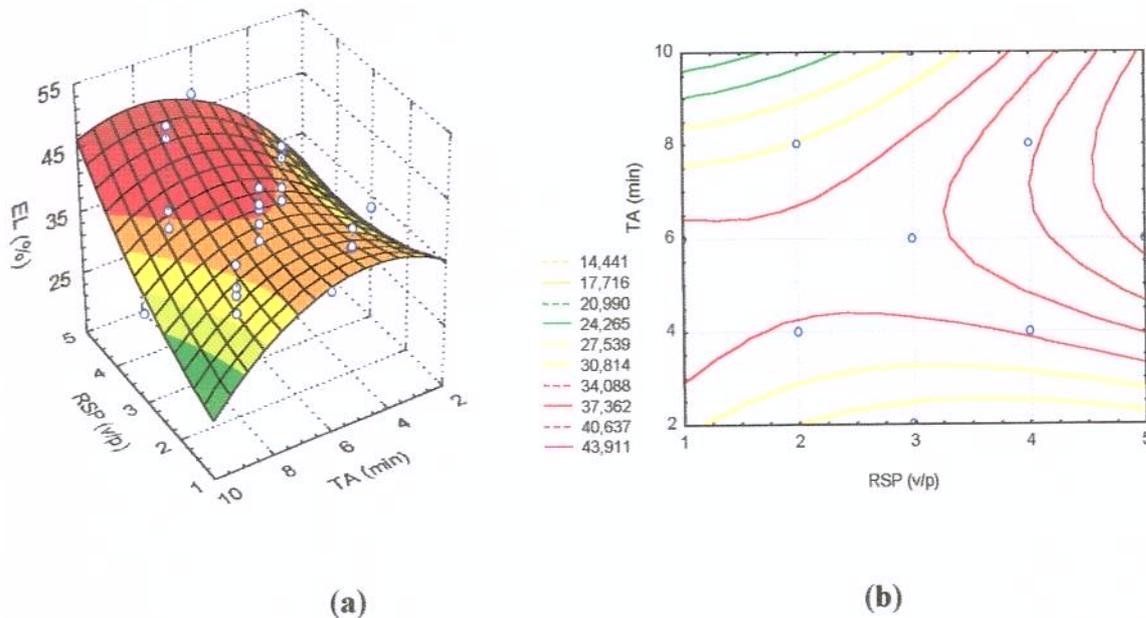


Figura 4.11 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação solução extratora e pasta de peixe e do tempo de agitação.

A Figura 4.12 descreve o comportamento da extração de lipídio em função das variáveis **VA** e **TA**, mantendo-se a **RSP** e o **NCE**, constantes. Na análise das Figuras 4.12 (a) e (b) verifica-se a existência de uma região de máxima extração de lipídio, situada nas velocidades compreendidas entre 140 e 430 rpm e nos tempos entre 4,5 e 8 minutos. Com estes valores a remoção de lipídios foi de aproximadamente de 34,48%.

O efeito de interação das variáveis **VA** e **NCE**, na variação da extração de lipídios é apresentado na A Figura 4.13. Observa-se no gráfico de superfície de resposta, Figura 4.13a, que a variável **NCE** exerceu uma maior influência sobre a remoção de lipídios do que **VA**. As curvas de nível da Figura 4.13b mostram que os maiores valores para a resposta encontram-se na região que envolve valores da **VA** e do **NCE** acima de 150 rpm e 8 ciclos, respectivamente.

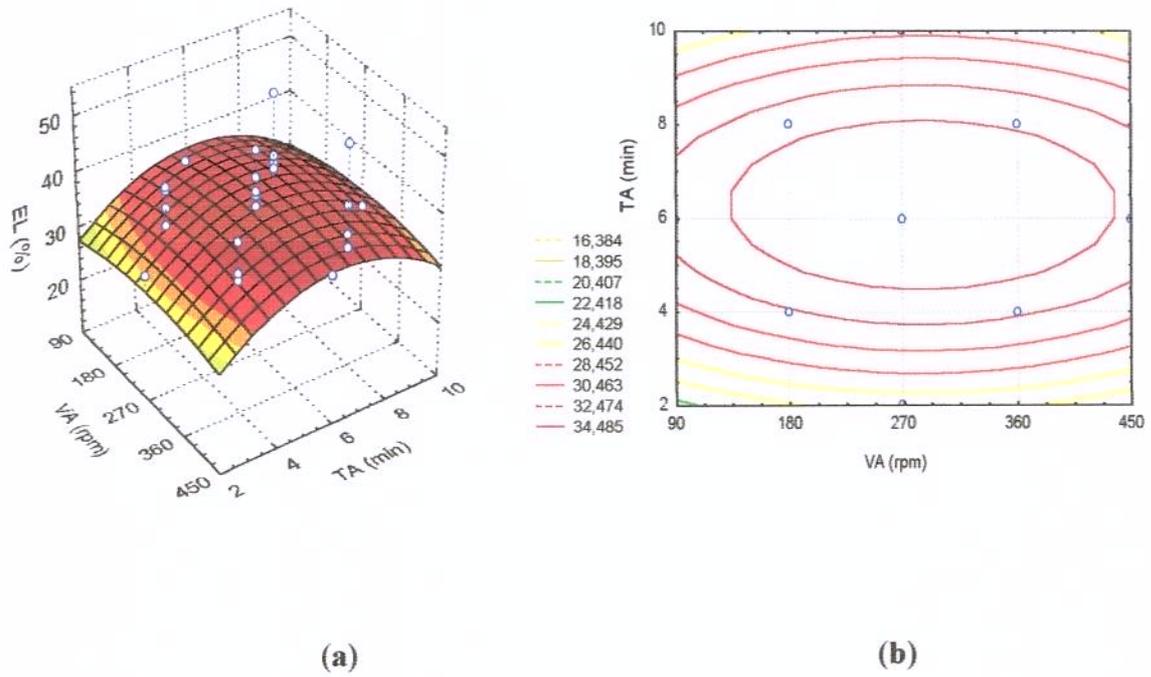


Figura 4.12 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da velocidade de agitação e do tempo de agitação.

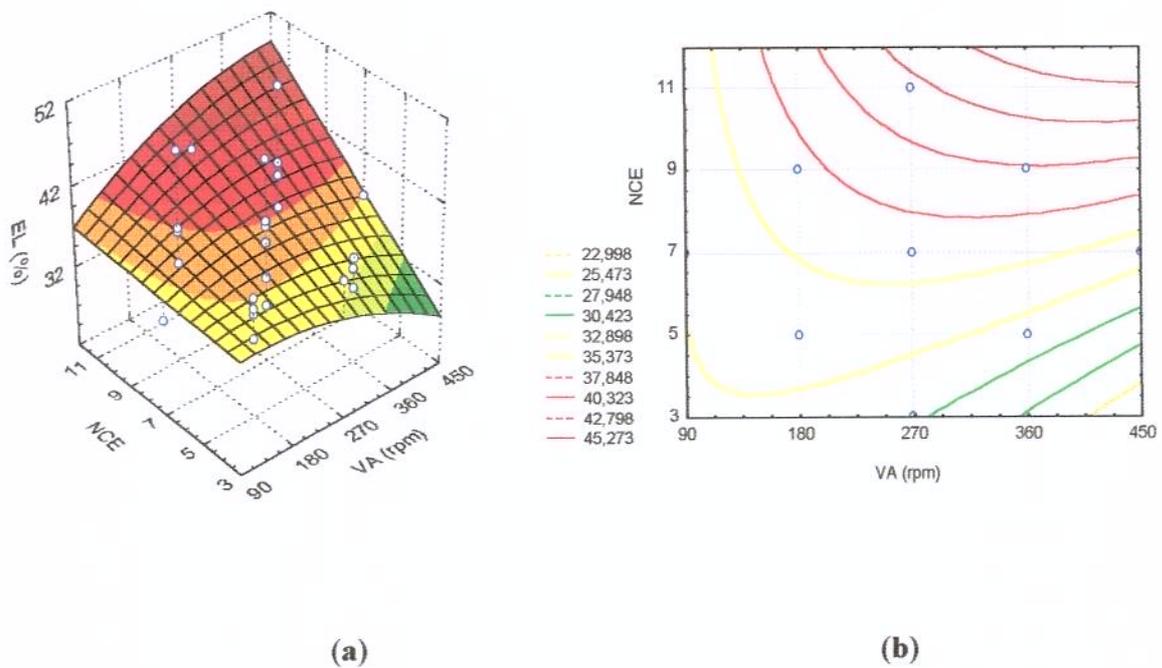


Figura 4.13 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função do número de ciclos de extração e da velocidade de agitação.

O efeito de interação das variáveis, **TA** e **NCE**, sobre a remoção de lipídios é mostrado na Figura 4.14. Notou-se na superfície de resposta, Figura 4.14a, que a resposta foi mais sensível a variações da variável **TA**. Os piores valores para a remoção de lipídios foram obtidos, operando-se no nível superior do **TA** (10 min) e com valores do **NCE** abaixo de 4 ciclos, como mostra a Figura 4.14b.

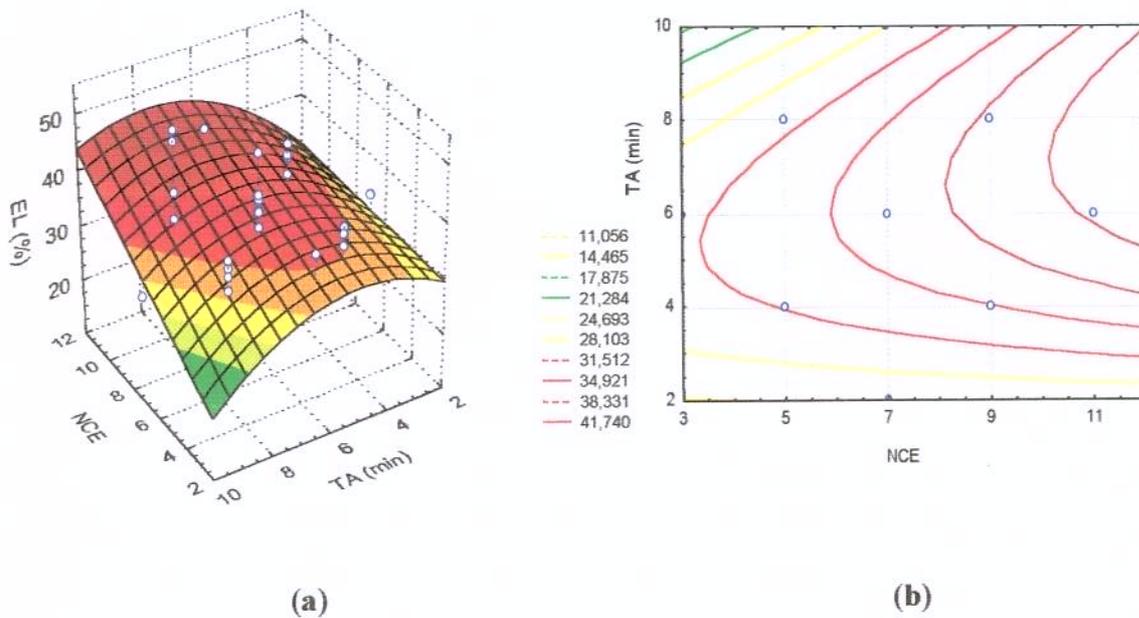


Figura 4.14 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função do número de ciclos de extração e do tempo de agitação.

4.1.2 - Processo de Extração da Suspensão II

Os resultados experimentais obtidos com o segundo tratamento empregado no processo de extração do material solúvel, para as 2 variáveis dependentes, rendimento de proteína (**RP**) e extração de lipídios (**EL**), a partir das 27 combinações das 4 variáveis independentes, Relação Solução extratora e Pasta de peixe (**RSP**), Número de Ciclos de Extração (**NCE**), Tempo de Agitação (**TA**) e Velocidade de Agitação (**VA**), correspondentes ao planejamento central rotacional composto, são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Variáveis reais e valores do rendimento de proteína e extração de lipídios referente a Suspensão II.

Ensaio	Variáveis independentes				Respostas	
	RSP (ml/g)	VA (rpm)	NCE	TE (min)	RP (%)	EL (%)
1	2,0	180	5	4,0	74,06	32,44
2	4,0	180	5	4,0	72,25	29,37
3	2,0	360	5	4,0	70,01	36,45
4	4,0	360	5	4,0	70,05	29,96
5	2,0	180	9	4,0	67,64	35,15
6	4,0	180	9	4,0	69,00	40,31
7	2,0	360	9	4,0	70,14	36,36
8	4,0	360	9	4,0	70,11	43,59
9	2,0	180	5	8,0	80,52	32,00
10	4,0	180	5	8,0	68,85	33,45
11	2,0	360	5	8,0	77,53	28,71
12	4,0	360	5	8,0	71,31	32,28
13	2,0	180	9	8,0	72,01	34,48
14	4,0	180	9	8,0	66,83	48,54
15	2,0	360	9	8,0	68,13	39,39
16	4,0	360	9	8,0	66,71	48,85
17	1,0	270	7	6,0	71,78	34,57
18	5,0	270	7	6,0	66,32	48,95
19	3,0	90	7	6,0	70,05	34,72
20	3,0	450	7	6,0	66,17	38,51
21	3,0	270	3	6,0	77,84	41,70
22	3,0	270	9	6,0	68,32	42,74
23	3,0	270	7	2,0	70,05	28,51
24	3,0	270	7	10,0	72,58	26,85
25	3,0	270	7	6,0	68,14	42,04
26	3,0	270	7	6,0	68,03	41,61
27	3,0	270	7	6,0	67,89	42,65

Analisando-se os dados da Tabela 4.7, notou-se que o Rendimento de Proteína, **RP**, neste caso, não sofre influência significativa, a um nível de 95% de confiança, do efeito quadrático, X_2 , da velocidade de agitação e do efeito de interação entre o tempo de agitação vs velocidade de agitação X_2X_4 .

Tabela 4.7 - Efeitos principais e erros padrões para o planejamento experimental, referente a Suspensão II.

Fator	RP		EL	
	Efeitos	Erro padrão	Efeitos	Erro padrão
Média	68,019	0,072	42,097	0,301
Linear				
X_1	-2,987	0,051	5,012	0,213
X_2	-1,246	0,051	1,451	0,213
X_3	-4,421	0,051	6,173	0,213
X_4	1,140	0,051	0,896	0,213
Quadrático				
X_1^2	0,702	0,054	-0,414	0,226
X_2^2	0,231	0,054	-2,987	0,226
X_3^2	2,717	0,054	0,184	0,226
X_4^2	1,835	0,054	-7,456	0,226
Interações				
X_1X_2	1,210	0,063	0,479	0,261
X_1X_3	1,799	0,063	5,057	0,261
X_1X_4	-3,004	0,063	3,213	0,261
X_2X_3	0,797	0,063	1,196	0,261
X_2X_4	-0,236	0,063	-1,041	0,261
X_3X_4	-1,880	0,063	2,203	0,261

Com relação a remoção de lipídios, observou-se na Tabela 4.7 que o efeito linear, X_4 , do tempo de agitação, os efeitos quadrático da relação solução extratora e pasta de peixe, X_1 , e número de ciclos de extração, X_3 , mais os efeitos de interações entre relação

solução extratora e pasta de peixe vs velocidade de agitação, X_1X_2 e velocidade e tempo de agitação, X_2X_4 , não influenciaram significativamente sobre a resposta de **EL**.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4.7 e utilizando o pacote computacional *Statistica for Windows*, foi efetuado a exclusão dos termos considerados estatisticamente não significativos e determinados os coeficientes de regressão para os modelos de **RP** e **EL**. Na Tabela 4.8 são apresentados os coeficientes de regressão considerados estatisticamente significativos a um nível de 95% de confiança para os modelos de **RP** e **EL**.

Tabela 4.8 - Coeficientes de regressão para os modelos de rendimento de proteína **RP** e extração de lipídios **EL**, referente a Suspensão II.

Fator	RP	EL
Média	103,168	64,582
Linear		
X_1	-3,825	-13,937
X_2	-0,043	0,064
X_3	-6,261	-6,417
X_4	1,548	—
Quadrático		
X_1^2	0,312	
X_2^2	—	10^{-4}
X_3^2	0,330	—
X_4^2	0,220	-0,624
Interações		
X_1X_2	0,007	—
X_1X_3	0,450	1,264
X_1X_4	-0,751	1,266
X_2X_3	0,002	0,003
X_3X_4	-0,235	0,545

A partir dos coeficientes apresentados na Tabela 4.8 foi possível obter as correlações, que relacionam o rendimento de proteína (**RP**) e a extração de lipídios (**EL**), com as variáveis estudadas, as tabelas de análise de variância e os gráficos tridimensionais de superfície de resposta, que permitem estudar as interações entre as variáveis e auxiliam na escolha da melhor condição de operação no processo de lixiviação realizado com a solução de fosfato e NaCl, 0,1M.

As equações 4.3 e 4.4 mostram respectivamente os modelos de 2ª ordem do rendimento de proteína (**RP**) e de extração de lipídios (**EL**), relacionados as variáveis estudadas.

$$\begin{aligned}
 RP = & 0,22 X_4^2 + 0,33 X_3^2 + 0,312 X_1^2 + 1,548 X_4 - 6,261 X_3 - 0,043 X_2 \\
 & - 3,825 X_1 + 0,007 X_1 X_2 + 0,450 X_1 X_3 - 0,751 X_1 X_4 + 0,002 X_2 X_3 \\
 & - 0,235 X_3 X_4 + 103,168
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

$$\begin{aligned}
 EL = & -0,624 X_4^2 - 10^{-4} X_2^2 - 6,417 X_3 + 0,064 X_2 - 13,937 X_1 + 1,264 X_1 X_3 \\
 & + 1,266 X_1 X_4 + 0,003 X_2 X_3 + 0,545 X_3 X_4 + 64,582
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

As Tabelas 4.9 e 4.10 apresentam respectivamente a Análise de Variância (ANOVA) dos modelos 2ª ordem do rendimento de proteína (**RP**) e de extração de lipídios (**EL**), calculados a um nível de 95% de confiança.

Tabela 4.9 - Análise de variância para o modelo de 2ª ordem do rendimento de proteína (**RP**), referente a Suspensão II.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	309,45	12	25,79	13,87	2,53
Resíduo	26,03	14	1,86		
Falta de ajuste	25,99	12	2,17		
Total	335,48	26			

% Variação explicada (R^2) = 92,24

% máxima variação explicável = 99,98%

Tabela 4.10 - Análise de variância para o modelo de 2ª ordem da extração de lipídios (EL), referente a Suspensão II.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	914,93	9	101,66	11,50	2,49
Resíduo	150,34	17	8,84		
Falta de ajuste	149,79	15	9,99		
Total	1065,27	26			

% Variação explicada (R^2) = 85,89

% máxima variação explicável = 99,95%

No caso estudado verificou-se nas Tabelas 4.9 e 4.10, que os valores tabelados de F para os modelos, **RP** e **EL** a um nível de 95% de confiança foram 2,53 e 2,49 respectivamente. Estes valores encontram-se bem abaixo dos valores calculados de F, para **RP** e **EL**, que foram de 13,87 e 11,50 respectivamente, o que demonstra que a quantidade de variações devido aos modelos são maiores que as variações não explicadas e os modelos são considerados válidos. Desta forma, é possível dizer com base nas explicações anteriores, que os modelos ajustados de **RPg** e **EL** explicam 92,24 e 85,89% das variações das respostas encontradas respectivamente e são estatisticamente significativos.

Com relação a condição sugerida por BOX & WETZ (1973), no sentido que o valor de F calculado deva ser quatro a cinco vezes o valor de F tabelado para que o modelo seja preditivo, verificou-se nas Tabelas 4.9 e 4.10 que os modelos **RP** e **EL** satisfazem amplamente essa condição. Os valores calculados de F para os modelos **RP** e **EL** foram respectivamente 5,48 e 4,62 vezes maiores que os valores de F tabelados, o que os classificam como modelos preditivos a um nível de 95% de confiança.

Para melhor visualização dos modelos de **RP** e **EL** as Figuras 4.15 e 4.16 apresentam os valores observados vs preditos, que revelam que os pontos preditos pela regressão estão próximos aos valores observados, indicando boa capacidade preditiva das equações.

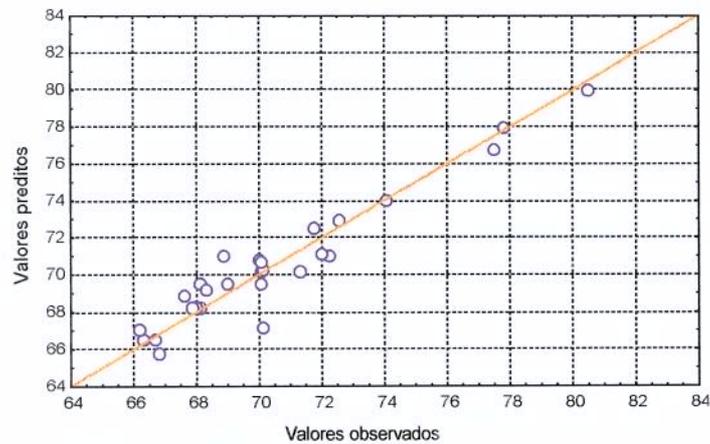


Figura 4.15 - Valores preditos vs Valores experimentais para o modelo **RP**.

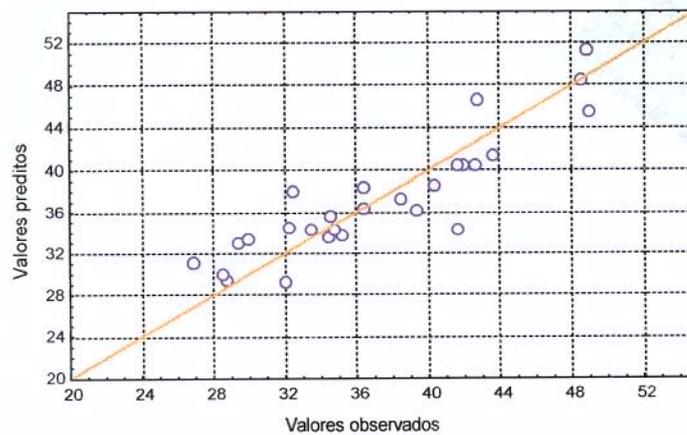


Figura 4.16 - Valores preditos vs Valores experimentais para o modelo **EL**.

