

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO “STRICTO SENSU” EM
ENGENHARIA QUÍMICA – NÍVEL DE MESTRADO

**ESTUDO DA SECAGEM POR ASPERSÃO DE HIDROLISADOS PROTEICOS
OBTIDOS A PARTIR DE COPRODUTOS DO ABATE DE SUÍNOS (*Sus
scrofa domestica*) E TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

JÚLIO CÉSAR ADAMS HAAB

TOLEDO – PR – BRASIL

2017

JÚLIO CÉSAR ADAMS HAAB

**ESTUDO DA SECAGEM POR ASPERSÃO DE HIDROLISADOS PROTEICOS
OBTIDOS A PARTIR DE COPRODUTOS DO ABATE DE SUÍNOS (*Sus
scrofa domesticus*) E TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, área de concentração em **Desenvolvimento de Processos.**

Orientador: Prof. Dr. Edson Antônio da Silva

Co-orientadora: Prof. Dra. Melissa G. A. Vieira

TOLEDO – PR – BRASIL

2017

“Come gather 'round people, wherever you roam
And admit that the waters around you have grown
And accept it that soon you'll be drenched to the bone
If your time to you is worth savin'
Then tou better start swimmin' or you'll sink like a stone
For the times they are a-changin'.”

BOB DYLAN

DEDICATÓRIA

Ao meu saudoso pai, Professor Ivo.

À minha mãe Edi.

Aos meus irmãos Heitor e Edimara.

À minha esposa Tatiana.

A meu pequeno Alonso.

Meu amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo amor, dedicação e rigor em minha criação e educação. Que minha mãe ainda me acompanhe por muitos anos neste plano. Que meu pai olhe por mim do plano superior.

Aos meus irmãos Heitor e Edimara pelas boas influências. Que ainda possamos assistir a muitos concertos de *rock* juntos.

À minha esposa Tatiana pelo amor e apoio incondicionais durante todo este processo. Que nossa cumplicidade perdure por muitos anos.

A meu filho Alonso que, quando iniciei este mestrado, ainda era um desejo. Tornou-se real durante o caminho. Uma bênção sem precedentes. Não há amor maior.

Aos meus bons amigos Leandro e Fabiana. Sem eles eu não voltaria a Toledo. E o resto é história.

A Falbom Agroindustrial Ltda. pelo apoio à pesquisa.

Ao Dr. Edson Antonio da Silva por me orientar neste trabalho e pela paciência sem fim.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UNIOESTE pela oportunidade de voltar à universidade.

A Dra. Melissa Gurgel Adeodato Vieira pela co-orientação e apoio nos ensaios realizados no LRAC – FEQ UNICAMP.

Ao Dr. Ilton Baraldi pela excelente recepção e cessão dos laboratórios da UTFPR Medianeira.

À amiga e colega de graduação Gracielle Johann pela colaboração na compilação de dados e elaboração do artigo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão desta etapa de minha vida.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. A indústria de nutrição para pequenos animais.....	3
2.2. O processo de hidrólise enzimática de coprodutos de abate...3	
2.3. O processo de secagem por aspersão.....	4
2.3.1. Definições.....	4
2.3.2. Câmara de secagem.....	6
2.3.3. Sistema de aquecimento e distribuição de ar.....	7
2.3.4. Sistema de alimentação de fluido.....	8
2.3.5. Atomizador.....	9
2.3.6. Sistema de separação de pó.....	10
2.3.7. Sistema de transporte pneumático e resfriamento de ar.....	10
2.3.8. Sistema de adição de sílica.....	10
2.3.9. Sistema de autolimpeza (CIP).....	10
2.3.10. Silo de produto.....	11
2.3.11. Peneira vibratória.....	11
2.3.12. Empacotadora.....	11
2.4. Atividade de água (a_w).....	11
2.5. Isotermas de sorção.....	12
2.5.1. Modelo de Langmuir.....	14
2.5.2. Modelo de BET.....	14
2.5.3. Modelo de Chung e Pfof.....	15
2.5.4. Modelo de GAB.....	16
2.6. Morfologia das Partículas.....	16
2.7. Considerações a respeito da revisão bibliográfica.....	17
2.8. Secagem por aspersão de produtos proteicos.....	20
2.9. Fatores que interferem na secagem <i>spray dryer</i>	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24