Com objetivo de realizar uma análise mais detalhada do comportamento de cada variável, neste segundo tratamento, construiu-se gráficos tridimensionais de superfície de resposta e curvas de nível para todas as possíveis combinações de variáveis. Nas Figuras 4.17 a 4.22 apresentam-se as superfícies de resposta e as curvas de nível correspondentes, geradas pelo modelo de 2ª ordem ajustado, que mostram a variação do **RP** em função das variáveis independentes.

A Figura 4.17 descreve o efeito provocado pela interação entre as variáveis **RSP** e **VA**, sobre o rendimento de proteína. Na Figura 4.17a, observa-se a forte influência, que as duas variáveis independentes exercem sobre a resposta. Os maiores rendimentos de proteína foram obtidos quando operou-se com valores da **RSP** e da **VA**, a baixos de 2 v/p e 250 rpm respectivamente, como mostra a Figura 4.17b.

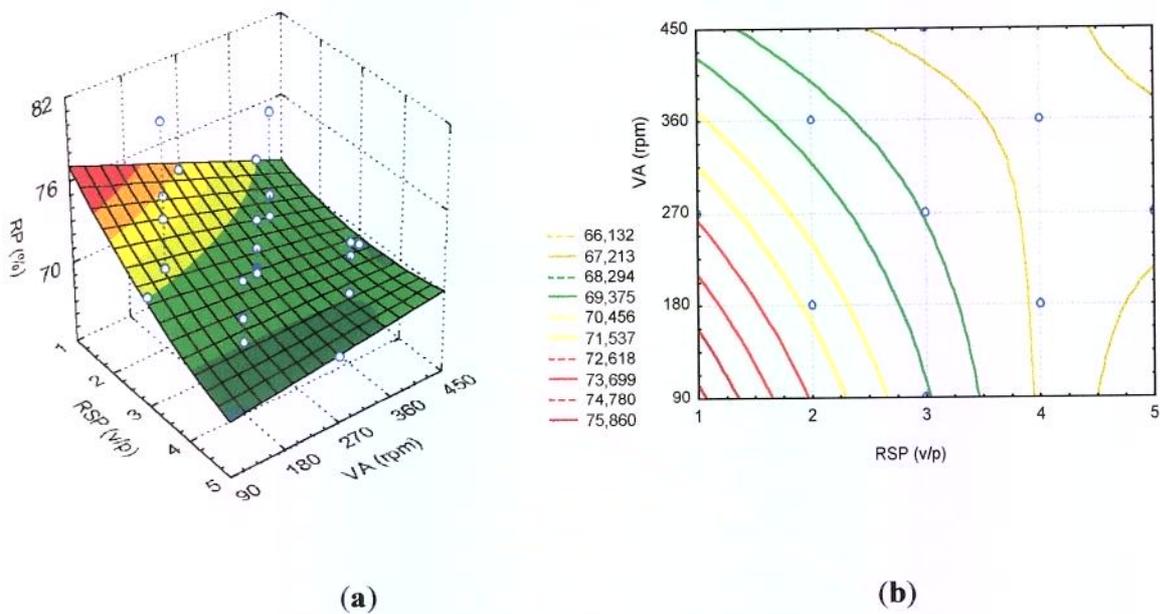


Figura 4.17 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do **RP** em função da relação solução extratora e pasta de peixe e da velocidade de agitação

O comportamento do rendimento de proteína em função das variáveis **RSP** e **NCE** é apresentado na Figura 4.18. Nota-se através do gráfico de Superfície de Resposta, Figura 4.18a, a tendência de elevação do rendimento de proteína com a associação de valores da **RSP** e do **NCE**, inferiores a 2 v/p e 4 ciclos, respectivamente. Por outro lado as curvas de nível da Figura 4.18b, mostram, a existência de uma região de mínimo, onde as piores respostas estão associadas a interações de valores do **NCE** e da **RSP** acima de 5 ciclos e 3 v/p respectivamente.

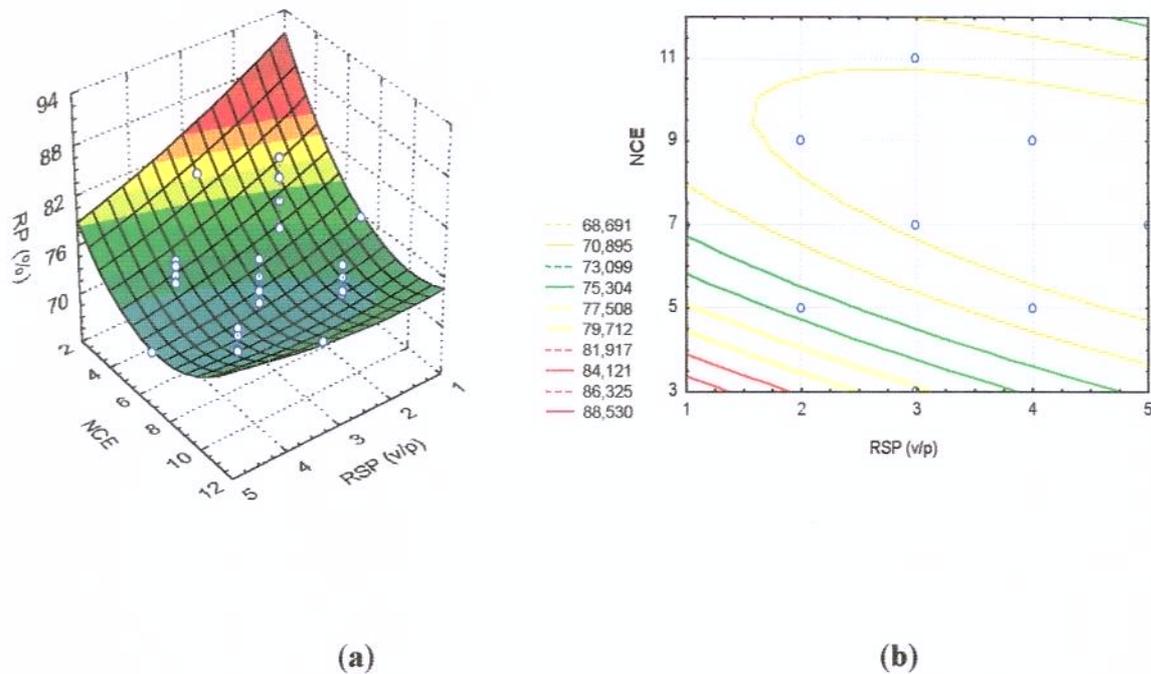


Figura 4.18 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do **RP** em função da relação solução extratora e pasta de peixe e do número de ciclos de extração.

A Figura 4.19 apresenta a variação do rendimento de proteína em função das variáveis **RSP** e **TA**. A análise do gráfico da Figura 4.19a permite observar que a associação dos níveis superiores das variáveis independentes provocou uma diminuição acentuada do rendimento de proteína. Este efeito pode ser, quase na sua totalidade, atribuído a variável **RSP**, já que, este comportamento é inverso quando a **RSP** passa do nível +2 para o -2, ou seja, a **RSP** varia de 5 para 1 v/p, mantendo-se **TA** fixa no nível +2 ou 10 minutos.

As curvas de nível da Figura 4.19b mostram que operando-se com valores do **TA** superiores a 9 minutos e valores da **RSP** inferiores a 2 v/p, conduz a um melhor rendimento de proteína, em torno de 82%.

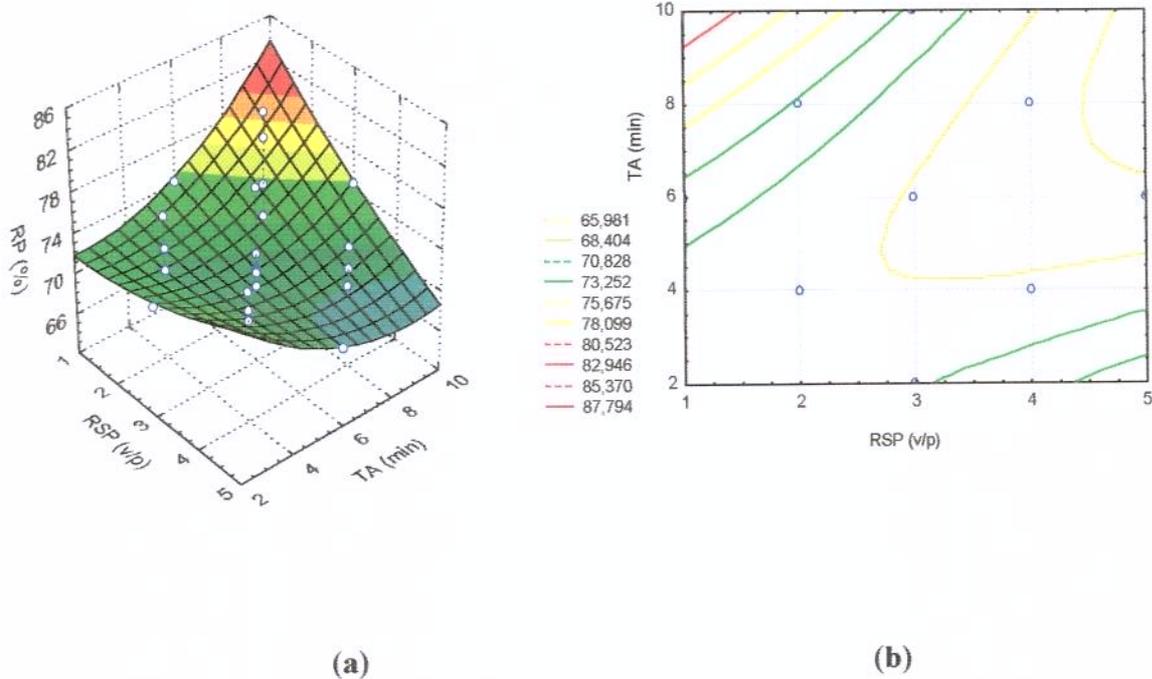


Figura 4.19 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do **RP** em função da relação solução extratora e pasta de peixe e do tempo de agitação.

A Figura 4.20 apresenta o comportamento do rendimento de proteína em função das variáveis **VA** e **NCE**. Percebe-se no gráfico da Figura 4.20a, que a resposta é fortemente dependente do **NCE**. Este comportamento faz com que o mais alto coeficiente do modelo de **RP**, descrito na Equação 4.3, esteja relacionado a esta variável.

As curvas de nível da Figura 4.20b, descrevem que operando com valores baixos da **VA** e do **NCE** inferiores a 200 rpm e 4 ciclos, respectivamente, levam a excelentes respostas para o rendimento de proteína.

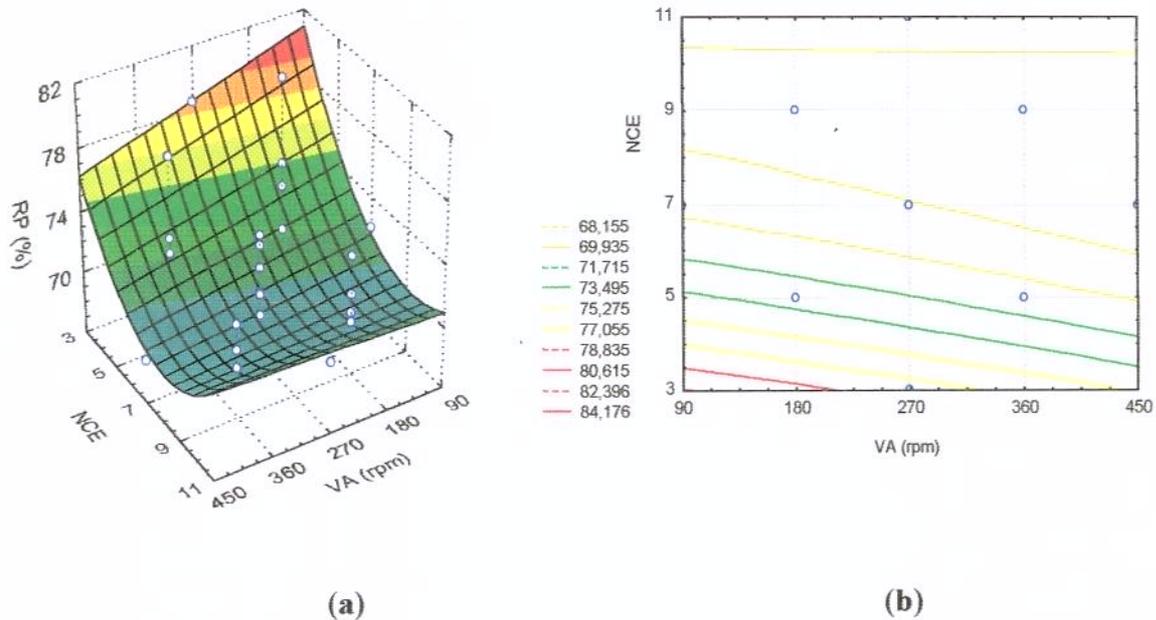


Figura 4.20 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função do número de ciclos de extração velocidade de agitação.

O comportamento da VA e do TA, no rendimento de proteína é apresentado na Figura 4.21. No gráfico de Superfície de Resposta, Figura 4.21a, verificou-se que a variável TA exerceu forte influência sobre a resposta do que a VA. As curvas de nível da Figura 4.21b, mostram que a associação de valores do TA acima de 8 min, a níveis inferiores de VA (100 a 200 rpm) conduzem a boas respostas para o rendimento de proteína.

A Figura 4.22 mostra a variação do rendimento de proteína em função das variáveis NCE e VA. Observou-se no gráfico de Superfície de Resposta, Figura 4.22a, a existência de uma região indesejável para a resposta, na qual, os piores rendimentos estão relacionados a altos valores do NCE (acima de 5 ciclos). Por outro lado, operando-se com valores elevados da variável TA, na faixa de 8 a 10 minutos e valores do NCE, a baixos de

4 ciclos de lavagem, tende a obter-se boas respostas para o rendimento, como mostra a Figura 4.22b.

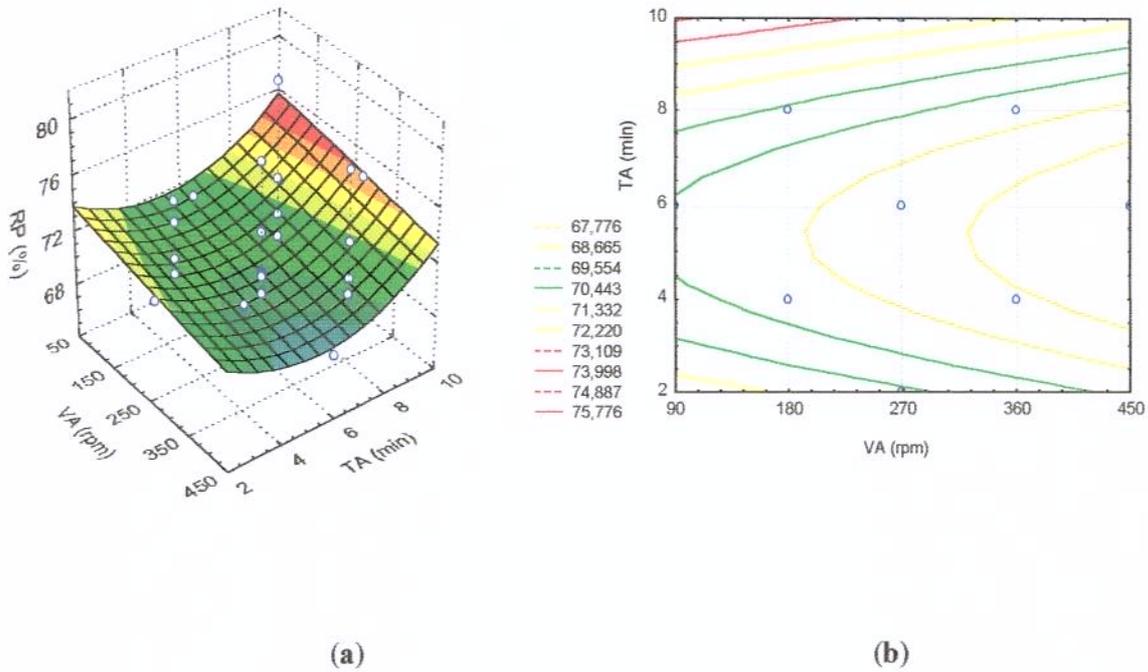


Figura 4.21 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função da velocidade de agitação e tempo de Agitação.

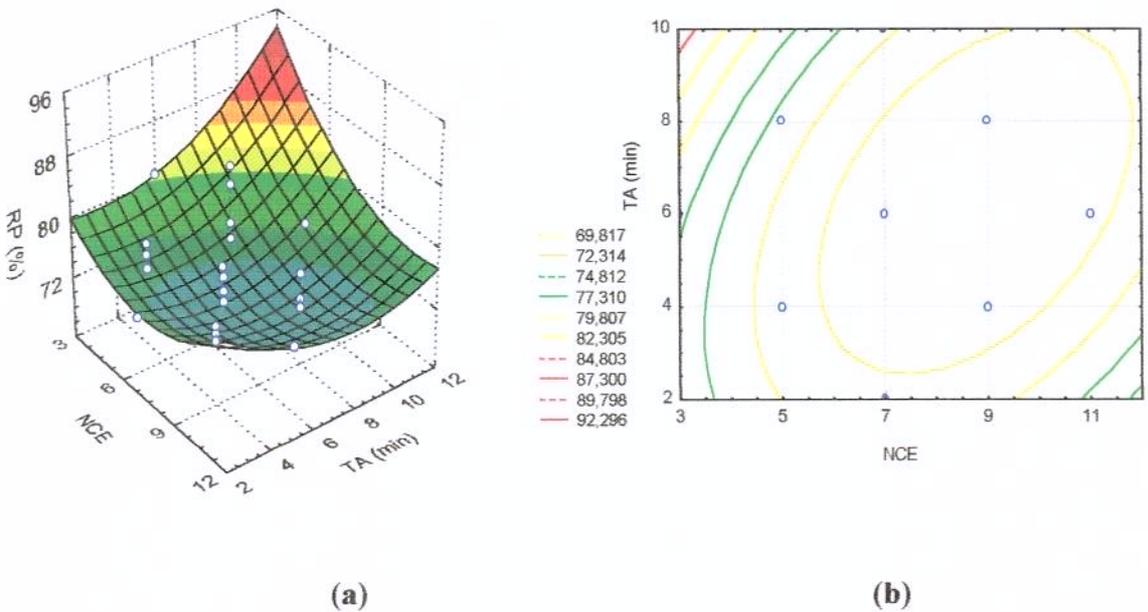


Figura 4.22 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) do RP em função do número de ciclos de extração e tempo de agitação.

As Figuras 4.23 a 4.28 apresentam as superfícies de resposta e as curvas de nível correspondentes, geradas pelo modelo de 2ª ordem para o **RL** em função das variáveis independentes

Os efeitos de interações entre as variáveis **RSP** e **VA**, na extração de lipídios, são mostrados na Figura 4.23. Na análise do gráfico de Superfície de Resposta, Figura 4.23b, verifica-se a forte influência que a variável **RSP** exerce sobre a resposta. Este comportamento pode ser ratificado através da Equação 4.4, onde o mais alto coeficiente do modelo encontra-se relacionado a esta variável. Nota-se através das curvas de contorno da Figura 4.23b que há uma tendência em atingir uma região de máxima extração, envolvendo valores da variável **VA**, entre 180 a 430 rpm e valores de **RSP** cima de 5 p/v.

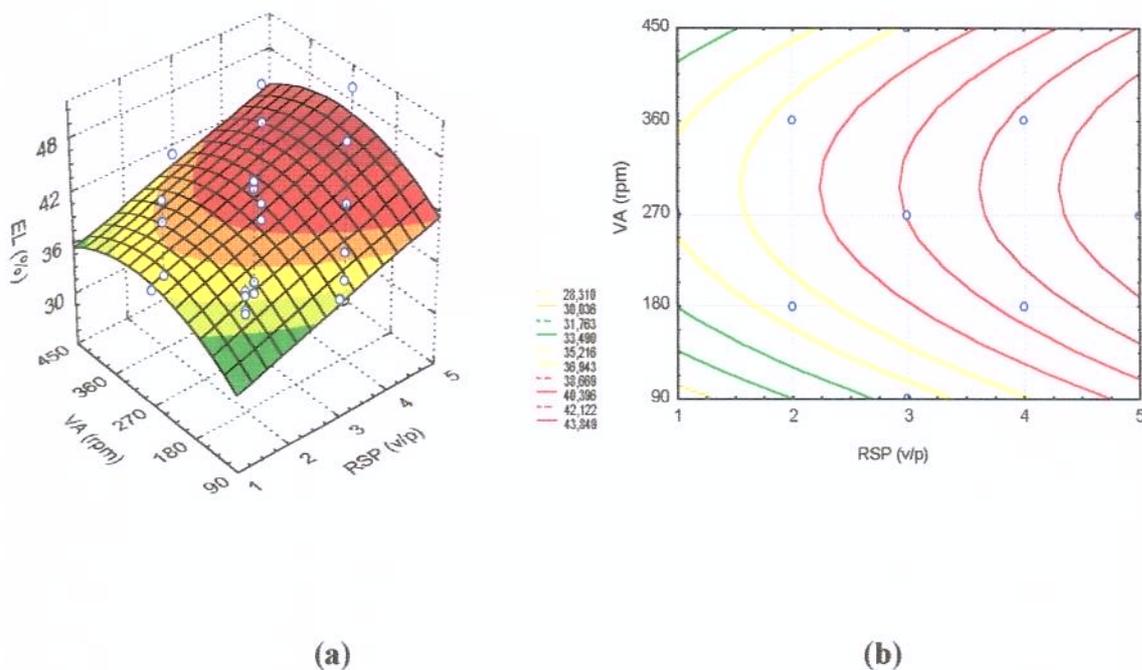


Figura 4.23 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação solução extratora e pasta de peixe e velocidade de agitação.

A Figura 4.24, descreve a variação da extração de lipídios em função das variáveis **RSP** e **NCE**. Percebe-se no gráfico da Figura 4.24a, que ambas variáveis exercem forte influência sobre a resposta, sendo que valores de **RSP** e **NCE**, superiores a 5 v/p e 11

ciclos, respectivamente, estabelecem a tendência de uma variação positiva na extração de lipídios, como mostra a Figura 4.24b.

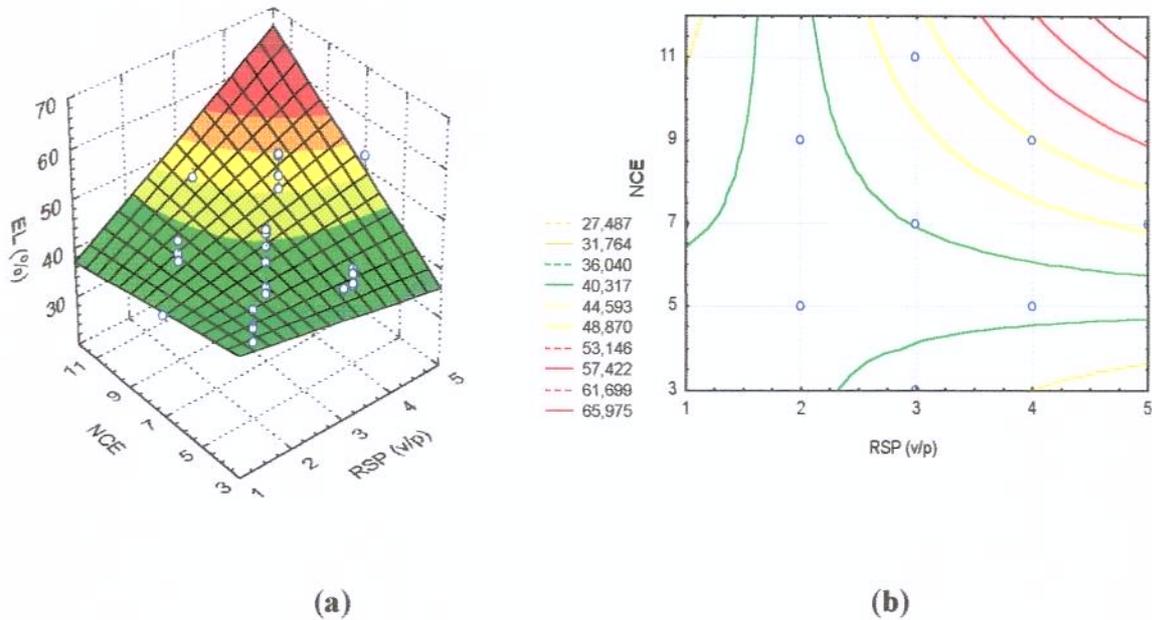


Figura 4.24 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação solução extratora e pasta de peixe e número de ciclos de extração.

O comportamento das variáveis **RSP** e **TA**, sobre a extração de lipídios é apresentado na Figura 4.25. Através do gráfico de Superfície de Resposta, Figura 4.25a, verifica-se que a resposta foi mais sensível as variações da variável **RSP** do que as do **TA**. Isto fica claro na Figura 4.25b, quando a variável **RSP** passa do nível -2 para o +2, ou seja, varia de 1 a 5v/p, e mantém-se a variável **TA** fixa no seu nível superior (10 minutos), a extração de lipídios aumenta de 20,70 para 42,36%, ao passo que fixando a **RSP** no seu nível superior (5 v/p) e variando o **TA** do nível -2 para o +2, ou seja de 2 a 10 min, a extração aumenta de 29,36 para 42,36%.

A Figura 4.26 apresenta o efeito de interação das variáveis **VA** e **NCE**, na variação da extração de lipídios. Nota-se no gráfico da Figura 4,26a, que ambas variáveis exercem considerável influência sobre a resposta, sendo que a tendência de uma variação positiva na extração de lipídios envolve valores de **NCE** e acima de 9 ciclos e valores da **VA** entre 180 e 360 rpm, como mostra a Figura 4.26b.

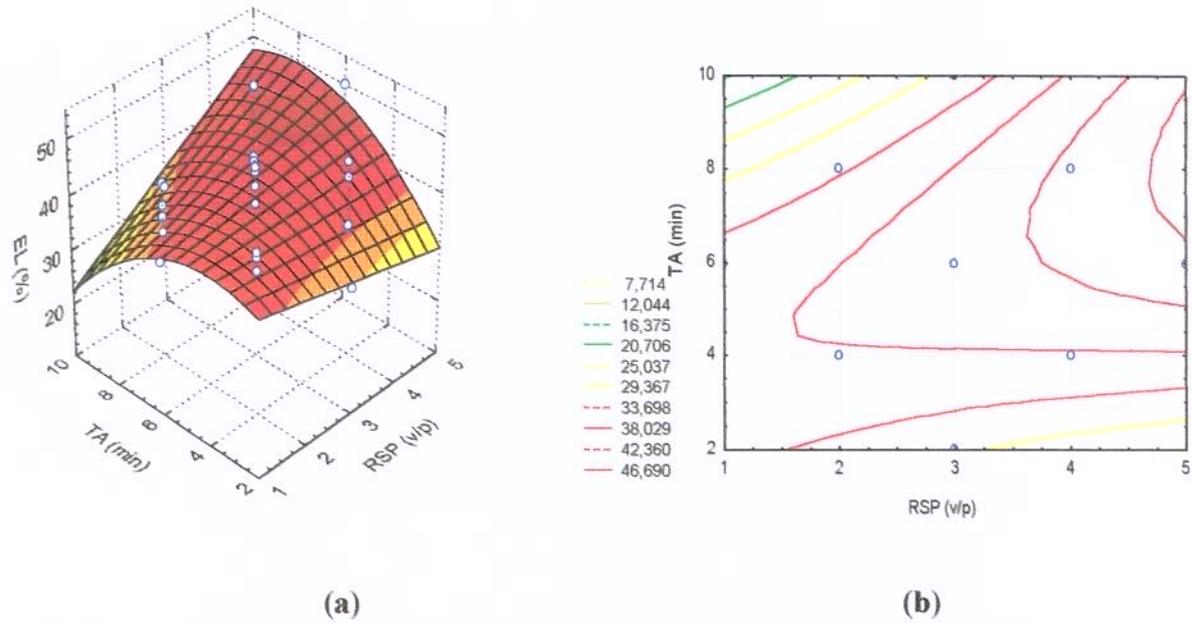


Figura 4.25 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função da relação solução extratora e pasta de peixe e tempo de agitação

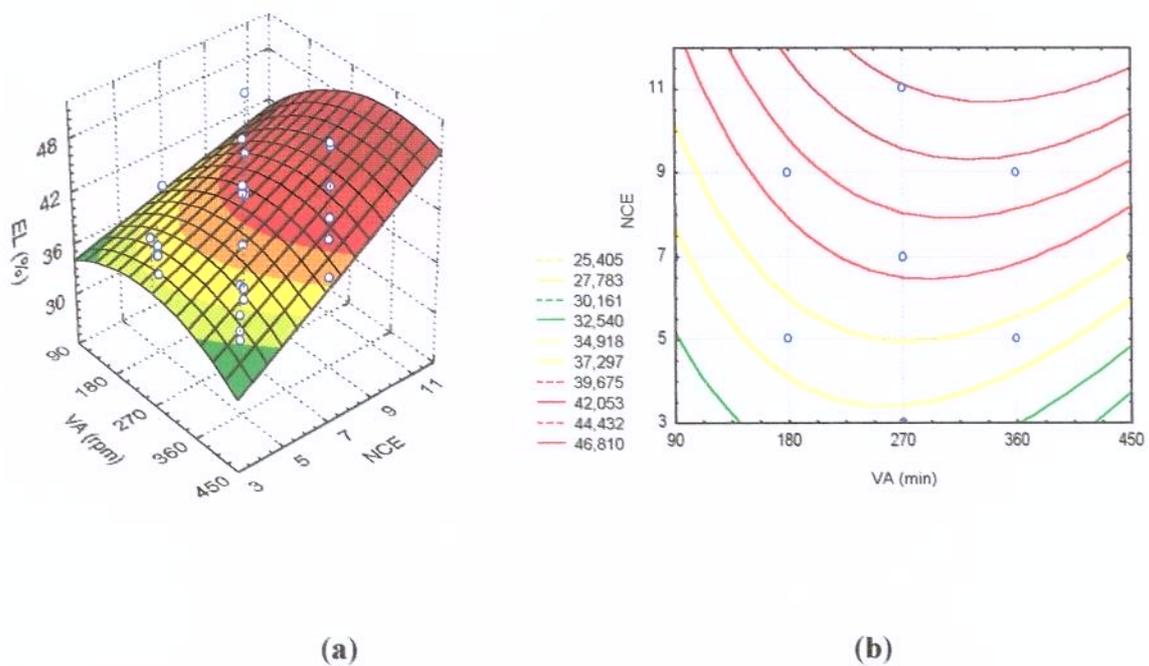


Figura 4.26 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função do número de ciclos de extração e velocidade de agitação.

Na análise da influência das variáveis **VA** e **TA** na extração de lipídios, verifica-se através das Figuras 4.27 (a) e (b) a existência de uma região de máxima extração de lipídios, localizada nos tempos compreendidos entre 4 e 8 min e nas velocidades entre 180 e 430 rpm. Nesta região a extração foi aproximadamente de 38,27%.

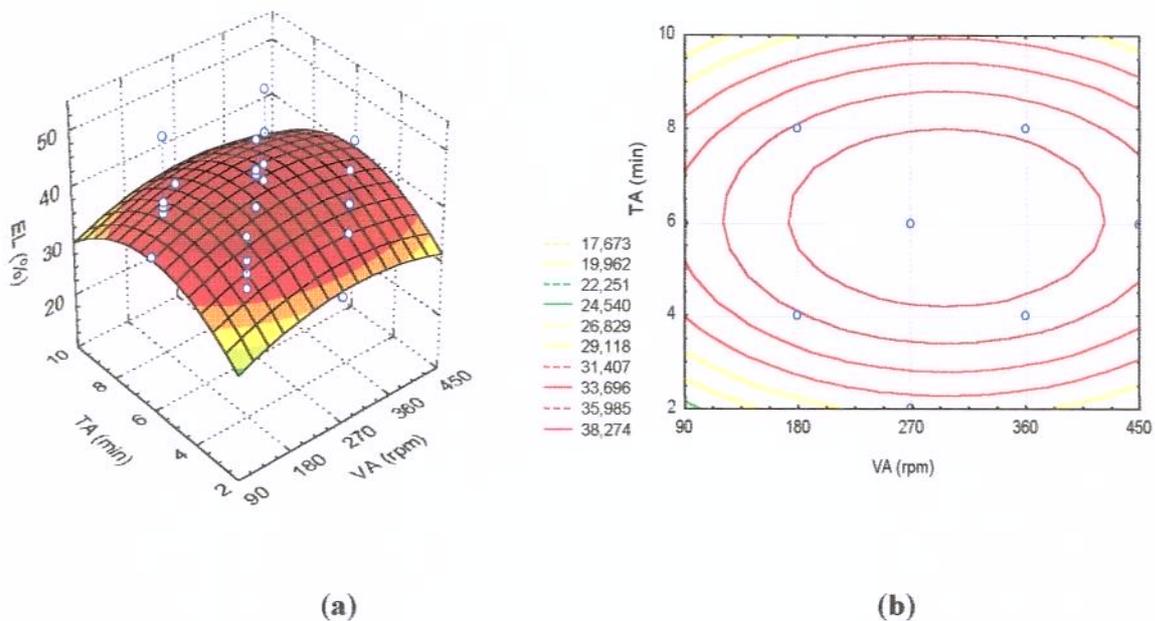


Figura 4.27 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da **EL** em função do tempo de agitação e velocidade de agitação.

A Figura 4.28 descreve o efeito de interação das variáveis **TA** e **NCE**, na extração de lipídios. Percebe-se na Figura 4.28a, que a resposta foi mais sensível a variações da variável **NCE**. Nota-se através das curvas de nível da Figura 4.28b que a tendência em atingir região de máxima extração, envolvendo valores da variável **TA**, entre 6 a 10 min. e valores de **NCE** acima de 9 ciclos, com a ressalva que altos valores do **NCE** podem afetar negativamente o rendimento de proteína.

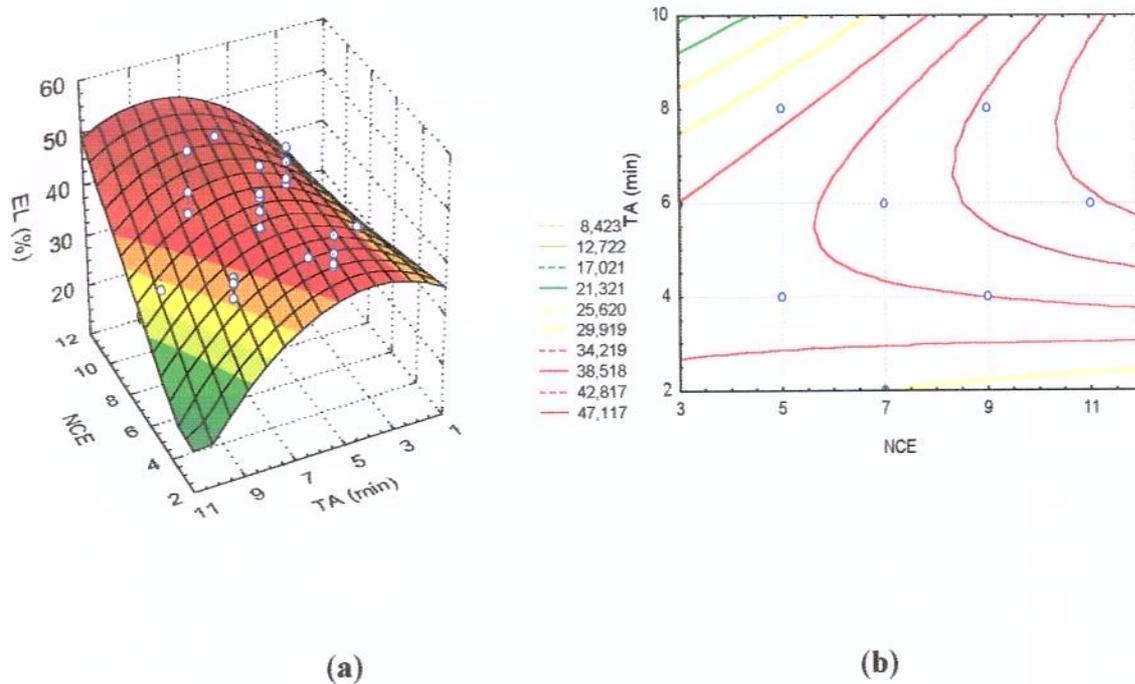


Figura 4.28 - Superfície de Resposta (a) e Curvas de Nível (b) da EL em função do tempo de agitação e número de ciclos de extração.

Com base nos resultados apresentados nos itens 4.1.1 e 4.1.2, pode-se afirmar que, o emprego do planejamento experimental na análise do efeito de cada variável empregada e de suas interações nas respostas, mostrou ser uma ferramenta bastante útil, proporcionando uma compreensão melhor do sistema e apontando condições operacionais mais adequadas para se obter uma resposta que combine valores elevados de remoção de lipídios e de rendimento de proteína, dentro dos limites aceitáveis das condições empregadas neste trabalho.

A importância em conciliar as respostas, remoção de lipídio e rendimento de proteína tem como justificativa minimizar custos no processo. Quando as condições operacionais favorecem, por exemplo, apenas a remoção de lipídios, é possível eliminar até 45,0 % do mesmo com o rendimento de proteína ficando em torno de 65,0 %.

O material protéico descartado no líquido drenado, cerca de 35,0 %, tratado como resíduo, possui grande potencial poluidor, que não tratado adequadamente pode criar sérios problemas ambientais, o que resulta em gastos com sistema de tratamento de efluentes.

Quando as condições operacionais favorecem a apenas o rendimento de proteína, os custos no processo passam a ser com o emprego de antioxidantes que tem a finalidade de minimizar o processo de rancidez oxidativa da fração lipídica.

Com base nos resultados apresentados nos itens 4.1.1 e 4.1.2, e balizado no critério de conciliar a máxima remoção de lipídios com a mínima perda de proteína, as condições experimentais empregadas no preparo das suspensões utilizadas na etapa de secagem foram:

Suspensão I

Relação Pasta e Solução extratora (RSP)	= 2:1 ml/g
Tempo de Extração (TE)	= 8 min
Velocidade de Agitação (VA)	= 180 rpm
Número de Ciclos de Extração (NCE)	= 3 ciclos

Suspensão II

Relação Pasta e Solução extratora (RSP)	= 2:1 ml/g
Tempo de Extração (TE)	= 8 min
Velocidade de Agitação (VA)	= 180 rpm
Número de Ciclos de Extração (NCE)	= 4 ciclos

4.2 - Fluidodinâmica do Leito de Jorro

Os parâmetros globais do leito de jorro, vazão de jorro mínimo Q_{jm} , queda de pressão máxima no leito ΔP_{max} , queda de pressão de jorro estável ΔP_{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 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 4.29, 4.30 e 4.31 encontram-se apresentados na Tabela 4.11. 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 similar ao obtido na literatura, uma vez que o aumento de H_o , 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 sem partículas, mas com a presença do bico ejetor, encontram-se na Figura 4.32. Como foi mencionado anteriormente, os mesmos foram levados em consideração na construção das curvas das Figuras 4.29, 4.30 e 4.31.

Tabela 4.11 - Parâmetros globais do leito de jorro

H_o (cm)	Q_{jm} (m ³ /s)	ΔP_{max} (N/m ²)	ΔP_{je} (N/m ²)
10,0	$10,2 \times 10^{-3}$	2028,01	1244,76
12,0	$12,1 \times 10^{-3}$	2761,49	1540,30
14,0	$15,0 \times 10^{-3}$	3090,97	1731,03

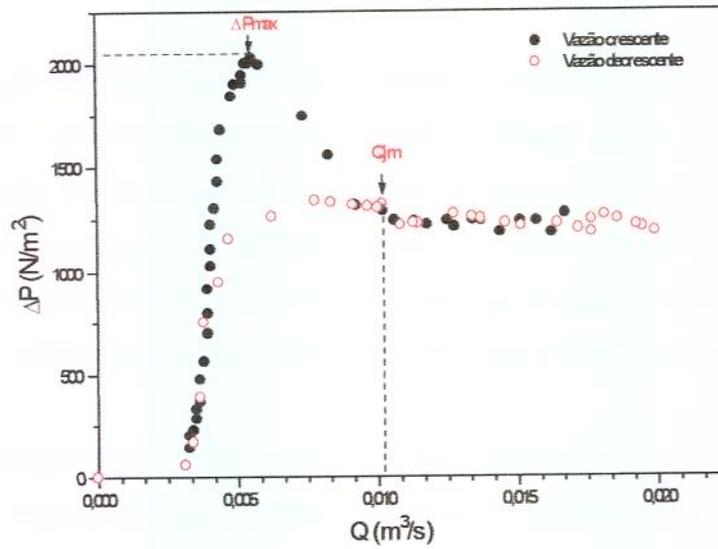


Figura 4.29 - Vazão de ar versus queda de pressão para o leito com $H_0=10$ cm

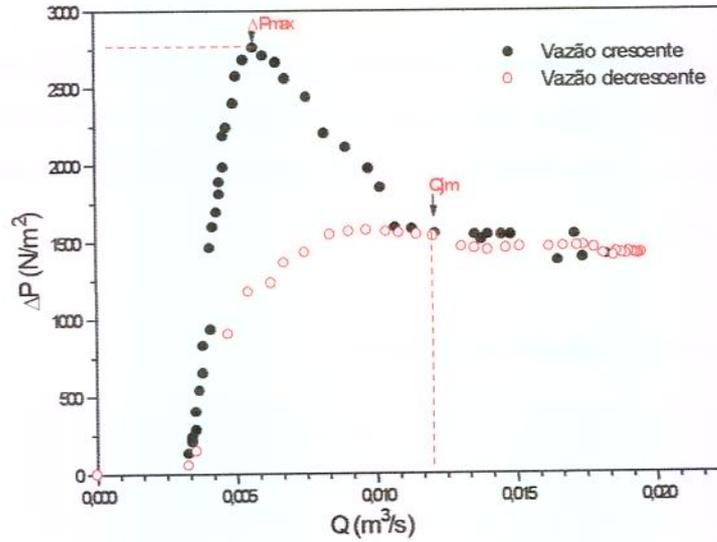


Figura 4.30 - Vazão de ar versus queda de pressão para o leito com $H_0=12$ cm

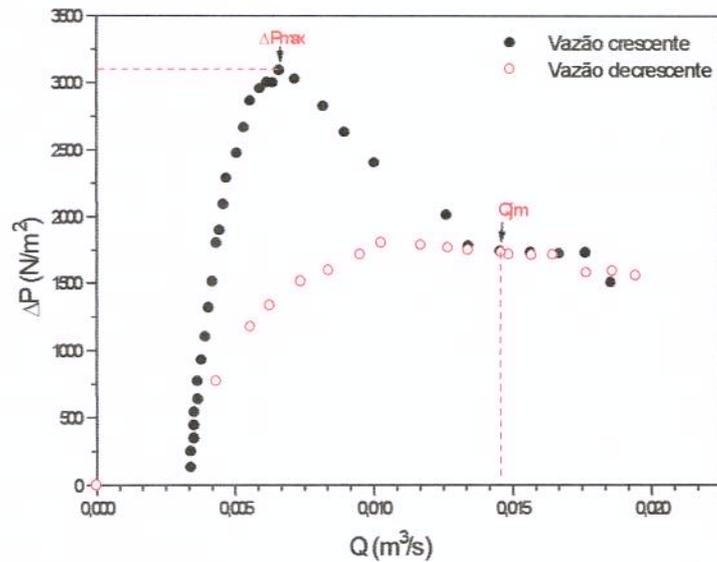


Figura 4.31 - Vazão de ar versus queda de pressão para o leito com $H_0=14$ cm

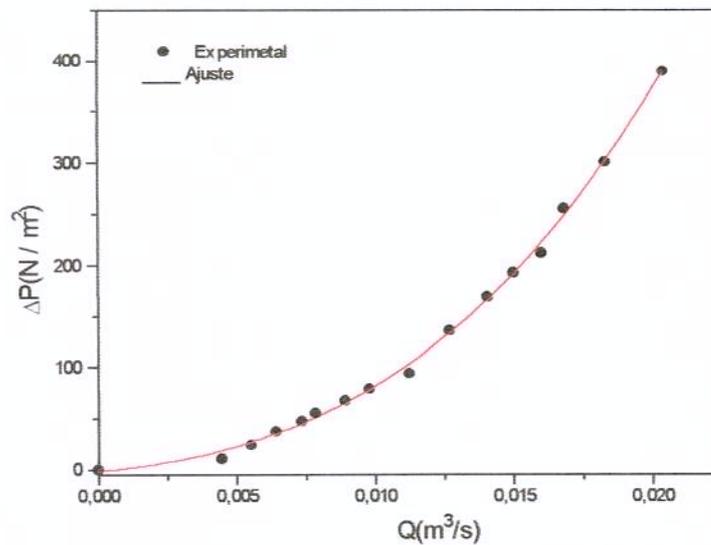


Figura 4.32 - Vazão de ar versus queda de pressão para o leito vazio.