3.1.	Matérias primas dos hidrolisados proteicos.....	24
3.1.1.	Hidrolisado proteico de fígado suíno.....	24
3.1.2.	Hidrolisado proteico de coprodutos de tilápia.....	24
3.2.	Produção dos hidrolisados proteicos.....	24
3.2.1.	Hidrolisado proteico de fígado suíno.....	24
3.2.2.	Hidrolisado proteico de coprodutos de tilápia.....	25
3.3.	Secagem dos hidrolisados em <i>spray dryer</i>	25
3.4.	Planejamento experimental.....	26
3.5.	Caracterização dos materiais secos.....	27
3.5.1.	Determinação da umidade.....	27
3.5.2.	Determinação do teor de proteína.....	28
3.5.3.	Determinação do diâmetro médio de partícula.....	29
3.5.4.	Isotermas de sorção.....	30
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1.	Hidrolisado de fígado suíno.....	33
4.1.1.	Planejamento experimental para o resultado de umidade.....	34
4.1.2.	Planejamento experimental para o resultado de proteína	39
4.1.3.	Planejamento experimental para o resultado de diâmetro médio de partícula.....	43
4.2.	Hidrolisado de tilápia.....	50
4.2.1.	Planejamento experimental para o resultado de umidade.....	51
4.2.2.	Planejamento experimental para o resultado de proteína.....	57
4.3.	Isotermas de sorção.....	61
5.	CONCLUSÕES.....	73
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Spray dryer de dois estágios (RM Indústria de Máquinas Refrigeráticas, 2014)	6
Figura 2 - Atomizador de disco rotativo (RM Indústria de Máquinas Refrigeráticas, 2014)	9
Figura 3 - Umidade de equilíbrio para alguns materiais alimentícios a 25 °C (GEANKOPLIS, 1993). Legenda: 1 – Macarrão; 2 – Farinha; 3 – Pão; 4 – Biscoito; 5 - Albumina de ovo.	12
Figura 4 - Isotermas de adsorção (a) e dessorção (b) a 35 °C para iogurte desidratado em spray dryer (STENCL, 2007).	13
Figura 5 - Fluxograma de produção dos hidrolisados proteicos desidratados.	19
Figura 6 - (a) Equipamento DVS 02 da Surface Measurement Systems; (b) Esquema de funcionamento do equipamento	31
Figura 7 - Gráfico de Pareto: resposta umidade fígado suíno	35
Figura 8 - Probabilidade normal dos coprodutos: resposta umidade fígado suíno	37
Figura 9 - Superfície de resposta: resposta umidade fígado suíno	38
Figura 10 - Superfície de contorno: resposta umidade fígado suíno	38
Figura 11 - Gráfico de Pareto: resposta proteína fígado suíno	40
Figura 12 - Probabilidade normal dos coprodutos: resposta proteína fígado suíno	42
Figura 13 - Superfície de resposta: resposta proteína fígado suíno	42
Figura 14 - Superfície de contorno: resposta proteína fígado suíno	43
Figura 15 - Resultado da análise de diâmetro de partícula do hidrolisado de fígado suíno	45
Figura 16 - Gráfico de Pareto: resposta diâmetro médio fígado suíno	46
Figura 17 - Probabilidade normal dos coprodutos: resposta diâmetro médio fígado suíno	48
Figura 18 - Superfície de resposta: resposta diâmetro médio fígado suíno	49
Figura 19 - Superfície de contorno: resposta diâmetro médio fígado suíno	49
Figura 20 - Gráfico de Pareto: resposta umidade tilápia	53
Figura 21 - Probabilidade normal dos coprodutos: resposta umidade tilápia	55
Figura 22 - Superfície de resposta: resposta umidade tilápia	55
Figura 23 - Superfície de contorno: resposta umidade tilápia	56
Figura 24 - Gráfico de Pareto: resposta proteína tilápia	58
Figura 25 - Probabilidade normal dos coprodutos: resposta proteína tilápia	60
Figura 26 - Superfície de resposta: resposta proteína tilápia	60
Figura 27 - Superfície de contorno: resposta proteína tilápia	61
Figura 28 - Isoterma de sorção para fígado suíno (T=20 °C)	62
Figura 29 - Isoterma de sorção para fígado suíno (T=35 °C)	63
Figura 30 - Isoterma de sorção para fígado suíno (T=50 °C)	64
Figura 31 - Isoterma de sorção para tilápia (T=20 °C)	65
Figura 32 - Isoterma de sorção para tilápia (T=35 °C)	66
Figura 33 - Isoterma de sorção para tilápia (T=50 °C)	67
Figura 34 - Ajuste dos modelos da Tabela 3 aos dados experimentais de equilíbrio para o hidrolisado de fígado suíno – (a) 20 °C; (b) 35 °C; (c) 50 °C	71
Figura 35 - Ajuste dos modelos da Tabela 3 aos dados experimentais de equilíbrio para o hidrolisado de tilápia – (a) 20 °C; (b) 35 °C; (c) 50 °C	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alterações em bioprodutos durante a secagem (STRUMILLO et al., 1995).	21
Tabela 2 - Planejamento experimental codificado	27
Tabela 3 - Modelos de adsorção empregados na modelagem das isotermas de equilíbrio.....	32
Tabela 4 - Resultados de umidade, proteína bruta e diâmetro médio para fígado suíno	33
Tabela 5 - Planejamento codificado estrela para duas variáveis codificadas: resposta umidade	34
Tabela 6 - Estimativa dos efeitos: resposta umidade fígado suíno	35
Tabela 7 - ANOVA: resposta umidade.....	36
Tabela 8 - Planejamento codificado estrela para duas variáveis codificadas: resposta proteína fígado suíno	39
Tabela 9 - Estimativa dos efeitos: resposta proteína fígado suíno.....	40
Tabela 10 - ANOVA: resposta proteína fígado suíno	41
Tabela 11 - Resultados para diâmetro médio de partícula – fígado suíno.....	44
Tabela 12 - Planejamento codificado estrela para duas variáveis codificadas: resposta diâmetro médio de partícula	45
Tabela 13 - Estimativa dos efeitos: resposta diâmetro médio de partícula.....	46
Tabela 14 - ANOVA: resposta diâmetro médio	47
Tabela 15 - Resultados de umidade e proteína bruta para tilápia.....	50
Tabela 16 - Planejamento codificado estrela para duas variáveis codificadas: resposta	51
Tabela 17 - Estimativa dos efeitos: resposta umidade tilápia	52
Tabela 18 - ANOVA: resposta umidade tilápia	53
Tabela 19 - Planejamento codificado estrela para duas variáveis codificadas: resposta proteína tilápia.....	57
Tabela 20 - Estimativa dos efeitos: resposta proteína tilápia	58
Tabela 21 - ANOVA: resposta proteína tilápia.....	59
Tabela 22 - Dados da isoterma de sorção para fígado suíno (T=20 °C).....	62
Tabela 23 - Dados da isoterma de sorção para fígado suíno (T=35 °C).....	63
Tabela 24 - Dados da isoterma de sorção para fígado suíno (T=50 °C).....	64
Tabela 25 - Dados da isoterma de sorção para tilápia (T=20 °C)	65
Tabela 26 - Dados da isoterma de sorção para tilápia (T=35 °C)	66
Tabela 27 - Dados da isoterma de sorção para tilápia (T=50 °C)	67
Tabela 28 - Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de sorção do hidrolisado de fígado suíno	68
Tabela 29 - Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de sorção do hidrolisado de tilápia.....	68
Tabela 30 - Avaliação estatística dos ajustes dos modelos aos dados experimentais de isotermas de sorção do hidrolisado de fígado suíno	68
Tabela 31 - Avaliação estatística dos ajustes dos modelos aos dados experimentais de isotermas de sorção do hidrolisado de tilápia.....	69

**ESTUDO DA SECAGEM POR ASPERSÃO DE HIDROLISADOS PROTEICOS
OBTIDOS A PARTIR DE COPRODUTOS DO ABATE DE SUÍNOS (*Sus
scrofa domestica*) E TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

AUTOR: JÚLIO CÉSAR ADAMS HAAB

ORIENTADOR: PROF. DR. EDSON ANTÔNIO DA SILVA

CO-ORIENTADORA: PROF. DRA. MELISSA GURGEL ADEODATO VIEIRA

Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química; Universidade Estadual do Oeste do Paraná; Rua da Faculdade, 645; CEP: 85903-000; Toledo – PR, Brasil.

RESUMO

Os grandes volumes de coprodutos gerados a partir do abate de animais têm levado ao surgimento de novos métodos e processos para o tratamento e aproveitamento de tais coprodutos, que passam a ser chamados coprodutos, levando a novas fontes de receitas, preservação do meio-ambiente e evolução no atendimento às exigentes legislações ambientais. Neste contexto, novas tecnologias e processos para a produção de subprodutos vêm sendo desenvolvidos e disponibilizados para empresas de pequeno porte que, de modo geral, não procedem ao aproveitamento destes coprodutos, desta forma proporcionando a utilização da matéria prima em sua totalidade. O objetivo deste trabalho foi o de realizar estudos científicos na área de processamento de coprodutos de origem animal para a produção de hidrolisados proteicos desidratados, que possuam característica nutricional e palatável, visando o emprego em rações animais. Foram utilizados fígado de suínos (*Sus scrofa domestica*) e coprodutos do abate de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), submetidos a um processo de hidrólise enzimática empregando a protease de *Bacillus licheniformis* (ALCALASE®) e posterior processo de secagem por aspersão (*spray dryer*). Foi executado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) 2² com quatro pontos axiais e foram definidos como fatores a temperatura de entrada do ar de secagem (Te em °C) e a razão entre as vazões de alimentação de produto líquido ao secador e ar de secagem (Qp/Qar). As

variáveis resposta avaliadas foram os teores de umidade (%), proteína bruta (%) e diâmetro médio de partícula. O estudo estatístico mostrou que o menor resultado para umidade (6,79%) de hidrolisado de fígado suíno foi obtido em alta temperatura ($T_e = 173\text{ °C}$) e com vazões mais elevadas de produto e ar ($Q_p/Q_a = 0,000207$). Já o maior teor de proteína (72%) foi obtido em temperatura mais baixa ($T_e=137\text{ °C}$), mas na mesma razão Q_p/Q_a que propiciou a umidade mais baixa. O menor diâmetro médio de partícula ($D=18,18\text{ }\mu\text{m}$) foi resultado da combinação de $T_e=155\text{ °C}$ (ponto central) com as vazões máximas de produto e ar ($Q_p/Q_a=0,000217$). Para o hidrolisado de tilápia, o menor teor de umidade (9,68%) também foi obtido em $T_e=173\text{ °C}$, porém com vazões mais baixas de produto e ar ($Q_p/Q_a=0,000188$). O maior resultado para proteína (86,15%) foi obtido da combinação da temperatura mais alta do estudo (180 °C) com as vazões do ponto central ($Q_p/Q_a=0,000206$). Não foi possível avaliar o diâmetro médio das partículas do hidrolisado de tilápia, pois as amostras estavam fora da faixa de análise do equipamento Mastersizer. As isotermas foram ajustadas para quatro modelos (Langmuir, BET, Chung e Pfof e GAB) em três temperaturas (20, 35 e 50 °C), sendo que os melhores resultados para ambos os hidrolisados foram obtidos pelo modelo de Chung e Pfof, com $R^2=0,984$ para fígado suíno e $R^2=0,967$ para tilápia. Os produtos obtidos têm alto valor nutricional para serem utilizados em compostos para alimentação animal que venham a contribuir de maneira significativa para o aprimoramento e desenvolvimento de novos produtos com aplicação industrial, propiciando um destino ambientalmente limpo aos coprodutos dos abatedouros que fornecerão esta matéria prima, gerando um produto final de alto valor agregado e possibilitando a geração de novas fontes de renda.

Palavras-chave: coprodutos, abate de animais, fígado suíno, Tilápia do Nilo, alimentação animal, *spray dryer*, hidrolisado proteico.

**STUDY OF SPRAY DRIED HYDROLYSATE PROTEINS OBTAINED FROM
SWINE (*Sus scrofa domesticus*) AND NILE TILAPIA (*Oreochromis
niloticus*) SLAUGHTERING BY-PRODUCTS**

AUTHOR: JÚLIO CÉSAR ADAMS HAAB

SUPERVISOR: PROF. DR. EDSON ANTÔNIO DA SILVA

CO-SUPERVISOR: PROF. DRA. MELISSA GURGEL ADEODATO VIEIRA

Master Thesis; Chemical Engineering Postgraduate Program; Western Paraná State University; Rua da Faculdade, 645; CEP: 85903-000; Toledo – PR, Brazil.

ABSTRACT

The large volumes of waste generated from the slaughter of animals have led to the emergence of new methods and processes for the treatment and use of such waste, now called by-product, leading to new sources of revenue, preservation of the environment and development in meeting the demanding environmental laws. In this context, new technologies and processes for the production of by-products have been developed and made available to small businesses that, in general, do not proceed to the use of this waste, and so providing the use of the raw material in its entirety. The main goal of this work was to perform scientific studies in the animal slaughtering waste processing field, producing dehydrated protein hydrolysates with palatability and nutritional characteristics, seeking employment as animal feed. Swine liver (*Sus scrofa domesticus*) and slaughtering by-products of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) were used and subjected to an enzymatic hydrolysis process using the protease from *Bacillus licheniformis* (ALCALASE®) and subsequent spray drying process. A central composite non-factorial surface design 2^2 with four axial points was executed and inlet drying air temperature (T_e in °C) and the ratio between liquid product feed and dryig air feed (Q_p/Q_{ar}) were defined as factors. Response variables evaluated were moisture content (%), crude protein (%) and particle

diameter (μm). The statistical study showed that the lower result for moisture (6,79%) for pork liver hydrolysate was obtained at high inlet air temperature ($T_e = 173\text{ }^\circ\text{C}$) and with higher fluxes of liquid product and air ($Q_p/Q_{ar} = 0,000207$). The higher content for protein (72%) was obtained at a lower inlet temperature ($T_e=137\text{ }^\circ\text{C}$), but with the same ratio that provided the lower result for moisture. The smallest particle diameter ($D=18,18\text{ }\mu\text{m}$) resulted from the combination of central point temperature ($T_e=155\text{ }^\circ\text{C}$) with the highest fluxes of product feed and air ($Q_p/Q_{ar}=0,000217$). For the tilapia hydrolysate, the lower moisture content (9,68%) was also obtained with $T_e=173\text{ }^\circ\text{C}$, but with lower air and product feeds ($Q_p/Q_{ar}=0,000188$). The highest crude protein content (86,15%) resulted from the highest temperature ($180\text{ }^\circ\text{C}$) associated with central point fluxes ($Q_p/Q_{ar}=0,000206$). It was not possible to evaluate particle diameter for the tilapia samples, once they were out of the Mastersizer equipment range. The isotherms were adjusted for four models (Langmuir, BET, Chung & Pfoest e GAB) at three temperatures (20, 35 e $50\text{ }^\circ\text{C}$), being the best results for both hydrolysates obtained with the Chung & Pfoest model, with $R^2=0,984$ for swine liver and $R^2=0,967$ for tilapia. The product obtained is a high nutritional product for use in animal feed compounds that may contribute significantly to the upgrading and development of new products with industrial applications, providing an environmentally clean destination to the waste of the slaughterhouses, generating a final product of high aggregate value and enabling the generation of new sources of revenue.

Keywords: by-product, slaughter of animals, swine liver, Nile Tilapia, animal feed, spray dryer, protein hydrolysate.

1. INTRODUÇÃO

A geração de grandes volumes de coprodutos provenientes do abate de animais tem levado ao desenvolvimento de novos processos para o tratamento e o aproveitamento destes coprodutos, gerando novas fontes de receitas, preservando o meio-ambiente e evoluindo no atendimento às legislações ambientais, cada vez mais exigentes. Assim, o desenvolvimento de tecnologias e processos para a produção de subprodutos e sua disponibilidade para empresas de pequeno porte onde, frequentemente, o aproveitamento dos coprodutos não é realizado, proporciona maior utilização da matéria prima até o produto final (MAIA, 1998).

A região oeste do Estado do Paraná, em particular, devido a sua alta produção agropecuária, é potencial geradora de coprodutos provenientes do abate de animais. É forte a presença de grandes complexos agroindustriais fomentadores e abatedores de, principalmente, suínos e aves. Seguindo esta linha, nas últimas décadas, a produção de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) vem ganhando destaque e, conseqüentemente, gerando grandes volumes de coprodutos. Como o aproveitamento comercial do animal se resume basicamente ao filé – e, em poucos casos, ao CMS (carne mecanicamente separada) – todo o restante (cabeça, espinhaço, cauda e vísceras) é descartado ou destinado à produção de farinhas.

O Paraná foi o primeiro estado brasileiro a organizar a tilapicultura, implantando frigoríficos especializados, com destaque aos municípios de Toledo e Assis Chateaubriand. O estado tornou-se, rapidamente, o maior produtor da espécie, sendo superado pelo Ceará em 2003. Estima-se que de 1996 a 2005, a produção nacional de tilápias cresceu 23% ao ano (JÚNIOR & JÚNIOR, 2008). Em 2011, a produção brasileira foi de 254 mil toneladas (ANDRADE, 2015).