Os resultados experimentais de Q_{jm} , ΔP_{max} e ΔP_{je} , foram comparados com os valores obtidos a partir de correlações da literatura (itens 2.13.1 e 2.13.2), visando verificar a aplicabilidade destas no projeto de leito de jorro. A Tabela 4.12 mostra a lista das correlações utilizadas no cálculo dos parâmetros Q_{jm} , ΔP_{max} e ΔP_{je} , que proporcionaram

boas estimativas neste estudo, enquanto as Tabelas 4.13, 4.14 e 4.15 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 4.12 - Correlações utilizadas para estimativa de Q_{jm} , ΔP_{max} e ΔP_{je} .

Correlação	Referência
$Re_{jm,i} = 0,4 \cdot Ar^{0,52} \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{1,24} \operatorname{tg}(\theta/2)^{0,42}$ (2.11)	TSVIK <i>et alii</i> (1967)
$Re_{jm,i} = 0,174 \cdot Ar^{0,5} \left(\frac{db}{d_i} \right)^{0,85} \operatorname{tg}(\theta/2)^{-1,25}$ (2.12)	GORSHTEIN & MUKHLENOV (1964)
$Re_{jm,i} = 0,126 \cdot Ar^{0,5} \left(\frac{db}{d_i} \right)^{1,68} \operatorname{tg}(\theta/2)^{-0,57}$ (2.15)	OLAZAR <i>et alii</i> (1992)
$\frac{\Delta P_{max}}{\Delta P_{je}} = 1 + 6,65 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{1,2} \operatorname{tg}(\theta/2)^{0,50} Ar^{-0,2}$ (2.5)	MUKHLENOV & GORSHTEIN (1965)
$\frac{\Delta P_{max}}{\rho_b g H_0} = 1 + 0,055 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{2,54} - 0,0018 \left(\frac{d_i}{d_p} \right)$ (2.6)	SAMPAIO <i>et alii</i> (1984)
$\frac{\Delta P_{max}}{\Delta P_{je}} = 1 + 0,116 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{0,50} \operatorname{tg}(\theta/2)^{-0,80} Ar^{0,0125}$ (2.7)	OLAZAR <i>et alii</i> (1993)
$\frac{\Delta P_{je}}{\rho_b g H_0} = \frac{7,68 \operatorname{tg}(\theta/2)^{0,2}}{Re_{jm,i}^{0,2} (H_0/d_i)^{0,33}}$ (2.8)	MUKHLENOV & GORSHTEIN (1964)
$\frac{\Delta P_{je}}{\rho_b g H_0} = 1,20 \left(\frac{H_0}{d_i} \right)^{0,08} Re_{jm,i}^{-0,06} \operatorname{tg}(\theta/2)^{-0,011}$ (2.10)	OLAZAR <i>et alii</i> (1993)

Analisando-se os valores das Tabelas 4.13, 4.14, e 4.15 podem ser feitas as seguintes considerações:

- A correlação de TSVIK *et alii* (1967), foi a que estimou valores da vazão de jorro mínimo Q_{jm} , mais próximos dos valores experimentais, para as alturas 12,0 e 14,0 cm

- do leito, com desvios de 0,65 e -1,71% respectivamente. Para altura de 10,0 cm, a correlação de OLAZAR *et alii* (1992), foi a que melhor estimou, com desvio de -2,73%;
- Quanto à queda de pressão máxima no leito ΔP_{\max} , para as alturas de 10,0 e 12,0 cm, as melhores estimativas foram obtidas através da equação de SAMPAIO *et alii* (1984); enquanto que para a altura de 14,0 cm, a equação de OLAZAR *et alii* (1993), foi que apresentou a melhor concordância (desvio de -22,50%.);
 - A correlação de OLAZAR *et alii* (1993), foi a que melhor estimou os valores de queda de pressão de jorro estável ΔP_{je} , neste estudo, variaram entre 1,46 e 6,71%.

Tabela 4.13 - Comparação dos valores experimentais de vazão de mínimo jorro com os valores estimados pelas correlações 2.11, 2.12 e 2.15.

H_o (cm)	$Q_{jm,exp}$ (m^3/s)	$Q_{jm,cal}$ (eq. 2.11) (m^3/s)	Desvio (%)	$Q_{jm,cal}$ (eq. 2.12) (m^3/s)	Desvio (%)	$Q_{jm,cal}$ (eq. 2.15) (m^3/s)	Desvio (%)
10,0	$10,2 \times 10^{-3}$	$9,7 \times 10^{-3}$	-4,76	$7,6 \times 10^{-3}$	-25,49	$9,9 \times 10^{-3}$	-2,73
12,0	$12,1 \times 10^{-3}$	$12,2 \times 10^{-3}$	0,65	$8,2 \times 10^{-3}$	-32,56	$11,4 \times 10^{-3}$	-5,49
14,0	$15,0 \times 10^{-3}$	$14,7 \times 10^{-3}$	-1,71	$9,1 \times 10^{-3}$	-39,71	$14,0 \times 10^{-3}$	-6,61

Tabela 4.14 - Comparação dos valores experimentais de queda de pressão máxima com os valores estimados pelas correlações 2.5, 2.6 e 2.7.

H_o (cm)	$\Delta P_{\max, exp}$ (N/m^2)	$\Delta P_{\max, cal}$ (eq. 2.5) (N/m^2)	Desvio (%)	$\Delta P_{\max, cal}$ (eq. 2.6) (N/m^2)	Desvio (%)	$\Delta P_{\max, cal}$ (eq. 2.7) (N/m^2)	Desvio (%)
10,0	2028,01	2550,44	25,76	2020,99	-0,34	1648,55	-18,71
12,0	2761,49	3551,13	28,59	2941,66	6,52	2087,65	-24,40
14,0	3090,97	4450,03	43,97	4217,22	36,43	2395,44	-22,50

Tabela 4.15 - Comparação dos valores experimentais de queda de pressão de jorro estável com os valores estimados pelas correlações 2.8 e 2.10.

H_o (cm)	$\Delta P_{je, exp}$ (N/m ²)	$\Delta P_{je, cal}$ (eq. 2.8) (N/m ²)	Desvio (%)	$\Delta P_{je, cal}$ (eq. 2.10) (N/m ²)	Desvio (%)
10,0	1244,76	1901,68	52,77	1278,77	2,73
12,0	1540,30	2062,20	33,88	1562,73	1,46
14,0	1731,03	2213,78	27,89	1847,15	6,71

Vale a pena ressaltar que existe uma enorme divergência não só entre as estimativas obtidas pelas diversas correlações existentes, mas também entre os dados experimentais obtidos por vários autores. Neste estudo a correlação de GELPERIN *et alii* (1961) (item 2.13.1 equação 2.4), utilizada na estimativa do parâmetro ΔP_{max} em leito cônico pode ser citada como exemplo dessa discordância entre os valores experimentais e os calculados. Os desvios apresentados por essa correlação foram superiores a 100 %, o que torna neste caso inviável sua utilização.

4.3 - Análise da Vazão Máxima de Alimentação com Pasta padrão

A vazão máxima de alimentação de pasta ao leito foi determinada pelo procedimento apresentado no item 3.3.3. Em termos qualitativos, foi possível observar através da coluna cilíndrica de vidro do equipamento que a estabilidade do jorro diminui de forma gradual com o aumento da vazão de água que alimenta o sistema.

A fonte desalinhou-se, perdeu simetria e flutuou em intensidade, o que acarretou desnível na parte superior da região anular. A parede da coluna cilíndrica tornou-se orvalhada. A quantidade de partículas transportadas pelo jorro diminui progressivamente, sendo que, em algumas situações formou-se um caminho preferencial para a passagem do ar através da região de jorro.

Este comportamento, pode ser creditado ao aumento das forças de adesão partícula-partícula, causada por pontes líquidas e as forças de tensão causada pela viscosidade da pasta, o que leva a um aumento na aglomeração de partículas prejudicando a circulação das mesmas e conseqüentemente promovendo a instabilidade do leito.

Na faixa de operação das variáveis apresentadas na Tabela 3.3, do item 3.3.3, todos os experimentos realizados, tiveram os valores da vazão máxima de alimentação determinados através do colapso do leito. Na Tabela 4.16 encontram-se os resultados obtidos para vazão máxima de alimentação para água destilada.

Tabela 4.16 Vazão máxima de alimentação de água destilada (ml/h)

T _{fe} °C	H _o = 10,0 cm			H _o = 12,0 cm			H _o = 14,0 cm		
	Q/Q _{jm}			Q/Q _{jm}			Q/Q _{jm}		
	1,3	1,4	1,5	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4
100	410,1	474,6	551,0	560,1	680,5	790,3	1055,8	1115,0	1165,0
110	648,3	665,8	689,1	706,5	985,7	1110,5	1145,6	1170,0	1270,5

De acordo com resultados da Tabela 4.16, verificou-se que a vazão máxima de alimentação tende a crescer quando a altura de leito estático aumenta. Este resultado já era esperado, uma vez que o aumento da altura representa um aumento da massa de partículas no leito, e conseqüentemente um aumento da área específica do leito. E como a evaporação acontece na superfície das partículas, um aumento desta área específica favorece o crescimento da vazão máxima de alimentação de água.

Ainda analisando a Tabela 4.16, observa-se a dependência da capacidade máxima de alimentação com o fluxo de ar injetado no leito, bem como com a temperatura de entrada do ar. Este resultado corresponde ao esperado, já que um aumento nestes parâmetros representa conseqüentemente num aumento do calor sensível introduzido no sistema, possibilitando a evaporação de uma quantidade maior de líquido.

Justificando a dependência observada as Figuras 4.33 a 4.36, mostram resultados característicos, do comportamento das temperaturas de saída do ar e do leito em função da vazão de água. Onde observa-se a diminuição da temperatura de saída do ar do leito com o aumento da vazão de água, que correspondem ao esperado, pois com esse aumento torna-se necessário o ar fornecer mais energia para a completa evaporação da água. No apêndice A encontram-se os resultados obtidos para as demais condições experimentais.

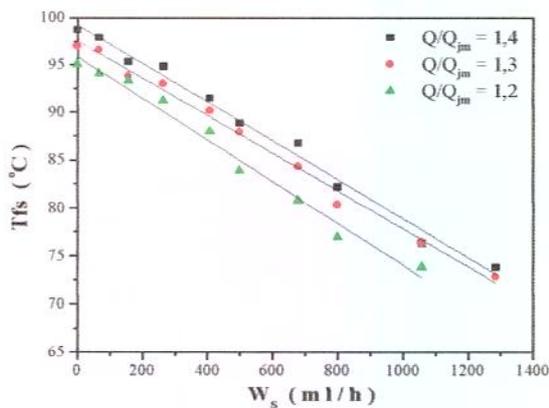


Figura 4.33 - Temperatura do ar de saída versus vazão de água, para $H_0=14,0$ cm e $T_{fe}=100$ °C.

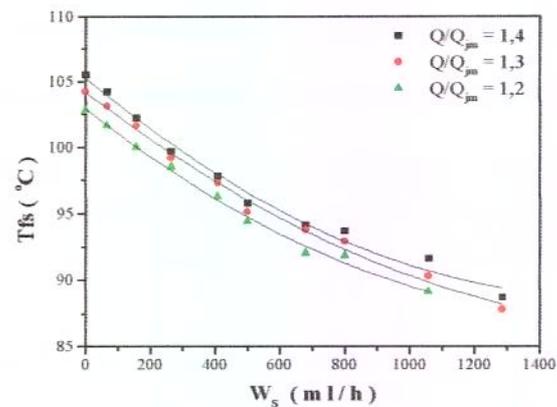


Figura 4.34 - Temperatura do ar de saída versus vazão de água, para $H_0=14,0$ cm e $T_{fe}=110$ °C.

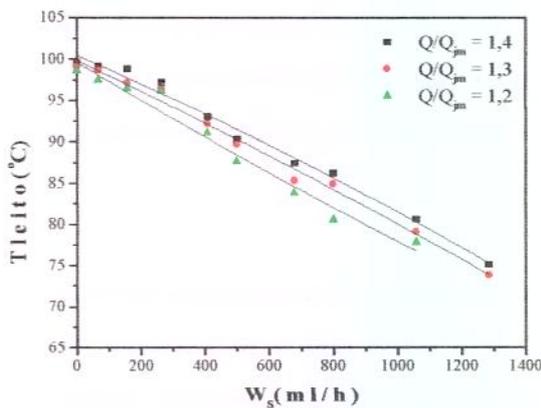


Figura 4.35 - Temperatura do leito versus vazão de água, para $H_0=14,0$ cm e $T_{fe}=100$ °C

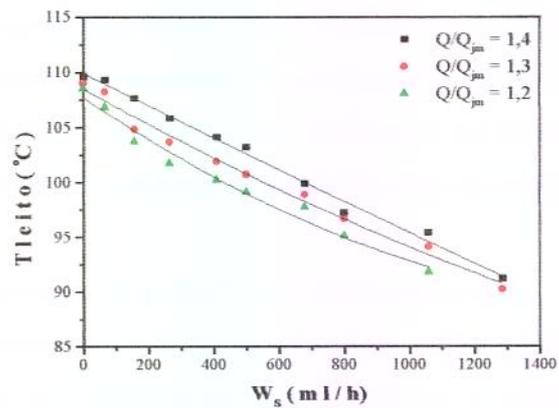


Figura 4.36 - Temperatura do leito versus vazão de água, para $H_0=14,0$ cm e $T_{fe}=110$ °C

4.4 - Secagem da Suspensão Protéica de Pescado

O estudo de secagem da suspensão de pescado foi realizado de acordo com o procedimento apresentado no item 3.3.4. Na Tabela 4.17 estão algumas propriedades físicas das suspensões utilizadas na secagem.

Tabela 4.17 - Análise das propriedades das suspensões utilizadas na secagem.

Propriedades	Suspensão I	Suspensão II
Umidade % b.u	89,77 ± 0,17	89,48 ± 0,39
Proteína %	6,48 ± 0,1	7,0 ± 0,07
Lipídios %	0,64	0,62
Densidade (g/cm ³)	1,0054	1,0067
Viscosidade (cps) ^a	119,20 ± 1,1	150,6 ± 2,3

^a obtido com velocidade de 180 rpm, à temperatura de 35 °C.

Os valores da vazão de alimentação da suspensão de peixe utilizados nesta etapa foram 250, 300, 350 e 400 ml/h. Esses valores foram determinados, tendo como base a vazão máxima de alimentação de água destilada, obtida nos testes da capacidade de evaporação nas seguintes condições de operação: $H_0=10,0$ cm, $Q/Q_{jm}=1,5$ e $T_{fe}=100$ °C.

A justificativa para essa escolha, está relacionada ao objetivo de obter um produto seco com umidade final inferior a 11,0 %. Critério similar foi utilizado por RÉ & FREIRE (1986), na secagem de sangue animal em leite de jorro. Além de viabilizar o estudo dos efeitos da vazão de suspensão (realizada de forma contínua), nas propriedades funcionais do produto desidratado para diferentes alturas de leite.

A máxima vazão de alimentação obtida no processo de secagem com suspensão de peixe, utilizando as condições citadas anteriormente, foi de 438,0 ml/h. Este valor quando

comparado com o valor obtido com a pasta padrão, nas mesmas condições de operação foi cerca de 20,51% menor. Este declínio no valor da vazão máxima, segundo SPITZNER & FREIRE (1997), pode ser atribuído a substituição das pontes líquidas por pontes sólidas, à medida que as partículas inertes recobertas pela pasta vão perdendo umidade. Segundo os autores o aparecimento dessas pontes sólidas aumenta ainda mais a aglomeração das partículas no leito, provocando a perda de estabilidade do jorro.

Estão reunidos nas Figuras 4.37 e 4.38 os resultados relativos a variação da queda de pressão em jorro estável em função da vazão de suspensão de peixe injetada no leito. Verifica-se um aumento gradativo na queda de pressão com o aumento da vazão de alimentação. Este comportamento possivelmente esteja também, relacionado ao efeito "colante", decorrente do surgimento das pontes sólidas durante o processo de secagem.

Sobre a hipótese do efeito "colante" vale ressaltar ainda, apesar de não ter sido realizado nenhum estudo específico neste trabalho, mas existe a intuição de que o mesmo esteja também relacionado às proteínas estromásticas, que tem o colágeno como principal constituinte. As proteínas estromásticas representam 2 a 3% das proteínas totais do músculo do pescado e não são solúveis em água e soluções salinas neutras de concentração 0,01 a 0,1M (SUZUKI, 1987).

Ainda analisando as Figuras 4.37 e 4.38, observa-se que a queda de pressão em jorro estável na temperatura de 70 °C, apresentou uma tendência de diminuir quando a vazão de suspensão atingiu 400 ml/h. A explicação para este comportamento, é semelhante a apresentada para o valor da vazão máxima da suspensão de pescado, ou seja quando a vazão de suspensão ultrapassa a vazão limite provoca um aumento na aglomeração das partículas prejudicando tanto a circulação das partículas, como diminuindo a quantidade das mesmas a ser transportada na região de jorro, levando conseqüentemente a um aumento na fração de ar que atravessa essa região.

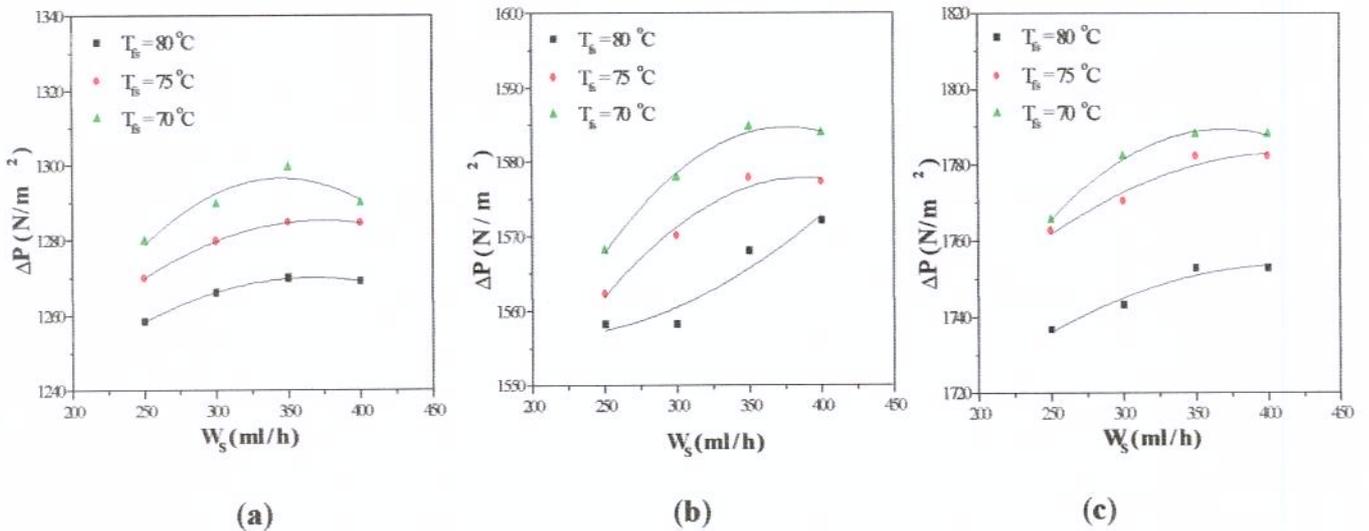


Figura 4.37 - Variação da queda de pressão em jorro estável em função da vazão da suspensão I; (a) $H_o=10$ cm, (b) $H_o=12$ cm e (c) $H_o=14$ cm.

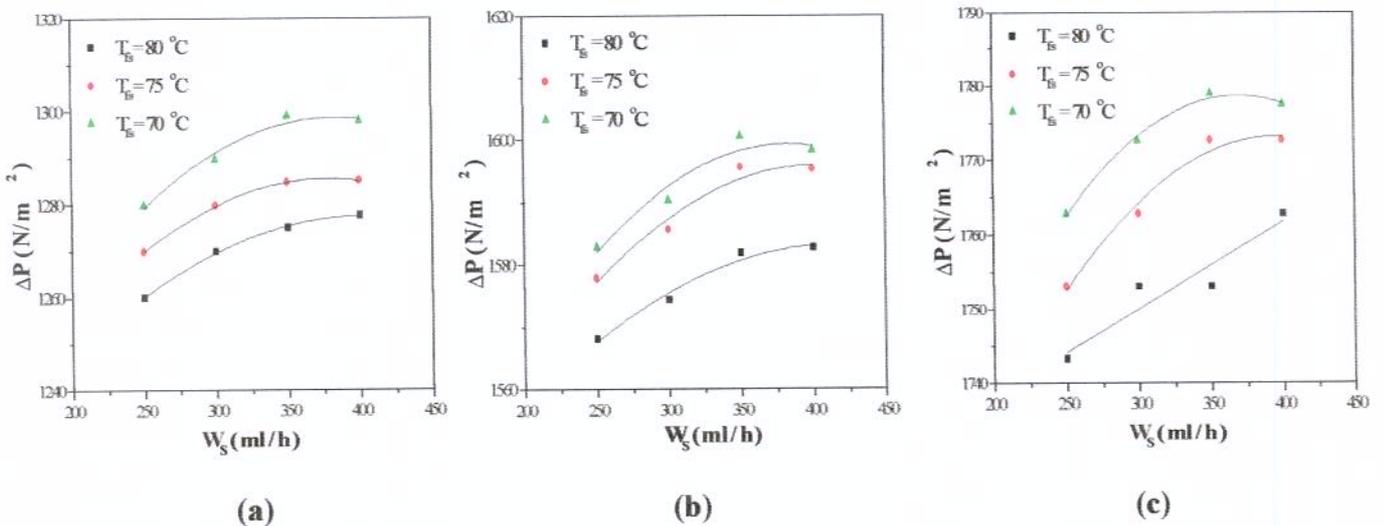


Figura 4.38 - Variação da queda de pressão em jorro estável em função da vazão da suspensão II; (a) $H_o=10$ cm, (b) $H_o=12$ cm e (c) $H_o=14$ cm.