O cenário para a carne suína é similar, mas com proporções ainda maiores. O Paraná, em especial o oeste do estado, é grande produtor de carne suína. Segundo Filho, Talamani e Martins (2011), a região sul do Brasil concentra 49% do rebanho, 60% das matrizes, 69% dos abates e 83% das exportações. A produção brasileira estimada para 2015 é de 3.524 mil toneladas. Deste total, apenas 520 mil toneladas devem ser exportadas. O restante fica destinado ao

mercado interno, que tem um consumo *per capita* projetado para 2015 de 14,67 kg (ABPA, 2014).

Neste contexto, este estudo é relevante no aprimoramento tecnológico, que visa aumentar a competitividade comercial pela geração de um produto de qualidade diferenciada que atenda ao mercado de nutrientes para pequenos animais. Este desenvolvimento buscará ampliar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico, criando um novo patamar de qualidade e excelência nos produtos desenvolvidos. A obtenção de produtos de alta qualidade a custos reduzidos permitirá uma maior competitividade do setor. O trabalho é, também, relevante no que tange ao máximo aproveitamento de coprodutos agroindustriais e em sua aplicabilidade para a produção em escala industrial de produtos direcionados à nutrição animal. O processo também é interessante sob o aspecto de que a secagem por aspersão promove a diminuição dos volumes dos produtos hidrolisados, o que resulta na redução dos custos de armazenamento e transporte e a redução da atividade de água que, conseqüentemente, reduz os riscos de contaminação e aumenta a vida de prateleira.

O objetivo geral deste trabalho foi produzir concentrados proteicos desidratados de fígado suíno e de coproduto do abate de tilápias por hidrólise enzimática e secagem em *spray dryer* e avaliar a influência dos parâmetros temperatura do ar de secagem e razão entre as vazões de alimentação do produto líquido e ar de secagem nas propriedades umidade, teor de proteína e tamanho de partícula. Adicionalmente foram construídas as isotermas de adsorção dos produtos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A indústria de nutrição para pequenos animais

Cada vez mais considerados como integrantes das famílias, os animais de companhia recebem crescente atenção de seus donos, com acessórios, cuidados médicos e, principalmente, alimentação de primeira qualidade. Segmento mais forte desta cadeia industrial e responsável por mais de 50% de todo o seu faturamento, a indústria de nutrição animal (ou *pet food*) cresce a passos largos, na contramão da crise. Em 2014, foram produzidas 2,3 milhões de toneladas de alimentos para pequenos animais e o Brasil faturou, no total do segmento, 16,6 bilhões de reais. São, aproximadamente, 106 milhões de animais domésticos no país, com destaque para cães e gatos, que somam 58 milhões. Visando este mercado, 80% dos fabricantes nacionais de alimentos para pequenos animais investem em novos produtos (FONTE: SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA, SETEMBRO DE 2015).

Logo, a demanda por ingredientes mais elaborados e com maior tecnologia embarcada cresce na mesma proporção. Neste contexto, o melhor aproveitamento de coprodutos do abate de animais de corte ganha destaque. A melhoria no processamento de coprodutos oriundos de frigoríficos transforma o que antes era descartado em produtos nobres e de alto valor agregado.

2.2. O processo de hidrólise enzimática de coprodutos de abate

Os hidrolisados proteicos são produtos líquidos obtidos por meio da ação de enzimas proteolíticas (MACKIE, 1982) ou por agentes químicos, sendo constituídos por peptídeos de diferentes tamanhos (poli, tri e dipeptídeos) e aminoácidos livres de grande influência no sabor dos alimentos (KRISTINSSON & RASCO, 2000). O processo de obtenção de hidrolisado por via enzimática apresenta vantagens relacionadas às características intrínsecas das enzimas, como seletividade de substratos, realização de processos em condições térmicas menos drásticas e facilmente controláveis. Estas condições minimizam o desenvolvimento de reações deteriorantes secundárias, mantendo o valor nutritivo do produto (GUADIX *et al.*, 2000).

Coprodutos de tilápia contém teores de proteína variando de 15 a 60%, além de outras boas propriedades nutricionais e aminoácidos essenciais. Neste caso em particular, a ALCALASE se mostrou uma enzima altamente eficiente, devido a sua capacidade de atingir altos graus de hidrólise em um curto espaço de tempo e sob condições amenas, com temperaturas de 50 a 70 °C e pH de 6 a 10 (ROSLAN *et al.*, 2015).

Para o caso do fígado suíno, a literatura, além de escassa, não é tão clara. Desta forma, foram aplicadas a esta matéria-prima as mesmas condições aplicadas a tilápia.

2.3. O processo de secagem por aspersão

2.3.1. Definições

O processo de secagem por aspersão é a transformação de uma solução, suspensão, dispersão ou emulsão em material seco pela sua aspersão em um meio a alta temperatura. É uma operação contínua e em um único estágio. O produto seco é um pó constituído de partículas individuais, grânulos ou aglomerados de partículas, dependendo das propriedades físico-químicas da alimentação, do desenho e operação do secador e das propriedades desejadas do produto final (MORE SWATI & WAGH, 2014).

A secagem por aspersão é amplamente utilizada na produção de alimentos, como soro de leite em pó, café solúvel, leite em pó, chás e sopas, assim como na produção de fármacos e produtos para cuidados com a saúde, como vitaminas, enzimas e bactérias. Atualmente é o método mais utilizado para a produção de proteínas do soro de leite na forma de pó (CHEGINI & TAHERI, 2013).

A alimentação é bombeada para o atomizador localizado no dispersor de ar no topo da câmara de secagem. O ar de secagem é sugado da atmosfera por um ventilador adutor, filtrado e aquecido antes de ser enviado ao dispersor. A névoa de líquido entra em contato com o ar quente e ocorre a etapa de evaporação da água que, ao mesmo tempo, resfria o ar. Após a etapa de secagem na câmara, a maior parte do produto desidratado cai no fundo desta e

é arrastado pelo sistema de resfriamento de ar e transporte pneumático. As frações mais finas, constituídas pelas partículas de diâmetros menores, permanecem em suspensão. Daí a necessidade da passagem do ar por ciclones. As partículas finas saem pela parte inferior do ciclone e também são arrastadas pelo transporte pneumático. O ar é expelido para a atmosfera pelo ventilador exaustor. As duas frações de pó coletadas pelo transporte pneumático passam em outro ciclone e são embaladas. Os parâmetros controlados são as temperaturas do ar de entrada e saída, vazão de alimentação de fluido, controle automático da temperatura do ar de entrada de acordo com a pressão de vapor, ou quantidade de óleo ou gás utilizado para aquecer a corrente de ar (de acordo com o tipo de aquecedor utilizado), e controle automático da temperatura de saída, de acordo com a quantidade de fluido alimentada ao atomizador (WESTERGAARD, NIRO A/S, 2004).

Um esquema de um secador por aspersão com transporte pneumático pode ser visto na Figura 1.

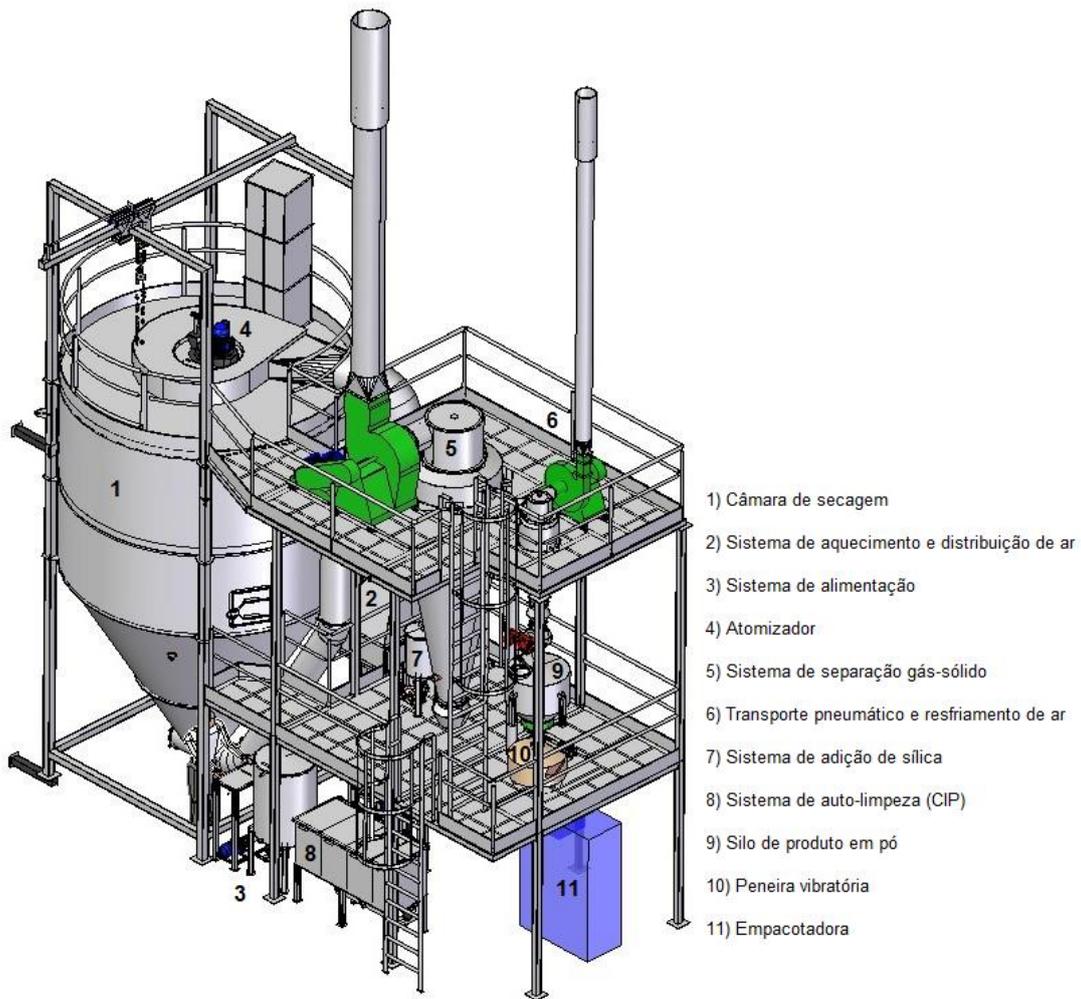


Figura 1 - Spray dryer de dois estágios (RM Indústria de Máquinas Frigoríficas, 2014)

Um *spray dryer* como o ilustrado na Figura 1 consiste dos seguintes componentes:

2.3.2. Câmara de secagem

Dos vários formatos de câmaras de secagem disponíveis, o mais comum é o cilíndrico com cone de 40 a 60° de inclinação, de modo que o pó deixe a câmara pela ação da gravidade, dando maior flexibilidade ao processo. A câmara deve ser desenhada de tal forma que não haja nada em seu interior que impeça ou dificulte o fluxo de ar ou cause a formação de depósitos (WESTERGAARD, NIRO A/S, 2004). Sabe-se também que, quanto mais próxima da unidade for a

razão entre o diâmetro da câmara e a altura de sua porção cilíndrica, mais eficiente é o secador. Isto porque o maior diâmetro impede que a névoa formada pelo atomizador atinja as paredes aquecidas da câmara, enquanto a altura fornece o tempo de residência necessário para que o pó caia ao fundo da câmara. Também, quanto maior o tamanho desejado das partículas, maior deve ser o diâmetro da câmara, independente da capacidade total do equipamento (MOLLER & FREDSTED, 2009).

2.3.3. Sistema de aquecimento e distribuição de ar

O ar de secagem pode ser aquecido de três formas:

- Aquecimento indireto;
- Aquecimento direto; e
- Sistemas mistos

Aquecimento indireto (o ar de secagem não entra em contato com o fluido de aquecimento)

Neste sistema, o ar de secagem é forçado através de um trocador de calor, que pode ser um radiador casco e tubo. O fluido de aquecimento que circula nos tubos é, normalmente, vapor saturado. A temperatura desejada depende da pressão de vapor disponível. O tamanho do aquecedor depende das propriedades de troca térmica dos tubos e chapas utilizados em sua construção. Este tipo de aquecedor chega aos 99% de eficiência.

Aquecimento direto (o ar de secagem está em contato com o meio de aquecimento)

Este sistema de aquecimento é utilizado quando o gás de combustão pode entrar em contato com o produto. É mais barato, eficiente e atinge altas temperaturas de secagem. Neste caso, é preciso levar em conta a quantidade de vapor resultante da evaporação da umidade do próprio ar de secagem. O sistema mais comum consiste em um queimador de GLP, mas também podem

ser usadas resistências elétricas. O ar quente é distribuído de forma espiral dentro da câmara, no mesmo sentido da alimentação (WESTERGAARD, NIRO A/S, 2004).

Sistemas mistos

Neste tipo de aquecimento, os sistemas indireto e direto são dispostos sequencialmente na linha de adução de ar de secagem. Em primeiro lugar está o sistema indireto. No caso de ser necessária a parada de quaisquer dos sistemas, pode-se operá-los individualmente. O sistema misto é muito utilizado para se otimizar o uso de energias na secagem. Como, usualmente, o sistema indireto opera com vapor gerado por caldeira alimentada com madeira (lenha, cavaco, briquete), este é preferido pelo fato de que este combustível tem custo menor do que o GLP. Caso seja necessário alcançar temperaturas de secagem mais elevadas, aciona-se também o sistema direto.

2.3.4. Sistema de alimentação de fluido

O sistema de alimentação é composto basicamente de:

- 1) Tanque de alimentação: contém o fluido a ser atomizado e desidratado. É dotado de sensores de nível para que não transborde e não esvazie totalmente.
- 2) Tanque de água: utilizado no início e no final do processo para estabilizar o secador. Também é acionado em caso de falha na alimentação de produto.
- 3) Bomba de concentrado: força o fluido de alimentação para dentro do atomizador. A mais utilizada é do tipo rotor-estator (bomba de deslocamento positivo).
- 4) Pré-aquecedor: utilizado para aquecer a alimentação quando necessário. Em alguns casos, a alimentação deve ser feita em baixas temperaturas, apesar de consumir mais energia na secagem. O mais comum é o trocador de calor de placas.

- 5) Filtro: sua função é conter possíveis impurezas e sólidos que possam obstruir o atomizador e prejudicar o desempenho do equipamento.