Nas Tabelas 4.18 e 4.19 encontram-se os resultados característicos, do comportamento que descrevem a influência da vazão de alimentação da suspensão na umidade do produto desidratado. As análises desses dados indicam a tendência a um

crescimento proporcional, da umidade do produto desidratado com o aumento da vazão de alimentação. Este efeito foi também observado por PHAM (1983) e RÉ & FREIRE (1986) na secagem de sangue bovino em leito de jorro.

Tabela 4.18 - Umidade do pó da suspensão I para diferentes valores de T_{fs} e W_S com $H_o = 14$ cm.

T_{fs} (°C)	70	75	80
W_S (ml/h)	Umidade do pó (% b.u.)		
250	5,58	5,13	4,56
300	6,58	5,43	4,83
350	7,35	5,85	5,47
400	8,05	6,55	6,60

Tabela 4.19 - Umidade do pó da suspensão II para diferentes valores de T_{fs} e W_S com $H_o = 14$ cm.

T_{fs} (°C)	70	75	80
W_S (ml/h)	Umidade do pó (% b.u.)		
250	7,05	6,02	5,18
300	8,12	6,32	5,80
350	8,54	6,88	6,10
400	9,78	7,08	6,73

No apêndice B encontram-se os resultados obtidos para as demais condições experimentais.

Com relação as alturas do leito de partículas, H_o , verificou-se que os produtos desidratados obtidos em todos os ensaios apresentaram menor umidade quando sujeitos ao valor máximo H_o , como mostram as Tabelas 4.20 e 4.21. Comportamento similar foi observado também por KACHAN & CHIAPPETTA (1988), na secagem em leito de jorro de polpa de tomate.

Este comportamento pode ser justificado devido a influência de dois fatores combinados: o aumento da massa do leito e conseqüentemente o aumento da área

específica do mesmo e o aumento da vazão de ar que incrementam a transferência de calor e massa e a energia de colisão dos inertes.

Tabela 4.20 - Influência de H_o e T_{fs} na umidade do pó da suspensão I para $W_S = 250$ ml/h.

H_o (cm)	10	12	14
T_{fs} (°C)	Umidade do pó (% b.u.)		
70	11,07	8,75	5,58
75	9,09	9,00	5,13
80	7,04	6,75	4,56

Tabela 4.21 - Influência de H_o e T_{fs} na umidade do pó da suspensão II para $W_S = 250$ ml/h.

H_o (cm)	10	12	14
T_{fs} (°C)	Umidade do pó (% b.u.)		
70	11,12	9,10	7,05
75	9,88	8,44	6,02
80	8,11	7,29	5,18

No apêndice B encontram-se os resultados obtidos para as demais condições experimentais.

Ainda analisando a umidade do produto final, verificou-se em todos os ensaios que pó resultante da desidratação da suspensão II, que utilizou fosfato no processo de lixiviação, apresentou umidade maior em comparação com o pó obtido da desidratação da suspensão I, para as mesmas condições de operações.

A explicação para este resultado é baseada na capacidade do fosfato de melhorar a capacidade de retenção de água no músculo. Apesar dos mecanismos de ação não estarem totalmente esclarecidos, a interação de ânions de fosfato com as proteínas miofibrilares levam a ruptura das ligações da actina com a miosina, provocando um aumento da repulsão

entre as cadeias peptídicas fazendo com que o sistema aumente a capacidade de absorção de água (TEJADA & BORDERÍAS 1987; CHANG & REGENSTEIN, 1997).

4.4.1 - Balanço de Massa

O balanço de massa foi efetuado no volume de controle do leito de jorro com o sistema de separação e coleta de pó (Figura 4.39). A equação da continuidade baseada na conservação da massa, aplicada ao volume de controle gerou a equação 4.5, na qual o primeiro membro é relativo à taxa de sólido na entrada do secador e o segundo membro refere-se à taxa de sólido na corrente de saída do sistema de separação

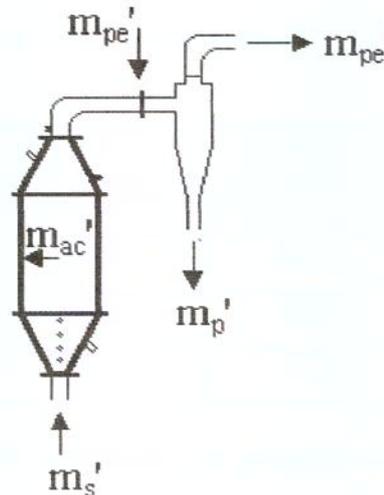


Figura 4.39 - Volume de controle do leito de jorro

$$m_s'(1-x_s) = m_p'(1-x_p) + m_{ac}'(1-x_{ac}) + m_{pe}'(1-x_{pe}) \quad (4.5)$$

onde:

m_s' = taxa mássica da suspensão alimentada (g/h);

x_s = umidade da suspensão alimentada (g de água/ g de material úmido);

m_p' = taxa mássica do pó na saída (g/h);

x_p = umidade do pó na saída (g de água/ g de material úmido);

m_{ac}' = taxa mássica do pó acumulado nas partículas inertes e parede do secador (g/h);

x_{ac} = umidade do pó acumulado (g de água/ g de material úmido);

m_{pe}' = taxa mássica do pó nas extremidades do leito e no ar efluente ciclone (g/h);

$x_{pe} = x_p$ = umidade do pó perdido (g de água/ g de material úmido);

Nas Tabelas 4.22 e 4.23 encontram-se os valores experimentais obtidos na secagem das suspensões, nas seguintes condições de operação: vazão de alimentação, $w_s=250$ ml/h e $H_o=14,0$ cm. Os resultados obtidos através da equação 4.5 com relação à taxa de massa perdida para suspensão I e suspensão II, encontram-se na Tabela 4.24.

Tabela 4.22- Dados experimentais obtidos na secagem da suspensão I.

T_{fs} (°C)	m_s'	x_s	m_p'	x_p	m_{ac}'	x_{ac}
70	223,22	0,8984	16,14	0,0558	7,65	0,0638
75	222,97	0,8984	16,65	0,0513	6,87	0,052
80	222,62	0,8979	16,48	0,0456	5,15	0,0448

Tabela 4.23 - Dados experimentais obtidos na secagem da suspensão II.

T_{fs} (°C)	m_s'	x_s	m_p'	x_p	m_{ac}'	x_{ac}
70	223,67	0,8973	16,82	0,0705	7,82	0,0712
75	223,48	0,8976	16,98	0,0602	7,22	0,0587
80	223,74	0,8989	17,49	0,0518	5,13	0,0502

Tabela 4.24 - Taxa de massa perdida calculada pela equação 4.5.

T_{fs} (°C)	m_{pe}' suspensão I	m_{pe}' suspensão II
70	0,29	0,07
75	0,35	0,13
80	2,18	1,04

4.5 - Avaliação das Propriedades Funcionais.

Os resultados do comportamento das propriedades funcionais do produto desidratado, frente as variáveis de operação: temperatura de saída do ar, T_{fs} , altura do leito de partículas, H_0 e vazão de alimentação da suspensão, W_s , são mostrados nas Figuras 4.40, 4.41 e 4.42 referentes a suspensão I e nas Figuras 4.43, 4.44 e 4.45 referentes a suspensão II.

Na avaliação conjunta desses resultados, observa-se que as propriedades funcionais; solubilidade, índice de atividade emulsificante e capacidade emulsificante não decresceram uniformemente com o aumento da temperatura de saída do ar, contudo, passaram por um valor máximo na temperatura de 75 °C e valor mínimo na temperatura de 70 °C. Comportamento semelhante já foi detectado para a solubilidade por PHAN (1983) Ré & FREIRE (1986), na desidratação de sangue bovino em leito de jorro.

Com relação ao efeito da altura do leito sobre as propriedades funcionais do produto desidratado, percebe-se que há uma tendência de elevação das mesmas, proporcionalmente ao aumento das alturas do leito de partículas. Este efeito pode ser justificado pelo acréscimo na massa do leito e da vazão de ar injetado, proporcionando assim uma homogeneização melhor das partículas inertes e elevando a energia de colisão entre elas e com as paredes do secador.

Esse incremento nas colisões partícula-partícula e parede-partícula contribui no desprendimento e na elutriação do filme seco que recobre o inerte, favorecendo assim a taxa de remoção do pó formado. E quanto menor for o tempo de residência desse material na coluna do secador, menor será a desnaturação protéica e conseqüentemente menor perda de funcionalidade da proteína, já que as proteínas tornam-se instáveis, tendendo a uma alteração da conformação original quando a temperatura se eleva acima de 40 - 50 °C.

Com relação ao efeito da vazão de alimentação observa-se um decréscimo nos valores das propriedades funcionais do produto desidratado com aumento da vazão. Este

comportamento deve-se ao fato que ao aumentarmos a vazão de alimentação estamos consequentemente aumentando a espessura da camada que recobre a superfície das partículas inertes e com isso diminuindo a taxa de remoção do pó.

A remoção contínua do material protéico que cobre os inertes requer que o mesmo esteja seco a um nível de umidade que o torne quebradiço. Um aumento na taxa de alimentação consequentemente eleva esse nível de umidade, formando-se aglomerados, e com isso prolongando o tempo de exposição do produto ao ar quente provocando assim um efeito negativo nas propriedades funcionais do produto desidratado, conforme as explicações feitas anteriormente.

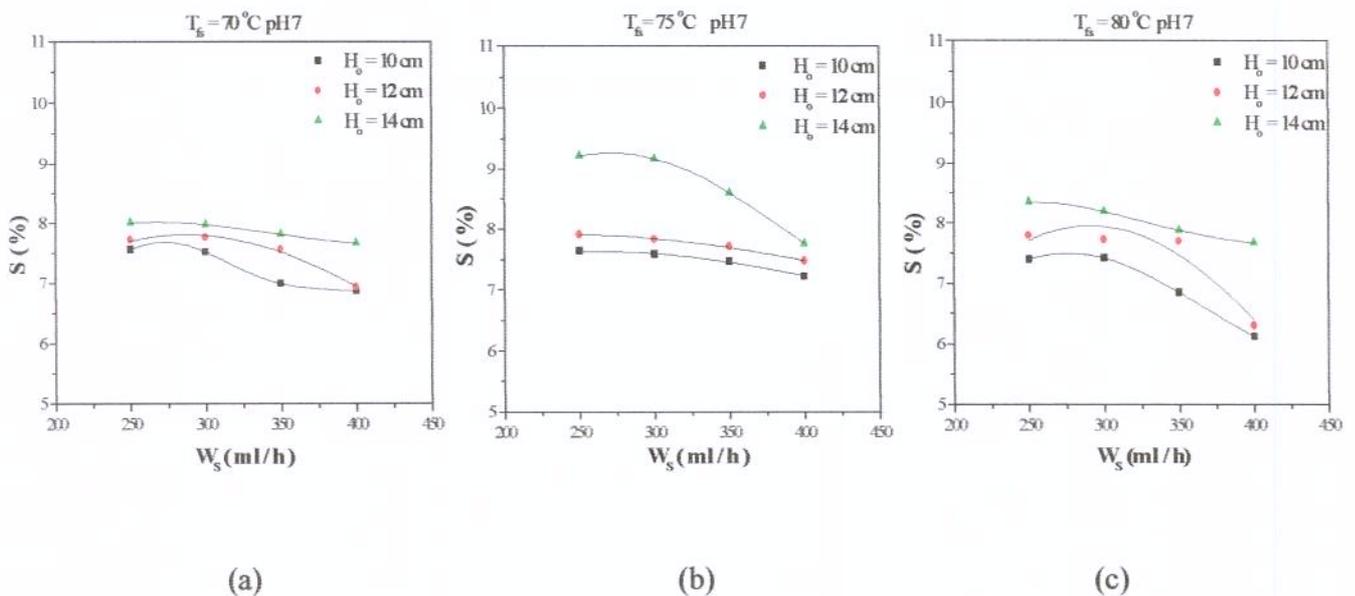


Figura 4.40 – Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado usando a suspensão I

No apêndice C encontram-se os resultados obtidos para os pH 3, 5, e 9 para as suspensões I e II

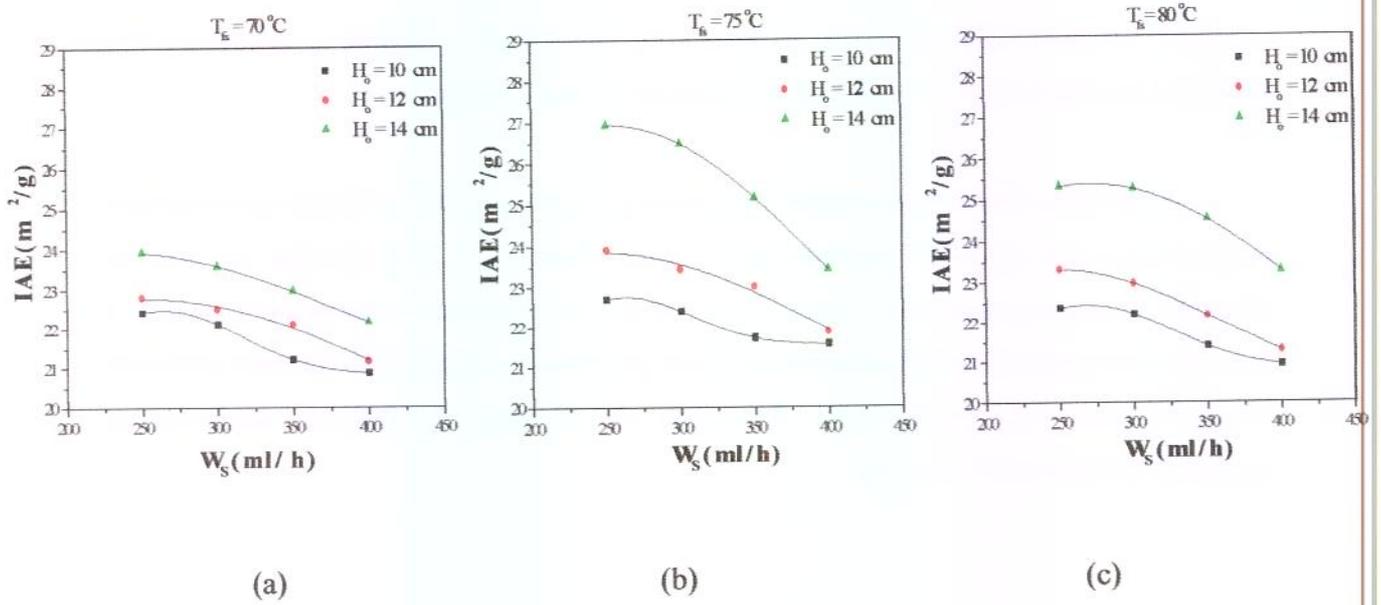


Figura 4.41 – Efeito das variáveis de operação sobre o Índice de atividade emulsificante do produto desidratado usando a suspensão I.

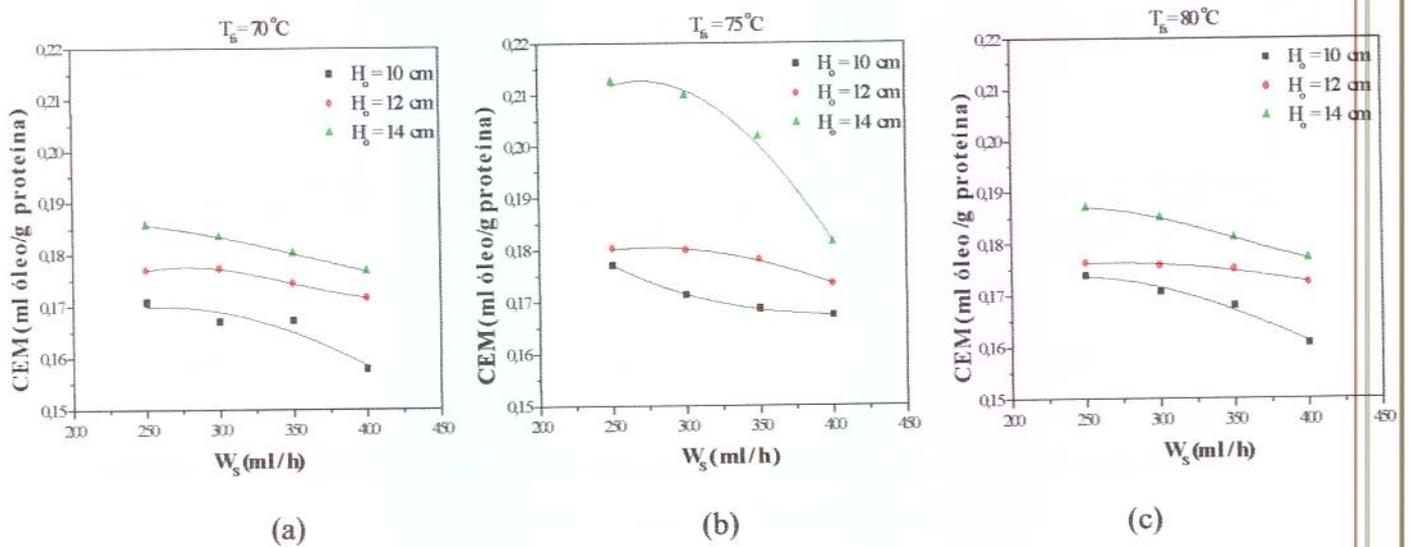


Figura 4.42 – Efeito das variáveis de operação sobre a capacidade emulsificante do produto desidratado usando a suspensão I.

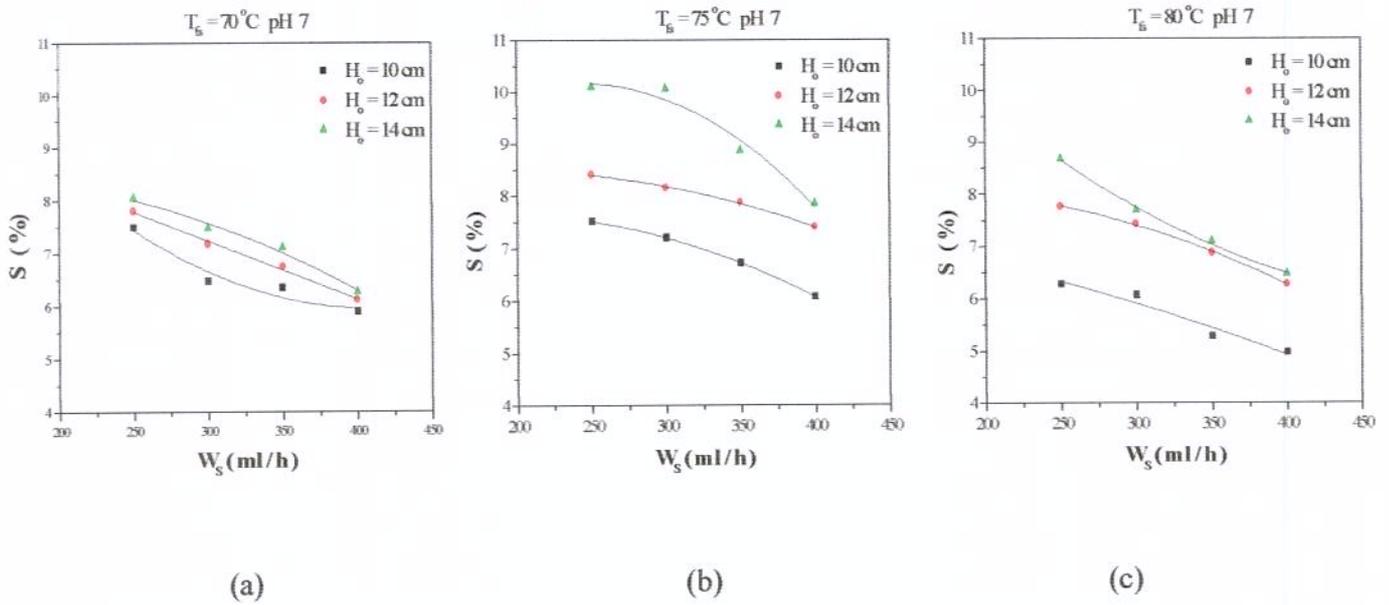


Figura 4.43 – Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado usando a suspensão II.

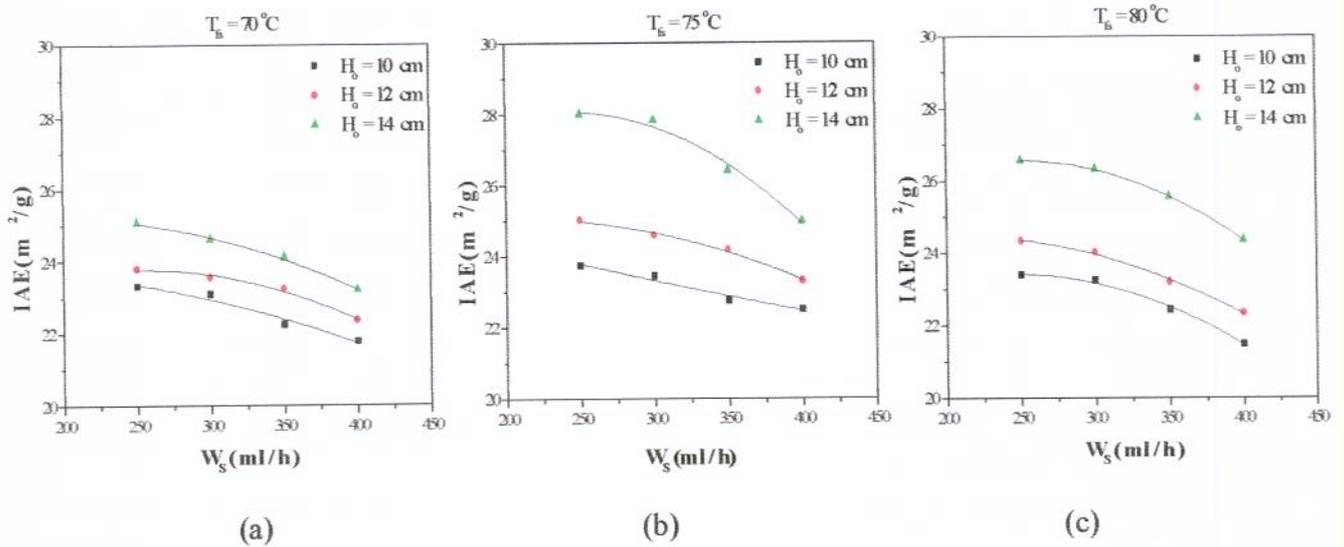


Figura 4.44 – Efeito das variáveis de operação sobre o Índice de atividade emulsificante do produto desidratado usando a suspensão II.

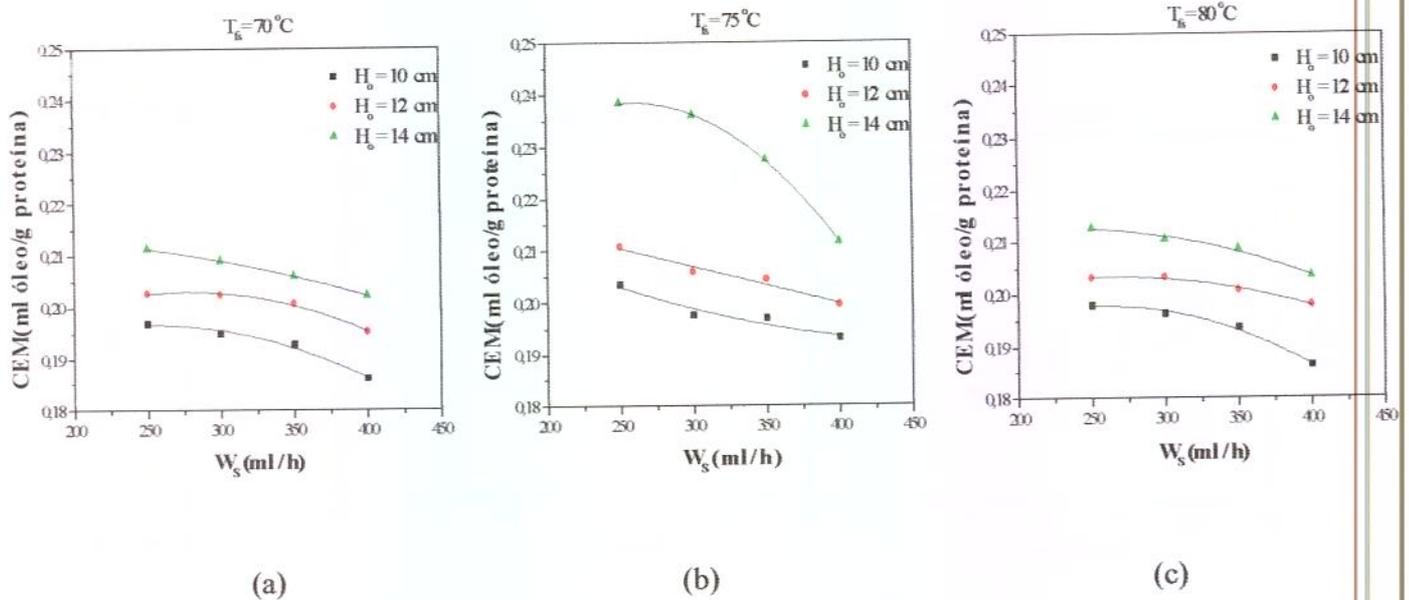


Figura 4.45 – Efeito das variáveis de operação sobre a capacidade emulsificante do produto desidratado usando a suspensão II

Na avaliação das propriedades funcionais com relação a suspensão utilizada, verificou-se que em todos os ensaios, que o pó resultante da desidratação da suspensão II, que utilizou fosfato no processo de lixiviação, apresentou valores superiores a suspensão I. como podemos observar na Tabela 4.25, para as mesmas condições de operações.

A explicação para esse comportamento é semelhante a apresentada para aumento da umidade do pó obtido na desidratação das duas suspensões, nas mesmas condições de operações, ou seja, a habilidade do fosfato em melhorar a capacidade de absorção de água e com isso melhorar a funcionalidade das proteínas por alterar as interações hidrofóbicas (TROUT & SCHMIDT, 1986).

O teor de proteína para o pó obtido na desidratação da suspensão I foi de $84,38 \pm 0,14$ % e de lipídio $4,81 \pm 0,41$ %. Para o pó da desidratação da suspensão II os valores foram $85,45 \pm 0,75$ e $4,30 \pm 0,35$ % para proteína e lipídio respectivamente.

Tabela 4.25 - Comparação das Propriedades funcionais do pó das duas suspensões.

Propriedades	Suspensão I*	Suspensão II*
IAE	26,94	28,01
CEM	0,21	0,24
Solubilidade**	9,23	10,10

*Valores obtidos para: $H_o = 14$ cm, $T_{fs} = 75^\circ$ C e $W_s = 250$ ml/h

**pH = 7.

4.6 - Análise Granulométrica

A Tabela 4.26 contém os resultados da análise granulométrica, realizada de acordo com o procedimento apresentado no item 3.4.5.

Tabela 4.26 Análise granulométrica das partículas obtidas na secagem das suspensões I e II.

Sistema Tyler (Peneira n ^o)	Diâmetro médio da abertura D# (mm)	Massa retida Suspensão I (g)	Fração da massa retida suspensão I (%)	Massa retida Suspensão II (g)	Fração da massa retida suspensão II (%)
+35	0,417	0,24	1,27	0,22	1,22
-35 +42	0,384	0,46	2,44	0,25	1,39
-42 +48	0,323	0,53	2,81	0,30	1,67
-48 +60	0,272	0,83	4,40	0,48	2,67
-60 +65	0,228	0,90	4,77	0,74	4,12
-65 +80	0,192	1,70	9,01	1,74	9,69
-80 +115	0,150	6,97	36,94	6,16	34,30
-115 +170	0,106	5,24	27,77	5,21	24,01
-170 +200	0,081	1,67	8,85	2,27	12,64
-200	0,037	0,33	1,75	0,59	3,29

A análise dos resultados da Tabela 4.26 indica que 64,71% das partículas obtidas na secagem da suspensão I e 58,31% das partículas obtidas na secagem da suspensão II, ficaram retidas entre as peneiras de números 115 e 170. Os diâmetros médios das partículas, determinados pela equação 3.7, resultaram nos valores de 0,13 mm para o produto da suspensão I e 0,12 mm para o produto da suspensão II.

4.7 - Análise microbiológica

Os resultados das análises microbiológicas realizadas no produto seco, apresentados na Tabela 4.27, indicam baixa carga microbiana, o que demonstra que a base protéica desidratada obtida pode ser armazenada à temperatura ambiente sem o comprometimento de sua qualidade microbiológica.

Tabela 4.27 - Análise microbiológica das bases protéicas desidratadas.

Análises	Suspensão I	Suspensão II	Legislação
Coliforme fecais (NMP/g)	< 3/g	< 3/g	Máximo 10^2 /g
<i>Salmonella</i> (em 25 g)	Ausência	Ausência	Ausência em 25 g
<i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/g)	< 10^2	< 10^2	Máximo 10^3 /g
Clostrídios sulfito redutores (UFC/g)	< 10	< 10	Máximo 10^3 /g

NMP: Número Mais Provável/grama

UFC: Unidade Formadoras de Colônia/grama

Vale salientar também, que os cuidados com assepsia dos equipamentos e acessórios utilizados na preparação e na secagem das suspensões foram fundamentais para evitar o aumento da carga microbiana acima dos padrões estabelecidos para esse tipo de produto.

5 - CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho para um melhor esclarecimento serão apresentadas em três etapas; inicialmente as conclusões relacionadas ao processo de extração do material solúvel, em seguida, as conclusões sobre a capacidade máxima de alimentação com adição de água e como suspensão de peixe e a fluidodinâmica do leite e finalmente as conclusões sobre a secagem das suspensões de peixe e avaliação das propriedades funcionais do produto final.

- Com relação ao processo de extração do material solúvel conclui-se que:

O tratamento estatístico, utilizando o planejamento experimental e a metodologia de superfície de resposta, mostrou-se uma importante ferramenta para avaliação e seleção das variáveis empregadas, proporcionando uma compreensão melhor do sistema e apontando condições operacionais mais adequadas, permitindo assim a obtenção de valores combinados entre a máxima remoção de lipídio com a mínima perda de proteína.

Os modelos empíricos obtidos nos dois tratamentos, para expressar a relação entre o rendimento de proteína, bem como a remoção de lipídio com as variáveis experimentais nas condições empregadas foram estatisticamente significativos e preditivos, sendo que no tratamento realizado com NaCl e NaHCO₃ explicam 93,46 e 84,67% das variações nas respostas encontradas para o rendimento de proteína e a extração de lipídio respectivamente. No tratamento com fosfato e NaCl os valores são de 92,24 % para o rendimento de proteína e 85,89 % para a extração de lipídio.

Entre as quatro variáveis experimentais estudadas, a relação solução extratora e massa de polpa e (RSP) e o número de ciclo de lavagem (NCL), foram as que mais influenciaram no rendimento de proteína e na extração de lipídio, em ambos os tratamentos.

Para as condições experimentais empregadas as melhores respostas para o rendimento de proteína e extração de lipídios foram obtidas, utilizando fosfato e NaCl como solução extratora. Os valores médios do rendimento de proteína e de extração de lipídio foram de 70,46 e 37,19 % respectivamente, contra os 64,19 e 34,44 % do rendimento de proteína e da extração de lipídio respectivamente utilizando NaCl e NaHCO₃ como solução extratora.

Para os níveis otimizados no planejamento experimental, que proporcionam a melhor combinação entre a máxima remoção de lipídios com a mínima perda de proteína e que foram aplicados no preparo das suspensões utilizadas nos testes de secagem, os valores do rendimento de proteína e da extração de lipídio foram de 73,56 e 36,02 % respectivamente, relativos a suspensão I. Com relação suspensão II o rendimento de proteína foi de 78,76% e a extração de lipídio foi de 39,51%.

- Sobre a capacidade máxima de alimentação com adição de água e como suspensão de peixe e a fluidodinâmica do leito conclui-se que:

Existe uma grande discordância entre os valores dos parâmetros globais do leito de jorro; vazão de jorro mínimo Q_{jm} , queda de pressão máxima no leito ΔP_{max} e queda de pressão de jorro estável ΔP_{je} , obtidos através das varias correlações existentes na literatura, o que torna complicado o emprego das mesmas no projeto do equipamento. As melhores correlações neste estudo foram: a de TSVIK *et alii* (1967) e OLAZAR *et alii* (1992), na estimativa do parâmetro Q_{jm} , a de SAMPAIO *et alii* (1984) na avaliação de ΔP_{max} e a de OLAZAR *et alii* (1992), na estimativa de ΔP_{je} .

A mudança gradual nas características estruturais do leito de jorro com o aumento na vazão de água injetada no sistema deve-se principalmente ao aumento das forças de

adesão partícula-partícula, causadas por pontes líquidas e as forças de tensão causadas pela viscosidade da água, o que leva a um aumento na aglomeração de partículas prejudicando a circulação das mesmas descaracterizando o escoamento típico do leito de jorro.

Nos experimentos conduzidos na evaporação de água, a vazão máxima de alimentação aumentou proporcionalmente com a altura estática do leito H_0 e sofreu forte influência da temperatura de entrada do ar no leito, T_{fe} .

Em função do efeito "colante", decorrente das substituições das pontes líquidas por pontes sólidas, o valor da vazão máxima de alimentação da suspensão de peixe, foi cerca de 20,51% menor que a vazão máxima de água destilada, nas mesmas condições de operação. O mesmo efeito contribuiu no aumento gradual da queda de pressão em jorro estável com o aumento da vazão de alimentação da suspensão de peixe.

- Com relação a secagem das suspensões de peixe e avaliação das propriedades funcionais do produto final conclui-se que:

A habilidade do fosfato em melhorar a capacidade de absorção de água, levou o produto desidratado da suspensão II, a apresentar umidades superiores aos do produto desidratado da suspensão I, nas mesmas condições operacionais. O mesmo comportamento foi obtido com relação às propriedades funcionais do produto seco.

Dentro dos níveis operacionais utilizados na secagem das suspensões, as propriedades funcionais dos produtos desidratados, foram afetadas negativamente com o aumento da vazão de alimentação e a redução da altura do leito de partículas. Os melhores valores funcionais do produto seco foram obtidos com a temperatura do ar de saída a 75 °C e altura do leito de 14,0 cm de partículas de esferas de vidro de diâmetro médio de 0,2 cm.

A qualidade microbiológica e as propriedades nutricionais apresentadas pelo produto seco, indicam a sua incorporação em alimentos sólido, especialmente os formulados a base de cereais.

6 - SUGESTÕES

- Visando complementar o estudo realizado, propõe-se como sugestões para futuros trabalhos:
- No preparo da suspensão protéica de peixe utilizar como matéria prima, músculo de peixe obtido através de separação mecânica e que não seja submetido a processos de congelamento.
- Avaliar a influência da concentração das soluções salinas no processo de extração.
- Verificar a estabilidade do produto desidratado, armazenado à temperatura ambiente.
- Testar a metodologia utilizada por VENUGOPAL *et alii* (1996), que desenvolveram um concentrado protéico de peixe, com boa funcionalidade, através da conversão das proteínas miofibrilares em um gel, mediante a adição de ácido acético.
- Estudar a viabilidade da secagem em leito de jorro do hidrolisados protéicos de pescado.

7 - BIBLIOGRAFIA

- ALSIMA, O. L. S.; LIMA, L. M. R.; MORAIS, V. L. M. e NOBREGA, E. Estudo da circulação de sólidos em um leito de jorro convencional para secagem de polpa de acerola. Anais do I Congresso Ibero Americano de Engenharia de Alimentos. Campinas - SP. v. 3, p. 1 - 8, 1995.
- BANDROWSKI, J. e KACZMARZYC, G. Gas to particle heat transfer in vertical pneumatic conveying of granular materials. Chem. Eng. Scien. v. 33, p. 1303 - 1310, 1978.
- BARRET, T.; FANE, A. Drying liquid materials in a spouted bed, Drying'89, Hemisphere Publishing Corporation, NY, p. 415 - 420, 1990.
- BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S. e BRUNS, R. E. Planejamento e otimização de experimentos. Ed. UNICAMP, Campinas - SP, 1995, 299 p.
- BELITZ, H. D. e GROSCH, W. Peces, ballenas, crustáceos y moluscos, In: Química de los alimentos, Ed. Acribia S. A. p. 69 - 93, 491 - 510, 1988.
- BERTULLO, V. H. Tecnología de los productos y subproductos de pescado, moluscos y crustáceos, Ed. HEMISFERIO SUR, 543 P. 1975.
- BLIGH, E. G. e DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, v. 37, n. 8, p. 911 - 917, 1959
- BODERÍAS, A. J. e MATEOS, M. P. Productos pesqueros reestructurados. Alimentaria Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos. v. 34, n. 269, p.53 - 62, 1996.
- BORDERÍAS, A. J. e TEJADA, M. El surimi. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, v. 27, n. 1, p. 1 - 14. 1987.
- BODERÍAS, A. J.; MONTERO, P. Fundamentos de la funcionalidade de las proteínas en alimentos. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, v. 28, n. 2, p. 159 - 169, 1988.
- BORGHETTI, J. R. Estimativa da produção pesqueira brasileira. Panorama da AQUICULTURA, v. 6, n. 35, p.25 -27, 1996.

- BRODY, J. Fish protein concentrate. Fishery by Products Technology. Westport: AVI publishing Co. Inc. 1965, Chap. 18, p. 209 - 226.
- BOX, G. E. P. e WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by na approximate response function. University of Wisconsin Technical Report, 1973, In: BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S. e BRUNS, R. E. Planejamento e otimização de experimentos. Ed. UNICAMP, Campinas - SP, 1995, 299 p.
- BOX, G. E. P. e WILSON, K. B. On the experimental attainment of optimum conditions. *J. Roy. Statis. Soc.* B13, p. 1 - 38, 1951, In: BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G. e HUNTER, J. S. *Statistics for experimenters. An introction to design, data analysis and model building*. New York, Wiley 1978.
- BOX, G. E. P. e DRAPER, N. R. *Evolutionary operation: a statistical method for process improvement*. New York, Wiley, 1969.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G. e HUNTER, J. S. *Statistics for experimenters. An introction to design, data analysis and model building*. New York, Wiley 1978.
- CHANG, C.C.; REGENSTEIN, J. M. Water uptake protein solubility and protein changes of cod mince stored on ice as affected by polyphosphates. Journal of Food Science. v. 62, n, 2, p. 305 - 309, 1997.
- CHEN, L. F.; RICHARDSON, T. e AMUNDSON, H. Some functional properties of succinylated proteins from fish protein concentrate. Journal Milk Food Technology, v. 38, n. 2, p. 89 - 93, 1975.
- CHOI, M e MEISEN, A. Hydrodynamics of shallow conical beds, Can. J. Chem. Eng. v. 70, p. 916 - 924, 1992
- CONOLLY, P. A tecnologia de pesca na região Sudeste-Sul do Brasil. Manual de pesca, Fortaleza, Ceará, Associação dos Engenheiro de Pesca do Estado do Ceará, 1987.
- COULSON, J.M.; e RICHARDSON, J. F. Tecnologia Química. Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. v. 2, 888 p. 1974.
- CSUKAS, B.; PATAKI, K. e ORMOS, Z. Heat and mass transfer in dispersed systems. *Anais do 5 th All-Union heat and mass transfer conference*, v. 6, p. 178 - 187, 1976, In: STRUMILLO, C.; MARKOWSKI, A.; KAMINSKI, W. *Modern developments in drying of pastelike materials*. Advances in Drying. v. 2 MUJUMDAR A. S. (ed). Editora McGraw Hill, 1983.

- DAS, K. P. e KINSELLA, J. E. Stability of Food emulsions: physicochemical role of protein and non protein emulsifiers advances. Food and Nutrition Research, v. 34, p. 81 - 201, 1990.
- FARFÁN, J. A. Química de proteínas aplicada à ciência e tecnologia dos alimentos. Ed UNICAMP, Campinas - SP. 1990, 134 p.
- FANE, A. G.; STEVENSON, T. R.; LOYD, C.J. e DUNN, M. The spouted bed dryer: na alternative to spray drying. Chemeca 80, 8 th Chemical Engineering Conference. Australia. p. 278 - 282, 1980 In: OCHOA MARTINEZ, L. A., BRENNAN, J.G. e WIRANJAM, K. Spouted bed dryer for liquid foods. Food Control, v. 4, n. 1, p. 41 - 45, 1993.
- FAO. Fish By-Catch: Bonus from the Sea Report of a technical consultation on shrimp by-catch utilization held Georgetown. 1981.
- FAO. El estado mundial de la agricultur y la alimentacion. COLLECCION FAO, Agricultura. V. 26, 163 p. 1995.
- FOUST, A.; WENZEL, L.; CLUMP, C.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. Princípios das operações unitárias. Guanabara Dois, Rio de Janeiro,- RJ, 1982, 670 p.
- FREITAS, L. A. e FREIRE, J.T. Heat transfe in spouted beds. Drying Technology, v. 11, n. 2, p. 303 - 317, 1993.
- FREIRE, J. T. Secagem de pasta em leito de jorro, In: FREIRE, J. T. e SARTORI, D. J. M., Tópicos Especiais de Secagem, v. 1, 45 - 85, São Carlos, Ed. UFSCar, 1992.
- 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. and EPSTEIN, N. Spouted beds, New York, Academic Press, 1974.
- GEROMEL, E. J.; FORSTER, R. J. Princípios Fundamentais em Tecnologia de Pescado. Série Tecnologia Agroindustrial (11). São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982, 127 p.
- GIULIETTI, N.; ASSUMPÇÃO R. Indústria pesqueira no Brasil, Revista Agricultura em São Paulo, v. 2, n. 42, p. 95 - 127, 1995.
- GIESE, J. Protein as ingrediente: types, functions, applications. Food Technologi, v. 48, n. 10, p. 50 - 60, 1994.

- GORSHTEN, A. E. e MUKHLENOV, I. P. The critical gas velocity at the onset of spouting, Zh. Prikl. Khim. (Leningrad), v. 37, p. 1887 - 1893, 1964. In: MATHUR, K. and EPSTEIN, N. Spouted beds, New York, Academic Press, 1974
- GUBULIN, J. C. e FREIRE, J. T. Secagem de pasta e similares em leito de jorro: Testes de secagem e estudos hidrodinâmicos globais em escala piloto. Anais do XVII Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos. UFSCar, São Carlos - SP. v. I, p. 203 - 213, 1989.
- GUIMARÃES, I. S.; BARBOSA, A. S. L. e MASSARANI, G. Produção de concentrado bixina em leito de jorro, Revista Brasileira de Engenharia Química, v.12, n. 2, p, 22, 1989.
- HADZISMAJLOVIC, D. E.; GRBAVIC, Z. B., VUKOVIC, V. e LITMAN, H. The mechanics of spout fluid bed at the minimum spout fluid flowrate. Can. J. Chem. Eng., v. 61, p. 343-34, 1983.
- HALLING, P. J. Protein stabilized foams and emulsions. Critical Review in Food Science and Nutrition, v. 15, n. 2, p. 155 - 203, 1981.
- HALL, G. M. e AHMAD, N. H. Functional properties of fish protein hydrolysates, In: HAL, G. M. (ed.), Fish processing technology. Blackie Academic & Professional. p. 249 - 274, 1992.
- HALLIDAY, D. e DISNEY, J. G. Fish protein concentrate: a review. Londo: Tropical Products Institute. 18 p. 1971.
- HERMANSSON, A. M, Functional properties of protein for foods food properties. Journal of Texture Studies, v. 5, n. 4, p. 425 - 439, 1975.
- HUFENUSSLER, M. Estudo da secagem de purê de banana em secador tipo jorro, EPUSP, São Paulo, SP, 1985, 141 p. (Dissertação).
- HUFENUSSLER, M. e KACHAN, G. C. Secagem de purê de banana em um secador de leito com jorro. Anais do XII Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos UEM, Maringá - Pr. v.2, p. 340 - 354, 1985.
- HULTIN, H. O. Oxidation of lipids in sea food, In: Seafoods Chemistry Processing Technology and Quality, SHAHIDI, F. e BOTTA, J. R., ed. Blackie Academic e Professional, 1993.