2.3.5. Atomizador

A função do atomizador é a de transformar o líquido de alimentação em névoa dentro da câmara de secagem. Quanto menores as gotículas formadas, maior a superfície de troca térmica e transferência de massa líquido/ar e melhor a eficiência térmica do secador (WESTERGAARD, NIRO A/S, 2004). Na maioria dos atomizadores, o líquido não sai imediatamente como gotícula, mas sim como um fino filme de líquido, que se transforma em gotícula devido a tensão superficial do líquido quando este se desprende do atomizador. O tamanho médio das partículas fica na faixa de 10 a 300 microns, e 1 litro de líquido atomizado, pode dar origem a superfícies de 20 a 600 m². O atomizador mais comum e mais versátil é o de disco rotativo (Figura 2). Estes discos têm diâmetros de 5 a 50 cm e operam em velocidades de 5000 a 25000 rpm. O uso de velocidades variáveis torna o controle do tamanho de partículas bastante simples. Na atomização por bico pressurizado, o líquido é forçado através do orifício do bico e transformado em gotículas. Neste caso, o tamanho da gotícula depende do tamanho da abertura do bico e da pressão da alimentação. Atomizadores de bico de duplo fluido são utilizados em sistemas de secagem pequenos, como o do equipamento utilizado neste estudo (ver seção 3.2).

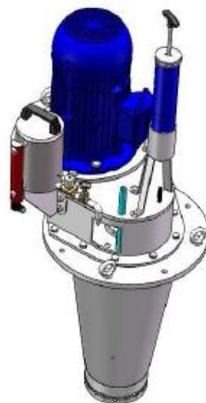


Figura 2 - Atomizador de disco rotativo (RM Indústria de Máquinas Frigoríficas, 2014)

2.3.6. Sistema de separação de pó

Esta parte do secador consiste em um ciclone que, por diferença de pressão, arrasta as partículas sólidas que vão em direção ao fundo da câmara de secagem, separando-as do ar e direcionando-as para o envase. Essa diferença de pressão é gerada pelo ventilador exaustor localizado no topo do ciclone. Ele também é o responsável pelo arraste de ar que gera a pequena pressão negativa dentro da câmara de secagem.

2.3.7. Sistema de transporte pneumático e resfriamento de ar

É a segunda etapa de separação dos finos da corrente de ar. Nesta etapa ocorre, também, o resfriamento do produto, que sai da câmara de secagem com a temperatura alta, e precisa ser resfriado antes de ser envasado. Este é um periférico adicional e é o segundo estágio do secador.

2.3.8. Sistema de adição de sílica

Este sistema pode ser utilizado para adicionar sílica ou outra substância higroscópica com a função de diminuir a umidade do produto final. O ponto de adição é localizado logo após o filtro de adução de ar. Desta forma, a sílica é arrastada para dentro do sistema por diferença de pressão.

2.3.9. Sistema de autolimpeza (CIP)

Este sistema é automatizado e faz a limpeza em ciclo fechado (CIP – *clean in place*) de todo o secador e seus periféricos. É composto de quatro tanques em aço inox que comportam as soluções de limpeza. A sequência de limpeza começa com um enxágue com água para a retirada de toda a sujeira presente no sistema, passando por soluções detergentes ácidas e básicas e um enxágue final. Estas soluções são bombeadas para dentro do secador através do próprio atomizador e com os exaustores em funcionamento. O descarte desse processo é feito pela porção inferior da câmara de secagem, onde há uma porta de inspeção, e direcionado para o sistema de tratamento de efluentes.

2.3.10. Silo de produto

É um reservatório localizado imediatamente abaixo do ciclone do segundo estágio que tem a função de receber o produto desidratado. É usualmente dotado de uma válvula (guilhotina ou rotativa) em sua porção inferior e direciona o produto para o peneiramento e envase.

2.3.11. Peneira vibratória

Este equipamento fica abaixo do silo e tem a função de reter possíveis impurezas que possam ser geradas durante o processo de secagem e partes metálicas que possam vir a se desprender. A porção de produto retida é direcionada para descarte e a passante é direcionada para o envase.

2.3.12. Empacotadora

É o equipamento que acondiciona o produto em sua embalagem final. Há diversos modelos de empacotadoras, para diferentes embalagens e capacidades. Os mais comuns são constituídos de um alimentador helicoidal que empurra o produto para dentro da embalagem. São programáveis para peso e velocidade de alimentação.

2.4. Atividade de água (a_w)

A maioria dos materiais contém certa quantidade de água. Em alimentos, a umidade é um parâmetro importante a ser avaliado, no que se refere à segurança alimentar. Teores de umidade fora das recomendações técnicas resultam em instabilidade química, deterioração microbiológica e alterações fisiológicas dos constituintes.

Ela existe sob duas formas principais nos alimentos: água livre, presente nos espaços intergranulares e poros e que atua como dispersante e solvente. Em geral, constitui mais de 95% do total da água presente nos alimentos (Cánovas & Mercado, citados por CARVALHO, 2012). A água livre é conhecida

como atividade de água (a_w) e é dada pela relação entre a pressão parcial de vapor de água (P) e a pressão de vapor de água saturada (P_0) à mesma temperatura (Equação 2.1) (CELESTINO, 2010); e água ligada ou vicinal, unida aos grupos hidrófilos de proteínas, resistente à ação mecânica e sem qualquer capacidade solvente. Constitui até 0,5% da água total presente nos alimentos e nela não ocorrem crescimento microbiológico ou reações químicas (Cox & Nelson, citados por CARVALHO, 2012).

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (2.1)$$

2.5. Isotermas de sorção

A umidade de equilíbrio é a menor umidade atingível por um material sólido quando este passa por um processo de secagem a pressão e temperatura constantes. Ela pode variar de acordo com a estrutura do material sólido, da umidade e da temperatura do gás das vizinhanças (PILATTI, 2013).

A Figura 3 ilustra a relação de equilíbrio entre a umidade do material e a umidade relativa do ar para alguns materiais alimentícios.

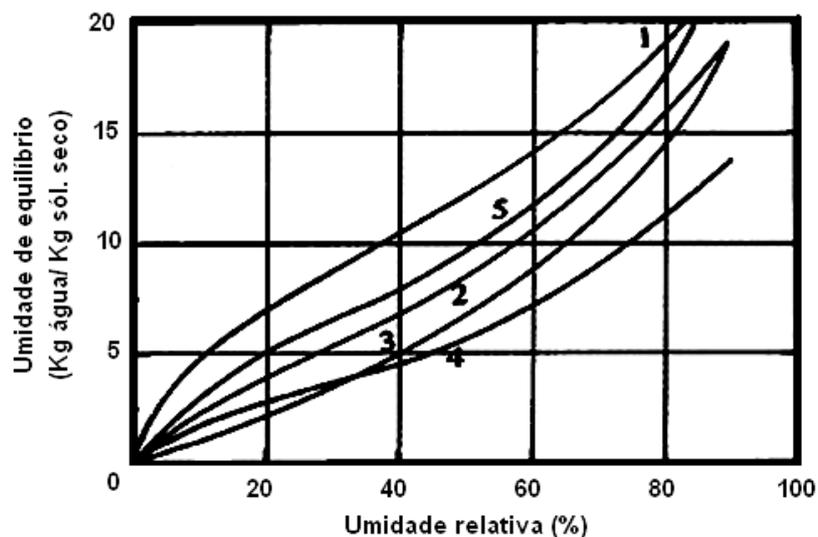


Figura 3 - Umidade de equilíbrio para alguns materiais alimentícios a 25 °C (GEANKOPLIS, 1993). Legenda: 1 – Macarrão; 2 – Farinha; 3 – Pão; 4 – Biscoito; 5 - Albumina de ovo.