- HOVMAND, S. Fluidized bed drying. Hanbook of industrial drying. MUJUMDAR, A. S. (ed.). Editora Marcel Dekker. New York , p. 166 - 225, 1987.
- KACHAN, G. C. Contribuição ao estudo da desidratação da pasta de tomate em secador de leito com jorro, São Paulo, EPUSP, 1988, 209 p. (Tese de Livre Docência).
- KACHAN, G. C. e CHIAPPETTA, E. Desidratação da pasta de tomate em um secador de leito com jorro. Anais do XIII Congresso de Engenharia Química, São Paulo - SP, v. 2 p. 510 - 523, 1988.
- KARMAS, E. e LAUBER, E. Novel products from underutilized fish using combined processing technology. Journal of Food Science, v. 52, n. 1, p. 7 - 9, 1987.
- KHURI, A. e CORNELL, J. A. Response surface: designs and analysis, ASQG, 1987.
- KINSELLA, J. E. Functional properties of proteins in foods: a surver. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 7 (3), p. 219 - 280, 1976.
- KINSELLA, J. E. Milk protein: physical and functional properties. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 21 n. 2, p. 197 - 262, 1984.
- KINSELLA, J. E. Fish and seafoods: nutritional implications and quality issues. Food Technology, v. 42, n. 5, p. 146 - 150, 1988.
- KMIEC, A. Simultaneous heat and mass transfer in spouted beds. Can. J. Chem. Eng. v. 53, p. 18 - 21, 1975.
- KUCHARSKI, S. e KMIEC, A. Analysis of simultaneous drying and coating of tablets in spouted bed. Can. J. Chem. Eng., v. 61, p. 435 - 439, 1983.
- LANIER, T. C. Functional properties of surimi. Food Technology, v. 40, n. 3, p. 107 - 114, 1986.
- LANIER, T. C. e LEE, C. Surimi technology. Marcel Dekker, New York, 1992.
- LEE, C. Surimi process technology. Food Technology, v. 38, n. 11, p. 69 - 80, 1984.
- LEE, C. Surimi manufacturing and fabrication of surimi- based products. Food Technology, v. 40, n. 3, p. 107 - 115, 124, 1986.

- LIMA, M. F. M. Desidratação de polpa de umbu em leito de jorro, Estudos fluidodinâmicos e térmicos, UFPb, João Pessoa, 1992, 132p.(Dissertação).
- LITTMAN, H. e SILVA, D.E. Gas-particles heat transfer coefficients in packed beds at low Reynolds number. Heat transfer 1970, In: MATHUR, K. B. e EPSTEIN, N. Spouted beds, New York, Academic Press, p. 32, 1974.
- LIU, L. X. e LISTER, J. D. The effect of particle shape on the spouting properties of non-spherical particles. Powder Technology, v. 66, p. 59 - 67, 1991.
- MACKIE, I. M. New approaches in the use of fish protein: In developments in food protein, v. 2, Hudson, B. J. F. Ed. Elsevier, New York, 1983.
- MAKINODAN, Y. Modori Science and Technology of fish paste products 1982, In: BORDERÍAS, A. J. MATEOS, M. P. Productos pesquero reestructurados. Alimentaria Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos. v. 34, n. 269, p.53 - 62, 1996.
- MARKOWSKY, A. Drying characteristics in a jet spouted bed dryer. Can. J. Chem. Eng., v. 70, p. 938 - 944, 1992.
- MASSARANI, G.; PASSO, M. L. e BARRETO, D. W. Production of annatto concentrates in spouted bed. Can. J. Chem. Eng., v. 70, p. 954 - 959, 1992.
- MATHUR, K. and EPSTEIN, N. Spouted beds, New York, Academic Press 1974, 303 p.
- MATSUMOTO, J. Minced fish technology and its potencial for developing countries, 1978, In: CARTAGENA, N. A.; DÍAZ, G. M.; DÍAZ, L. S. N.; MURRAY, R. M. e IRIBARREN, N. A. Surimi de Sardina española (*Sardinops sagax*): elaboración y caracterización química y funcional, Alimentos, v. 15, n. 6, p. 27 - 32, 1990.
- MINE, Y.; NOUTOMI, T.; HAGA, N. Emulsifying and structural properties of ovoalbumin. Journal of Agriculture and Food Chemistry, v. 39, n. 3, p. 443 - 446, 1991.
- MONTECALVO Jr, J.; CONSTANTINIDES, S. M. e YANG, G. S. T. Optimization of processing parameters for the preparation of flounder frame protein product. Journal of Food Science, v. 49, n. 1, p. 172 - 176 e 187, 1984.
- MORAIS, C. Aproveitamento da fauna acompanhante na captura do camarão. Boletim Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 18 (2): 129 - 144, 1981.

- MORAIS, C.; AGUIRRE, J. M.; DELAZARI, I.; PIZZINATTO, A.; TRAVAGLINI, M. M. E.; FIGUEIREDO, I. B. e KAI, M. Utilização de sobras de filetagem de pescado na obtenção de farinha mista de peixe e milho. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 18, n. 2, p. 177 - 199, 1981.
- MORAIS, C. e CAMPOS, S. D. S. Carne de pescado separada mecanicamente da ictiofauna acompanhante da captura do Camarão Sete Barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*): obtenção e utilização de blocos congelados. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 23, n. 1, p. 56 - 67, 1993.
- MORAIS, C.; MANTOVANI, D. M. B. e CARVALHO, C. R. L. Rendimento cárneo e composição química da ictiofauna acompanhante na captura do Camarão-Sete-Barbas. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 22, n. 1, p. 62 - 72, 1992.
- MORAIS, C.; MARTINS, J. F. P. Considerações sobre o aproveitamento de sobras da industrialização de pescado na elaboração de produtos alimentícios. Boletim Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 18 (3): 253 - 281, 1981.
- MORR. C.V.; GERMAN, B.; KINSELLA, J. E. REGENSTEIN, J. M. VAN BUREN, J. M.; KILARA, A.; LEWIS, B.A; MANGINO, M.E. A collaborative estudy to develop astandardized food protein sulubility procedure”. Journal of Food Science, Vol. 50, n. 6, p. 1715 – 1718, 1985.
- MORRESSEY, P. A.; MULVIHILL, D. M. e O'NEIL, E. M. Functional properties of muscle properties, In: HUDSON, B. J. F. Developments in foods protein - 5, London, Elsevier Applied Science, p. 195 - 256, 1987.
- MORRIS, J. A. Análise da taxa de evaporação de água em um secador de leite de jorro com partículas inertes, Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos- SP, 1990, 112 p.
- MORRIS, J. A. e FREIRE, J. T. Análise da taxa de evaporação de água em um secador do tipo leite de jorro com partículas inertes. Anais do XVIII Encontro sobre escoamento em meios porosos, Nova Friburgo - RJ. v. 1 p. 363 - 371, 1990.
- MUJUMDAR, A. S. Spouted beds: Principles and recent developments. Anais do: XVII Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, UFSCar, São Carlos – SP. v. 1, p. 3 – 13, 1989

- MUKHLENOV, I. P. and GORSHTEIN, A. E. Hydraulic resistance of suspended layer in grateless conical sets. Zh. Prikl Khim. (Leningrad), v. 37, p. 609, 1964. In: MATHUR, K. and EPSTEIN, N. Spouted beds, New York, Academic Press, 1974.
- MUKHLENOV, I. P. and GORSHTEIN, A. E. Investigation of a spouting bed. Khim. Prom. (Moscow), v. 41, p. 443, 1965. In: MATHUR, K. and EPSTEIN, N. Spouted beds, New York, Academic Press, 1974.
- NISHIOKA, F. Leaching treatment. Science and Technology of Fish Paste Products, Ed. H. Shimizu p. 62 - 73, 1984.
- OCKERMAN, H. W. e HANSEN, C. L. Industrialización de subproductos de origen animal, Ed. ACRIBIA, S. A. Zaragoza (España), 387p 1994.
- OETTERER, M. Produção de silagem a partir da biomassa residual de pescado. Alimento e Nutrição, n. 5, p. 119 - 134, 1994.
- OKADA, M. Varieties of fish paste products, 1981, In: BORDERÍAS, A. J. e TEJADA, M. El surimi. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, v. 27, n. 1, p. 1 - 14. 1987.
- OLAZAR, M.; SAN JOSÉ, M. J.; AGUAYO, A. T.; ARANDES, J. M. e BILBAO, J. Stable operation conditions for gas-solid contact regimes in conical spouted beds. Ind. Eng. Chem. Res., v. 31, p. 1784 - 1792, 1992.
- OLAZAR, M.; SAN JOSÉ, M.; AGUAYO, A. T. ARANDES, J. M.; BILBAO, J. Pressure drop in conical spouted beds. Chem. Eng. Jornal, v. 51, p. 53-60, 1993.
- OLIVER, H. A.; MASSON, L. S. e BECERRA, M. N. Processo de elaboración y estabilización de pulpa congelada de Jurel (*Trachurus murphyi*), Alimentos, v. 13, n. 3, p. 21 - 28, 1988.
- OLIVEIRA, W. P.; SILVEIRA, A. M. e FREIRE, J. T. Analysis of the drying of pastes in conical spouted beds, Drying'94, Gold Coast, Australia, Hemisphere Publ. Co., vol. B, p. 495-502, 1994.
- OWER, E.; PANKHURST, R. C. The measurement of air flow. Pergamos Press. Oxford, 1977, 363 p.
- PALLAI-VARSÁNYI, E. e PÉTER-HORÁNYI, M. Drying of pastelike materials with high moisture content in inert packed spoute bed dryer. In 8 th International

- Congress of Chemical Engineering, Chemical Equipament Design and Automation, p. 11, 1984.
- PASSOS, M. L.; MASSARANI, G.; FREIRE, J. T. e MUJUMDAR, A. S. Drying of pastes in spouted beds of inert particles: design criteria and modeling. Drying Technology, v. 15, n. 2, p. 605 - 624, 1997.
- PATEL, K.; BRIDGWATER, J.; BAKER, C. G. J. and SCHNEIDER, T. Spouting behavior of wet solids. Drying'86, New York, Hemisphe-Publ. Co., v. 1, p. 415-420, 1986.
- PEARCE, K. N. & KINSELLA, J. E. Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. Journal of Agriculture and Food Chemistry. Vol. 26, n. 3, p. 716 - 725, 1978.
- PETROVIC, L. J. e THODOS, G. Effectiveness factors for heat transfer in fluidized beds. Can. J. Chem, Eng., v. 46, p. 114 - 118, 1968.
- 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.
- PHAM, Q. T. e POOLEY, E. J. A spouted bed dryer using inert particles, Proc. 9 th Australasian Chemical Engineering Conference, Chistchurch, New Zealand, p. 57 -64, 1981, In: RÉ, M. I. Secagem de sangue animal em leito de jorro, Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 1986, 73 p.
- PONTE, J. J. e FREIRE, J. T. Determinação experimental da área de troca térmica fluido-partícula em leito de jorro com alimentação continua de sólidos. Anais do XVI Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos. Petrópolis - RJ. v. 1, p. 159 - 169, 1988.
- RÉ, M. I. Secagem de sangue animal em leito de jorro, Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 1986, 73 p.
- RÉ, M. I. e FREIRE, J. T. Secagem de sangue animal em leito de jorro. Anais do XIV Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, UNICAMP, Campinas - SP.vol. 1, p. 187-198. 1986
- RÉ, M. I. e FREIRE, J. T. Secagem de extratos farmacológicos. Anais do: XV Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, UFU, Uberlândia - MG. v. 1, p. 399-406, 1987.

- RÉ, M. I. e FREIRE, J. T. Drying of pasteline materials in spouted bed, p. 426 - 432, 1989, In: MUJUMDAR, A. S. e ROQUE M. A. Drying'89, Hemisphere Publishing Corporation, NY.
- REBECA, B. D.; VERA, M. T. e DIAS, C. M. Production of fish protein hydrolysates with bacterial proteases; yield and nutritional value. Journal Food Science, Champaign, n. 56 v. 2 p. 309 - 314, 1991.
- REGER, E. O.; ROMANKOV, P. O. e RASHKOVSKAYA, N. B. 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.; MARKOWSKI, A.; KAMINSKI, W. Modern developments in drying of pastelike materials. Advances in Drying. v. 2 MUJUMDAR A. S. (ed). Editora McGraw Hill, 1983.
- REGIER, W. L. e RAIZIN, M. A. Fish mince: its potencial for less developed countries and other, 1988, In: VENUGOPAL, V. e SHAHIDI, F. Value-added products from underutilized fish species. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 35, n. 5, p. 431 - 453, 1995.
- REYES, A. Secagem de suspensões em leito de jorro cônico. Rio de Janeiro, RJ, COPPE-UFRJ, 1993, 169 P.(Tese de Doutorado)
- ROCHA, S. C. S. Secagem em sistemas com vibração, In: FREIRE, J. T. e SATORI, D. J. M. Tópicos especiais em secagem., (ed.) UFSCar, São Carlos - SP. v.1, p. 87 - 127, 1992.
- ROOS, Y. KAREL, M. Applying state diagrams to food processing and development. Food Technology, n. 12, p. 66 - 70, 1991.
- ROS, J. S. C. The fishmeal industry in Latin America: review and outlook. Infofish International, v. 6, p. 16 - 21, 1998.
- ROWE, P. N. e CLAXTON, K. T. Heat and mass tranfer from a single sphere to fluid flowing through na array. Trans. Inst. Chem. Eng., v. 3, p. T321 - T331, 1965.
- SAMPAIO, L.; LOPES, M.; HERNANDEZ P. e LIVIO, T. Apreciações relativas a dinâmica do leito de jorro cônico convencional e modificado. Anais do XI Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, UEM, Maringá - Pr, v. 1, p. 218 - 235. 1984.

- SATO, S.; NAKAGAWA, N.; TSUCHIYA, T. e MATSUMOTO, J. J. Electron microscopic study on the processes of preparation of kamaboko, Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. v. 53, p. 649, 1987.
- SCHNEIDER, T. e BRIDGWATER, J. Drying of solutions and suspensions in spouted beds, Drying'89, Hemisphere Publishing Corporation, NY, p. 421 - 425, 1989.
- SERIKAWA, R. M.; GIUDICI, R. e NASCIMENTO, C. A. O. Transferência de calor parede-leito em sistema de jorro convencional e modificado. Anais do XIV Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, Campinas - SP. v. 1, p. 366 - 375. 1986.
- SGARBIERI, V. C. Propriedades funcionais proteínas em alimentos. Boletim Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 32, n. 1, p. 105 - 126, 1998.
- SHAHIDI, F. e VENUGOPAL, V. Sulubilization and thermostability of water dispersion of muscle structural proteins of Atlantic Herring (*Clupea harengus*). Journal Agriculture and Food Chemistry, v. 42, n. 7, 1994.
- SHAHIDI, F.; HAN, X.; SYNOWIECKI, J. Production and characteristics of protein hydrolysates from Capelim (*Mallotus villosus*). Food Chemistry, v. 53, n. 3, p. 285 - 293, 1995.
- SIKKA, K. C.; SING, R.; GUPTA, D. P. e DUGGAL, S. K. Comparative nutritive value of fish protein concentrate (FPC) from different species of fish. Journal of Agriculture and Food Chemistry, v. 27, n. 5, p. 946 - 949, 1979.
- SIKORSKI, Z. E e NACZK, M. Modification of technological properties of fish protein concentrates. Critical Review in Food Science and Nutrition. v. 14, n. 3, p. 201 - 230, 1981.
- SILVA, E. L. e FREIRE, J. T. Transferência de calor em leite de jorro cônico: determinação do coeficiente de troca térmica parede-leito. Anais do XVII Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, UFSCar. São Carlos - SP. v. 1, p. 163 - 174, 1989.
- SMITH, D. M. Meat protein: functional properties in comminuted meat products. Food Technology, v. 42, n. 4, 9. 116 - 121, 1988.

- SOBSTAD, G. e ZETTERLING, T. Recients avances tecnologicos en la industria del *Surimi*. Alimentos, v. 13, n. 1, 1988.
- SONU, S. C. Surimi US, Departament of Commerce. Terminal Island CA. 1986, In: BORDERÍAS, A. J. e TEJADA, M. El surimi. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, v. 27, n. 1, p. 1 - 14. 1987.
- SOUZA Jr, L. M., Estudo experimental da secagem de suspensões em leito de jorro cônico. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte - MG, 1996, 140 p. In: PASSO, M. L.; MASSARANI, G.; FREIRE, J. T. e MUJUMDAR, A. S. Drying of pastes in spouted beds of inert particles: design criteria and modeling. Drying Technology, v. 15, n. 2, p. 605 - 624, 1997.
- SPITZNER, P. I. e FREIRE, J. T. Estudo da secagem de pasta: Influência da presença da pasta no processo. Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, UFU, Uberlândia - MG, v. 1, p, 185 - 190. 1996
- SPITZNER, P. I. e FREIRE, J. T. Análise da presença da pasta na secagem em leito de jorro. Anais do XXV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, UFSCar, São Carlos - SP, v. 2, p, 520 - 525. 1997
- SPINELLI, J.; KOURY, B.e MILLER, R. Approaches to the isolation of fish for the preparation of protein isolates: isolation and properties of myofibrillar and sarcoplasmic fish protein. Journal of Food Science, v. 37, n. 4, p. 599 - 603, 1972
- SPINELLI, J.; GRONINGER, H.; KOURY, B. e MILLER, R. Functional protein isolates and derivatives from fish muscle. Process Biochemistry, v. 10, n. 10, p. 31 - 42, 1975.
- SPINELLI, J.; KOURY, B.; GRONINGER, H. e MILLER, R. Expander uses for fish protein from underutilized species, Food Technology, May p.184 - 187, 1977.
- STRUMILLO, C. e KUDRA, T. Drying: Principles applications and design. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1986, 448 p.
- STRUMILLO, C.; MARKOWSKI, A.; KAMINSKI, W. Modern developments in drying of pastelike materials. Advances in Drying. v. 2 MUJUMDAR A. S. (ed). Editora McGraw Hill, p. 193 - 231, 1983.
- STRUMILLO, C.; KAMINSKI, W.; ZBINCINSKI, I. Some Aspects of the drying of protein products. The Chemical Engineering Journal, v. 2, n.58, p.197 - 204,julho, 1995.

- SUZUKI, T. Tecnología de las proteínas de pescado y krill. ed. ACRIBIA, S. A. Zaragoza (España), 1987, 230 p
- TAKEUCHI, T. e WATANABE, T. Effects of various polyunsaturated fatty acids on growth and fatty acid composition of Rainbow trout (*Salmo gairdneri*), Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and Chum salmon (*Oncorhynchus keta*). Bull. Jap. Soc. Fish. v. 48, p. 1745, 1984. In E. GRAHAM BRIGH. Sea Food Science and Technology. ed. Fishing New Books. 1992.
- TARKY, W.; AGARWALA, O. P. e PIGGOT, G. M. Protein hydrolysate from fish waste. Journal of Food Science, v. 38, n. 6, p. 917 - 918, 1973.
- TEJADA, M. e BORDERÍAS, A. J. Productos derivados del *Surimi*. Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos. v. 27, n. 2, p. 161 - 173, 1987.
- TROUT, G.; SCHMIDT, G. Effect of phosphates on the functional properties of restructured beef roll: the role of pH, ionic strength and phosphate type. Journal of Food Science, v. 51, n. 6, p. 1416 - 1423, 1986.
- 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, M., *et alii*. Stable operation conditions for gas-solid contact regimes in conical spouted beds. Ind. Eng. Chem. Res. v.31, p. 1784-1792, 1992.
- UEMAKI, O. e KUGO, M. Heat transfer in spouted bed, Kagaku Kogaku, v. 31, p. 348, 1967. In: MATHUR, K. and EPSTEIN, N. Spouted beds, New York, Academic Press 1974, 303 p.
- VANDERZANT, C., SPLITTSTOESSER. D. F. Compendium of methods for the microbiological examination of foods, 3. ed. Washington: American Public Health Association (APHA), 1992. 1919 p.
- VENUGOPAL, V.; MARTIN, A. M., OMAR, S. e PATEL, T. R. Protein concentrate from Capelin (*Mallotus villosus*) by spray drying process and its properties. Journal of Food Processing and Preservation, v. 18, n. 6, p. 509 - 519, 1994.
- VENUGOPAL, V. Methods for processing and utilization of low cost fishes: a critical appraisal. Journal Food Science Technology (India). v. 32, n. 1, p. 1 - 12. 1995.

- VENUGOPAL, V. e SHAHIDI, F. Value-added products from underutilized fish species. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 35, n. 5, p. 431 - 453, 1995.
- VENUGOPAL, V. e SHAHIDI, F. Structure and composition of fish muscle. *Food Reviews International*, v. 12, n. 2, p. 175 - 197, 1996.
- VENUGOPAL, V.; CHAWLA, S. P. e NAIR, P. M. Spray dried protein powder from threadfin bream: preparation, properties and comparison with FPC type - B. *Journal of Muscle Foods*. v. 7, n. 1, p. 55 - 71, 1996.
- XIONG, Y. Myofibrillar protein from different muscle fiber types: implications of biochemical and functional properties in meat processing. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, v. 34, n. 3, p. 293 - 320, 1994.
- Z.S.K (Zenkoku Surimi Kyokai), Frozen surimi 508 p.1984, In: BODERÍAS, A. J. e TEJADA, M. EL surimi. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, v. 27, n. 1, p. 1 - 14, 1987.
- WHITAKER, J. R. Protein structure functional relationship. *Anais do Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos*. Campinas, 1995.
- YAMAMOTO, T. Reito surimi-to suisan neriseihim. Nippon shokuhin keizai sha co. 1974, In: BODERÍAS, A. J. e TEJADA, M. EL surimi. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, v. 27, n. 1, p. 1 - 14, 1987.
- YU, S. Y. e KAUR, R. Developement of fish biscuits from round scad (*Decarpterus russelli rupp*) *Tropical Science*, v. 32, n. 3, p. 289 - 294, 1992.