Conhecer a umidade de equilíbrio é muito importante para a análise dos processos de secagem e armazenamento de produtos. As curvas de sorção são indispensáveis para determinar o teor de água final para estabilizar um produto (VIEIRA, 2006).

Isotermas de sorção são geralmente descritas por modelos matemáticos baseados em critérios empíricos e/ou teóricos, e podem ser facilmente encontrados na literatura (TONON *et al.*, 2009). Na Figura 4 são apresentadas isotermas de adsorção e dessorção para iogurte desidratado em *spray dryer*.

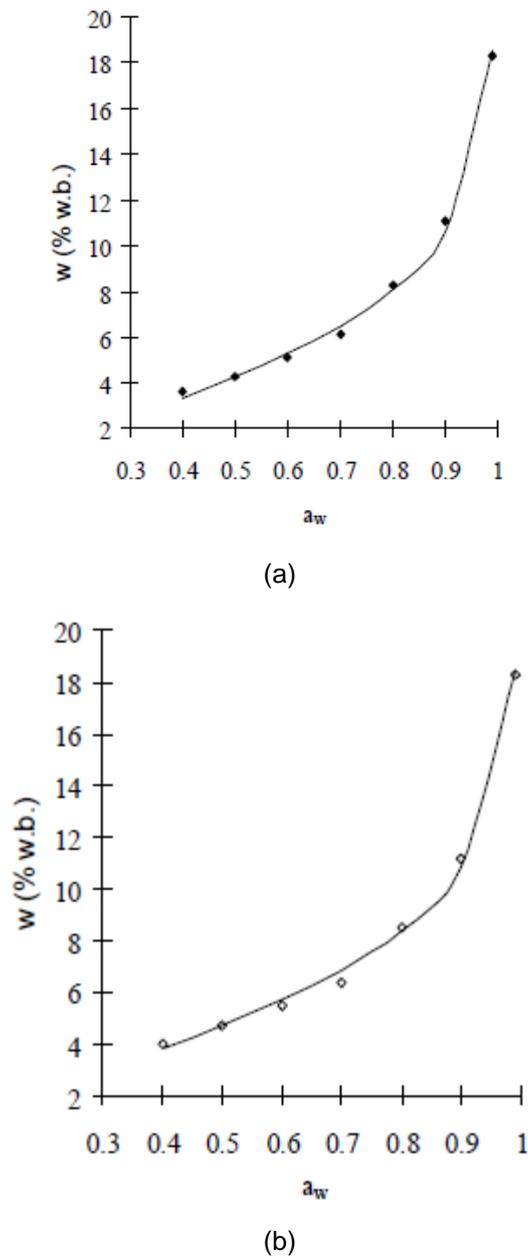


Figura 4 - Isotermas de adsorção (a) e dessorção (b) a 35 °C para iogurte desidratado em spray dryer (STENCL, 2007).

Há várias equações teóricas, semi-empíricas e empíricas propostas para estimar a umidade de equilíbrio de materiais biológicos. No entanto, os modelos teóricos não preveem com precisão a umidade de equilíbrio para materiais biológicos em uma ampla faixa de temperatura e umidade relativa do ar. Daí o surgimento de modelos empíricos e semi-empíricos que tentam aumentar a precisão de tais estimativas (BARROZO, 1995).

Os modelos mais utilizados para o ajuste de isotermas de sorção estão apresentados a seguir.

2.5.1. O Modelo de Langmuir

O modelo de Langmuir é característico de adsorção pura em camada monomolecular, e considera que a condição de equilíbrio aplicada à água livre fornece a taxa de evaporação idêntica à taxa de condensação (LANGMUIR, 1918).

$$X_e = X_m \frac{C \cdot a_w}{1 + C \cdot a_w} \quad (2.1)$$

Em que:

X_e = umidade de equilíbrio [%];

X_m = umidade monocamada [%];

a_w = atividade de água [-];

C = constante do modelo [-].

2.5.2. O Modelo BET

A equação de BET (BRUNAUER, EMMET & TELLER, 1938) é aplicável à quase todos os materiais, mas especialmente para polímeros hidrofílicos com $a_w < 0,5$ (VIEIRA, 2006). Em sua forma linearizada, baseia-se na suposição de que a água é adsorvida em multicamadas, que se fixam entre si por adsorção física (PILATTI, 2013). A equação linearizada da isoterma de BET é a seguinte:

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w) \cdot (1 + C \cdot a_w - (1 - a_w))} \quad (2.2)$$

Em que:

X_e = umidade de equilíbrio [%];

X_m = umidade monocamada [%];

a_w = atividade de água [-];

C = constante do modelo [-].

Para camadas polimoleculares (PARK & NOGUEIRA, 1992), o modelo de BET fica como segue:

$$X_e = \frac{(X_m \cdot C \cdot a_w) \cdot [1 - (n + 1) \cdot a_w^n + n \cdot a_w^{n+1}]}{(1 - a_w) \cdot [1 + (C - 1) \cdot a_w - C \cdot a_w^{n+1}]} \quad (2.3)$$

Onde:

X_e = umidade de equilíbrio [%];

X_m = umidade monocamada [%];

a_w = atividade de água [-];

C = constante do modelo [-].

Note-se que, quando $n=1$ a Equação (2.3) fica reduzida à equação do Modelo de Langmuir (Equação 2.1) e, quando n tende a infinito fica reduzida a equação do Modelo de BET linearizado (Equação 2.2) (PILATTI, 2013).

2.5.3. O Modelo de Chung e Pfof

A equação de Chung e Pfof é muito utilizada para descrever isotermas de cereais (VIEIRA, 2006). Este modelo é baseado na relação entre a variação de energia livre de adsorção com o conteúdo de umidade (CHUNG & PFOF, 1967). A equação é:

$$X_e = \frac{\ln(1 - a_w)^C}{K \cdot \exp\left(\frac{-B}{T}\right)} \quad (2.4)$$

Onde:

X_e = umidade de equilíbrio [%];

T = temperatura [Kelvin];

K e B = constantes do modelo [-].

2.5.4. O Modelo GAB

O modelo Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) é considerado como o modelo mais versátil, pois é aplicado de forma satisfatória em uma ampla faixa de atividade de água ($0,1 < a_w < 0,9$) (VIEIRA, 2006). O Modelo de GAB é representado pela equação:

$$X_e = \frac{(X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w)}{(1 - K \cdot a_w) \cdot [1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w]} \quad (2.5)$$

Onde C e K são constantes de adsorção relacionadas às interações entre as moléculas das camadas em dados sítios de sorção. Neste modelo, quando $K=1$, a equação se torna o modelo de BET linearizado (PILATTI, 2013).

2.6. Morfologia das partículas

No método de secagem *spray dryer*, assume-se que as partículas dentro da gotícula formada na aspersão não se movem e são arrastadas pela tensão superficial interna para serem mantidas na superfície e formar a casca enquanto o processo continua até a formação de um grânulo oco de núcleo vazio (MINOSHIMA *et al.*, 2001a).

O diâmetro da partícula diminui com a evaporação e a concentração volumétrica na direção radial aumenta na superfície da gotícula e mantém a concentração inicial constante dentro dela. Se o processo continua, a casca da partícula consistente de várias camadas de partículas será formada na superfície da gotícula. Neste modelo, o diâmetro da gotícula quando da formação da crosta é igual ao diâmetro final do grânulo (MINOSHIMA *et al.*, 2001b).