APÊNDICE A

Dados experimentais obtidos durante ensaios de evaporação de água destilada para:

$H_o=14,0$ cm $T_{fe}= 110$ °C

Vazão ml/h	Temperatura do Leito °C		
	Q/Q _{jm} 1,4	Q/Q _{jm} 1,3	Q/Q _{jm} 1,2
0,00	109,6	109,0	108,5
67,0	109,3	108,2	106,8
157,2	107,6	104,8	103,7
264,7	105,8	103,6	101,7
409,1	104,1	101,9	100,2
500,0	103,2	100,7	99,1
679,3	99,9	98,9	97,7
800,0	97,2	96,6	95,1
1058,8	95,4	94,1	91,8
1285,7	91,2	90,2	-

$H_o=14,0$ cm $T_{fe}= 100$ °C

Vazão ml/h	Temperatura do Leito °C		
	Q/Q _{jm} 1,4	Q/Q _{jm} 1,3	Q/Q _{jm} 1,2
0,00	99,6	99,1	98,6
67,0	99,2	98,7	97,4
157,2	98,6	97,1	96,4
264,7	97,2	96,4	96,1
409,1	93,0	92,2	91,1
500,0	90,3	89,7	87,6
679,3	87,4	85,3	83,8
800,0	86,2	84,9	80,5
1058,8	80,6	79,1	77,8
1285,7	75,1	73,3	-

Continuação:

 $H_o = 12,0 \text{ cm}$ $T_{fe} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Vazão ml/h	Temperatura do Leito $^\circ\text{C}$		
	Q/Q_{jm} 1,4	Q/Q_{jm} 1,3	Q/Q_{jm} 1,2
0,00	109,8	110,1	110,2
67,0	105,8	104,6	104,1
157,2	104,6	102,5	101,8
264,7	102,3	99,7	97,8
409,1	98,8	97,3	95,5
500,0	97,2	95,0	93,8
679,3	94,3	92,9	90,9
800,0	92,7	91,1	89,3
1058,8	87,3	88,7	-
1285,7	83,8	84,3	-

 $H_o = 12,0 \text{ cm}$ $T_{fe} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Vazão ml/h	Temperatura do Leito $^\circ\text{C}$		
	Q/Q_{jm} 1,4	Q/Q_{jm} 1,3	Q/Q_{jm} 1,2
0,00	99,0	100,2	100,0
67,0	96,8	96,4	95,1
157,2	95,9	95,	93,6
264,7	93,1	92,5	90,1
409,1	89,7	87,9	86,3
500,0	86,4	83,6	80,4
679,3	82,4	80,2	
800,0	78,3		

Continuação:

$H_o = 10,0 \text{ cm}$ $T_{fe} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Vazão ml/h	Temperatura do Leito °C		
	Q/Q_{jm} 1,5	Q/Q_{jm} 1,4	Q/Q_{jm} 1,3
0,00	109,7	110,5	109,5
67,0	103,8	102,2	101,8
157,2	101,0	98,6	96,7
264,7	97,4	98,2	95,1
409,1	95,0	92,0	89,5
500,0	93,6	89,7	82,2
679,3	90,2	85,8	80,3

$H_o = 10,0 \text{ cm}$ $T_{fe} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Vazão ml/h	Temperatura do Leito °C		
	Q/Q_{jm} 1,5	Q/Q_{jm} 1,4	Q/Q_{jm} 1,3
0,00	99,6	100,0	99,8
67,0	95,3	94,6	93,6
157,2	93,8	91,3	90,2
264,7	89,8	85,3	83,3
409,1	86,6	82,9	80,1
500,0	81,6	77,6	

Continuação:

 $H_o = 14,0 \text{ cm}$ $T_{fe} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Vazão ml/h	Temperatura do ar de saída °C		
	Q/Q _{jm} 1,4	Q/Q _{jm} 1,3	Q/Q _{jm} 1,2
0,00	105,5	104,2	102,8
67,0	104,2	103,1	101,6
157,2	102,2	101,6	100,0
264,7	99,7	99,2	98,5
409,1	97,8	97,3	96,3
500,0	95,8	95,1	94,4
679,3	94,1	93,8	92,1
800,0	93,7	92,9	91,8
1058,8	92,6	90,3	89,1
1285,7	88,7	87,8	-

 $H_o = 14,0 \text{ cm}$ $T_{fe} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Vazão ml/h	Temperatura do ar de saída °C		
	Q/Q _{jm} 1,4	Q/Q _{jm} 1,3	Q/Q _{jm} 1,2
0,00	98,7	97,0	95,0
67,0	97,9	96,6	94,0
157,2	95,3	93,8	93,3
264,7	94,3	93,0	92,1
409,1	92,4	90,1	87,9
500,0	88,3	87,9	83,8
679,3	86,7	84,3	80,7
800,0	82,1	80,3	76,9
1058,8	76,3	76,4	73,8
1285,7	73,3	72,8	-

Continuação:

$H_o = 12,0 \text{ cm}$ $T_{fe} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Vazão ml/h	Temperatura do ar de saída °C		
	Q/Q _{jm} 1,4	Q/Q _{jm} 1,3	Q/Q _{jm} 1,2
0,00	104,3	104,0	102,1
67,0	101,8	100,4	99,7
157,2	100,4	97,8	96,5
264,7	98,3	95,7	94,3
409,1	95,6	91,3	89,8
500,0	92,8	88,7	86,7
679,3	89,3	85,6	83,0
800,0	86,1	83,7	81,7
1058,8	83,4	82,0	-
1285,7	82,6	81,8	-

$H_o = 12,0 \text{ cm}$ $T_{fe} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Vazão ml/h	Temperatura do ar de saída °C		
	Q/Q _{jm} 1,4	Q/Q _{jm} 1,3	Q/Q _{jm} 1,2
0,00	95,6	95,0	94,6
67,0	93,7	92,6	91,4
157,2	91,2	90,3	89,7
264,7	88,1	86,8	86,0
409,1	81,5	77,8	75,8
500,0	78,1	74,7	72,6
679,3	76,2	72,1	-
800,0	74,6	-	-

Continuação:

$H_o = 10,0 \text{ cm}$ $T_{fe} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

Vazão ml/h	Temperatura do ar de saída °C		
	Q/Q_{jm} 1,5	Q/Q_{jm} 1,4	Q/Q_{jm} 1,3
0,00	105,1	104,2	102,3
67,0	98,7	97,2	96,5
157,2	94,3	93,2	92,4
264,7	90,1	88,8	87,5
409,1	86,5	83,4	81,6
500,0	84,2	82,1	79,8
679,3	81,7	79,8	77,6

$H_o = 10,0 \text{ cm}$ $T_{fe} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Vazão ml/h	Temperatura do ar de saída °C		
	Q/Q_{jm} 1,5	Q/Q_{jm} 1,4	Q/Q_{jm} 1,3
0,00	95,3	94,2	93,7
67,0	90,3	89,9	87,7
157,2	84,7	83,5	82,2
264,7	80,7	78,3	76,5
409,1	75,5	72,3	70,6
500,0	71,7	67,6	-

APÊNDICE B

Dados experimentais obtidos durante ensaios de secagem das suspensões para:

Umidade do pó da suspensão I para diferentes valores de T_{fs} e W_S com $H_o = 10,0$ cm.

T_{fs} (°C)	70	75	80
W_S (ml/h)	Umidade do pó (% b.u.)		
250	11,07	9,09	7,04
300	11,14	9,72	8,75
350	11,58	9,94	9,39
400	13,65	10,07	10,47

Umidade do pó da suspensão I para diferentes valores de T_{fs} e W_S com $H_o = 12$ cm.

T_{fs} (°C)	70	75	80
W_S (ml/h)	Umidade do pó (% b.u.)		
250	8,57	9,00	6,75
300	9,87	9,41	8,05
350	10,26	9,83	8,22
400	10,75	10,28	9,60

Umidade do pó da suspensão I para diferentes valores de T_{fs} e W_S com $H_o = 14$ cm.

T_{fs} (°C)	70	75	80
W_S (ml/h)	Umidade do pó (% b.u.)		
250	5,58	5,13	4,56
300	6,58	5,43	4,83
350	7,35	5,85	5,47
400	8,05	6,55	6,60

Continuação:

Umidade do pó da suspensão II para diferentes valores de T_{fs} e W_S com $H_o = 10$ cm.

T_{fs} (°C)	70	75	80
W_S (ml/h)	Umidade do pó (% b.u.)		
250	11,12	9,88	8,11
300	11,71	10,29	9,15
350	12,08	11,32	10,11
400	13,76	12,58	11,0

Umidade do pó da suspensão II para diferentes valores de T_{fs} e W_S com $H_o = 12$ cm.

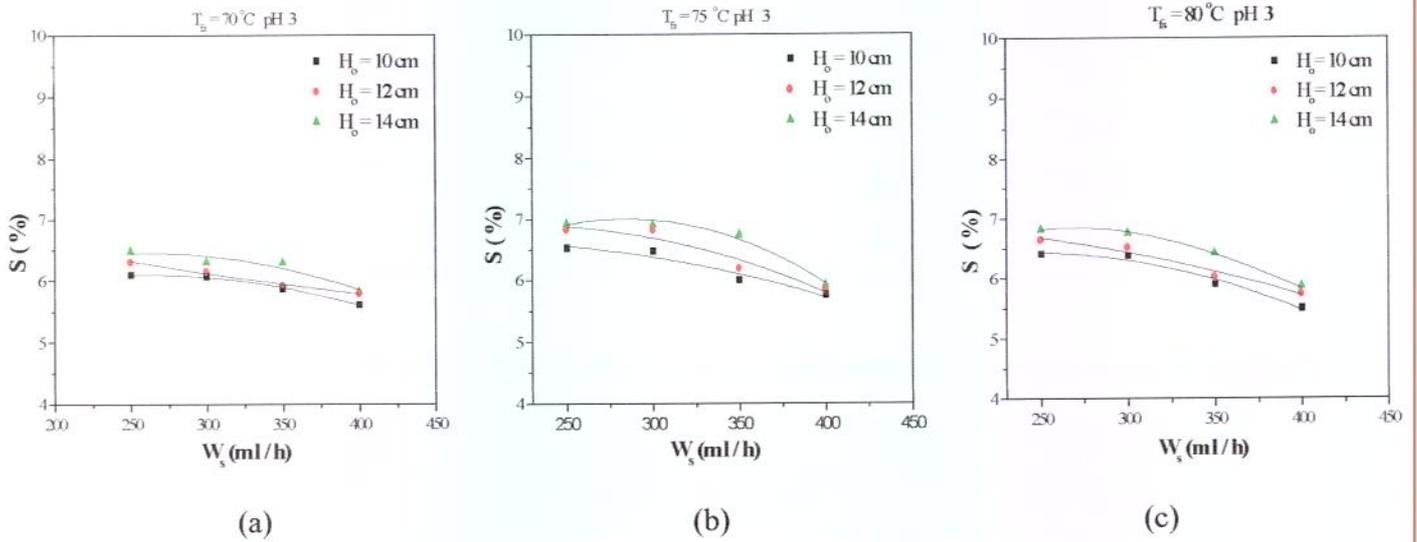
T_{fs} (°C)	70	75	80
W_S (ml/h)	Umidade do pó (% b.u.)		
250	9,10	8,44	7,29
300	10,08	9,74	8,17
350	11,45	10,06	8,91
400	12,34	10,44	9,81

Umidade do pó da suspensão II para diferentes valores de T_{fs} e W_S com $H_o = 14$ cm.

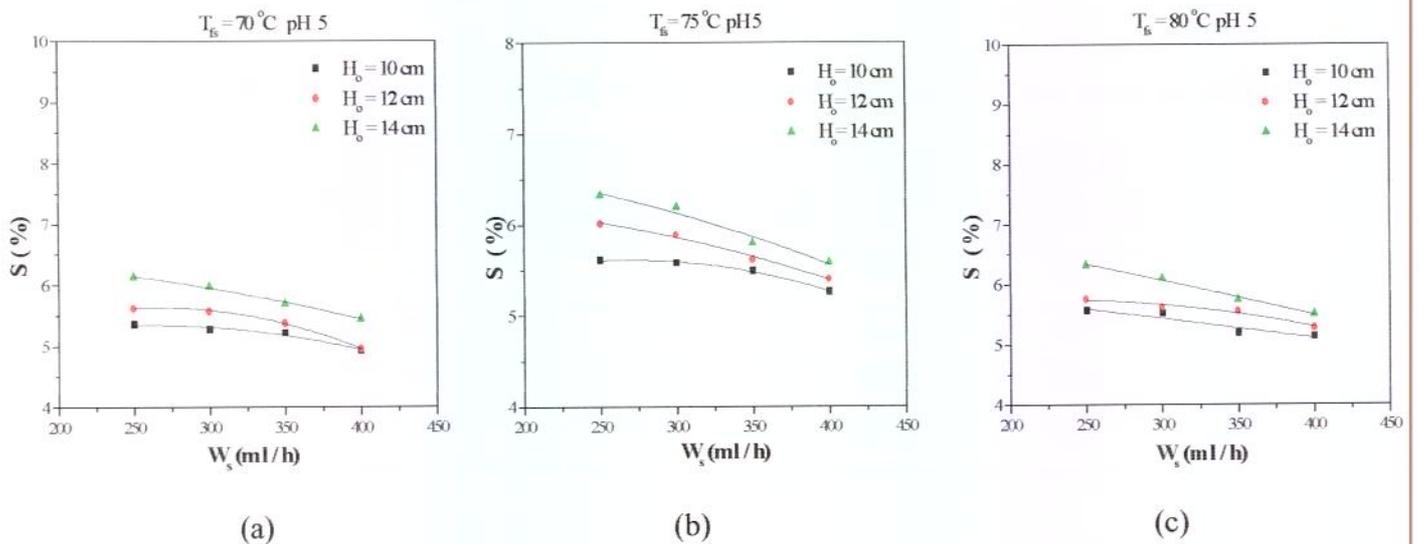
T_{fs} (°C)	70	75	80
W_S (ml/h)	Umidade do pó (% b.u.)		
250	7,05	6,02	5,18
300	8,12	6,32	5,80
350	8,54	6,88	6,10
400	9,78	7,08	6,73

APÊNDICE C

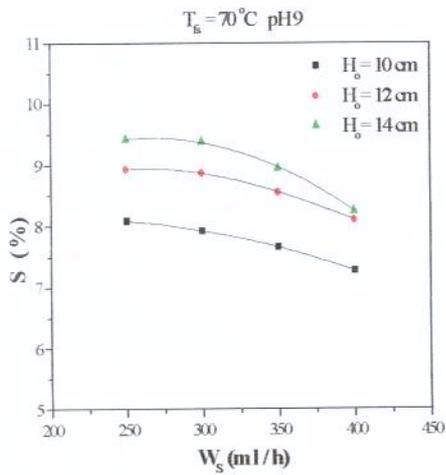
Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado.



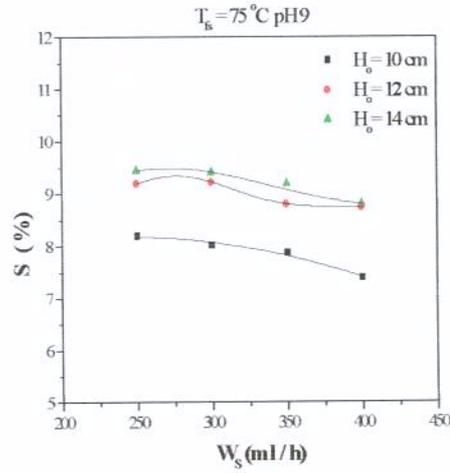
Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado usando a suspensão I



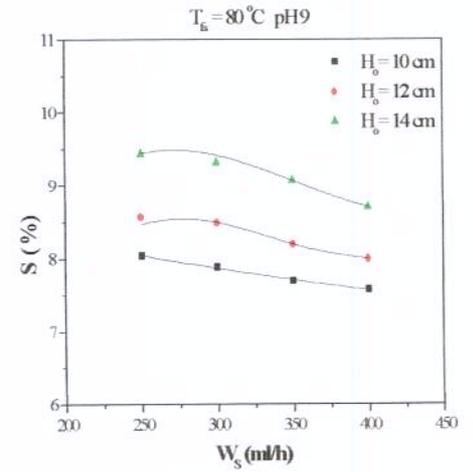
Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado usando a suspensão I



(a)

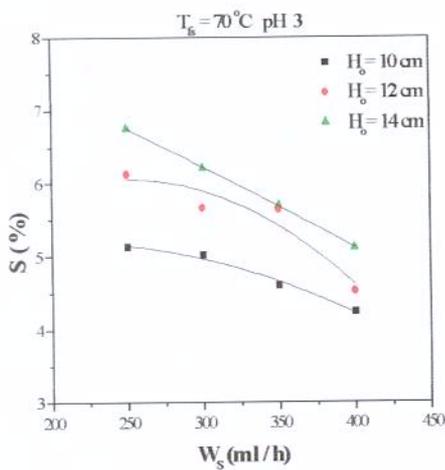


(b)

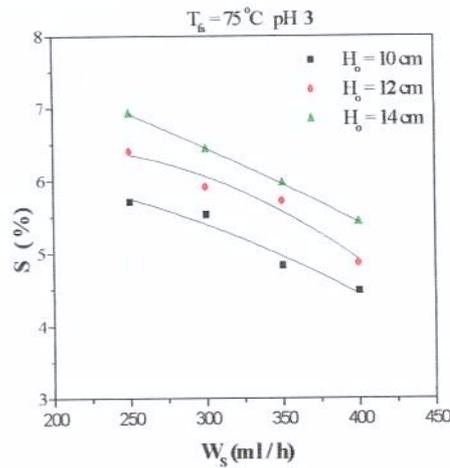


(c)

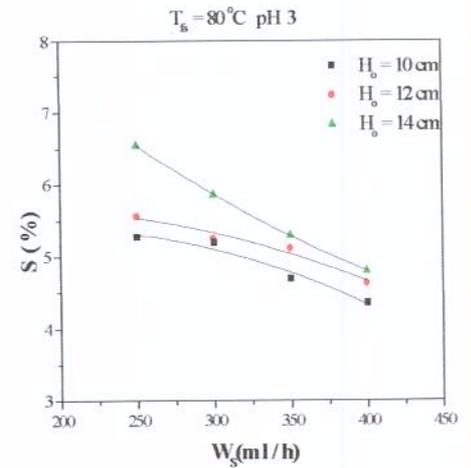
Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado usando a suspensão I.



(a)

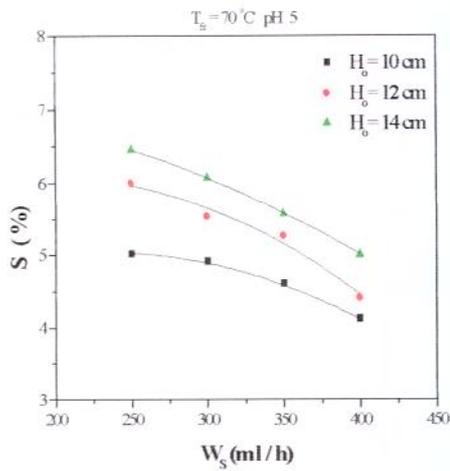


(b)

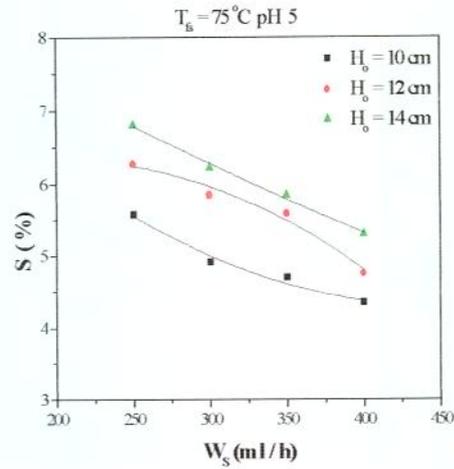


(c)

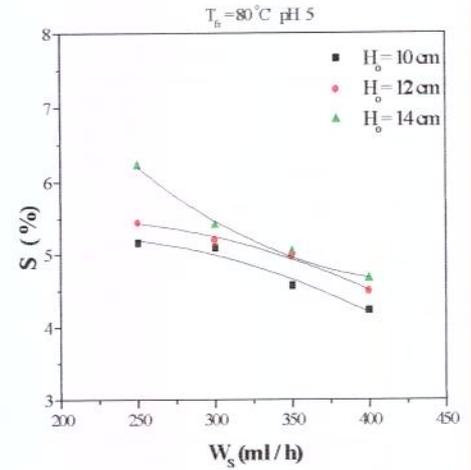
Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado usando a suspensão II.



(a)

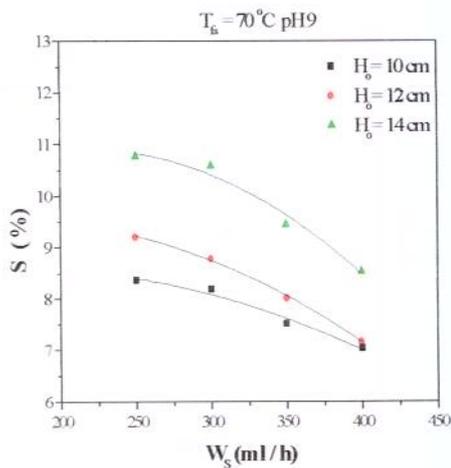


(b)

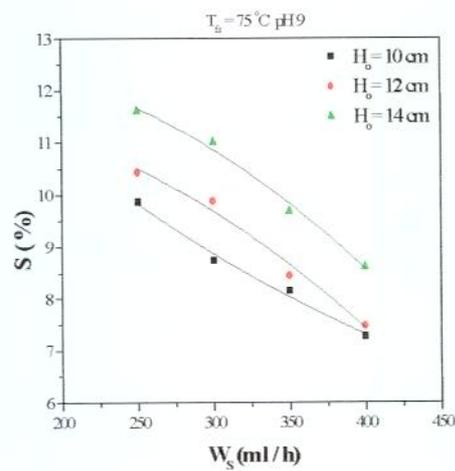


(c)

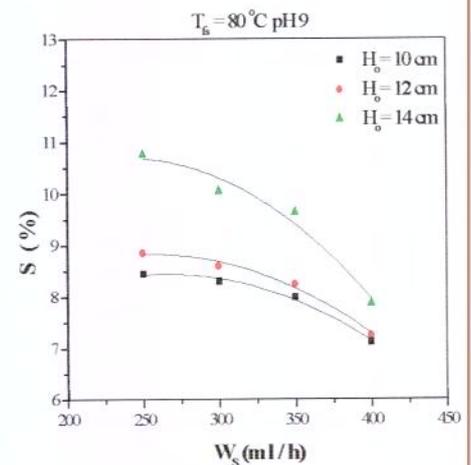
Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado usando a suspensão II.



(a)



(b)



(c)

Efeito das variáveis de operação sobre a solubilidade do produto desidratado usando a suspensão II.