No entanto, há diversos outros fatores que influenciam no formato dos grânulos formados. Um dos mais importantes é o tipo de atomizador utilizado. Para atomizador rotatório, de acordo com MINOSHIMA *et al.* (2002), a taxa de rotação do disco de atomização é determinante. Neste caso, o tamanho da gotícula formada aumenta com a diminuição da rotação do disco. Analogamente, para atomizadores de bico de duplo fluido, como o utilizado neste estudo, pode-se assumir que, o tamanho da gotícula formada aumenta com a diminuição da pressão de ar aplicada ao bico.

Outro fator importante é a concentração de partículas da alimentação do secador (% de sólidos). Quanto maior esta concentração, maior o diâmetro das partículas formadas devido ao aumento da viscosidade do fluido (MINOSHIMA *et al.*, 2002).

2.7. Considerações a respeito da revisão bibliográfica

Como já mencionado na introdução deste estudo, o Estado do Paraná, em especial a região Oeste, onde está inserido o Município de Toledo, é potencial gerador de coprodutos do abate de animais de corte. Neste caso específico, suínos e tilápias. Não há muitas informações disponíveis a respeito da destinação dos coprodutos do abate de tilápias em nossa região.

A indústria de processamento de peixes produz mais de 60 % de coprodutos, que incluem pele, cabeça, vísceras, fígado e ossos. Estes coprodutos são ricos em proteínas que, usualmente são processados como produtos de baixo valor agregado, como farinhas e fertilizantes. Visando utilizar estes coprodutos, hidrolisados proteicos de coprodutos de peixes estão sendo preparados por pesquisadores em todo o mundo. Estes produtos têm chamado a atenção devido à grande disponibilidade de matéria prima de alto valor proteico e conteúdo de aminoácidos e peptídeos bioativos (CHALAMAIAH, *et al.*, 2012).

O fígado de suínos não é exatamente um resíduo do abate desses animais. No entanto, é pouco consumido na alimentação humana no Brasil. Em alguns países da Ásia, miúdos provenientes do abate de animais, como focinho, mocotó e até o cérebro, são considerados iguarias, mas pouco consumidos por países em desenvolvimento. Na França e na Irlanda, os subprodutos são uma parte importante do consumo de carnes (cerca de 8 kg *per capita*) (FONTE:

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DO VALE DO ARAGUAIA, FEVEREIRO DE 2013).

Estes coprodutos são ricos em proteínas, aminoácidos e outros nutrientes, essenciais à nutrição animal. Sendo submetidos ao processo de hidrólise enzimática, têm suas características nutricionais preservadas e são convertidos em produtos nobres, de alto valor agregado. Estes hidrolisados, em sua forma líquida, são utilizados para recobrir rações já extrusadas e peletizadas e atuam, principalmente, como agentes de sabor ou palatabilizantes. Uma vez desidratados, podem ser incorporados a formulações de rações e suplementos para animais de companhia e animais de corte.

Há, também, potencial para o uso de hidrolisados proteicos gerados a partir de proteínas de peixes na alimentação e suplementação para humanos. Chalamaiah *et al.*, (2012) cita que estes hidrolisados são bons suplementos nutricionais como compostos bioativos e podem ser facilmente absorvidos e utilizados para várias atividades metabólicas. É crescente o interesse em seu uso para o tratamento de problemas gastrointestinais. Estes também têm potencial aplicação como ingredientes funcionais devido a suas capacidades de retenção de água e óleos, solubilização de proteínas, atividade gelificante e propriedades emulsificantes.

Ainda são poucos os trabalhos disponíveis na literatura acerca da secagem por aspersão destes hidrolisados, fato este que atesta a relevância deste estudo. O fluxograma da produção e secagem de hidrolisados proteicos pode ser visto na Figura 5.

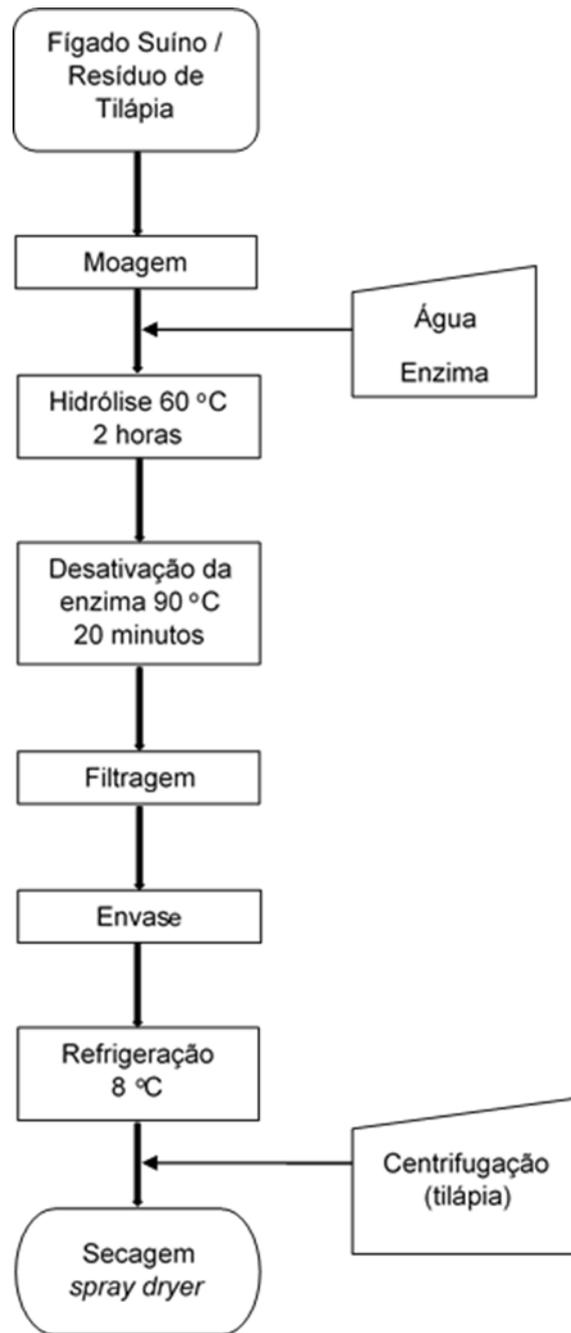


Figura 5 - Fluxograma de produção dos hidrolisados proteicos desidratados.

2.8. Secagem por aspersão de produtos proteicos

A secagem por aspersão de soluções proteicas, como, por exemplo, o leite, envolve a rápida remoção de umidade, levando à formação de partículas de leite secas. Isto faz com que a concentração de vários componentes do leite, como a lactose, gorduras, proteínas e minerais aumente com a evaporação da umidade, formando uma película. A evaporação da umidade ocorre simultaneamente à migração dos componentes para a superfície da partícula em substituição à fase aquosa (SHRESTHA *et al.*, 2007).

As propriedades físico-químicas dos pós produzidos por secagem por aspersão dependem das variáveis de processo, como temperatura e vazão do ar de secagem, taxa de alimentação de produto e do tipo e das condições de atomização. Assim, é importante estudar as influências das condições do processo de secagem nas propriedades dos pós obtidos para se atingir altos rendimentos de processo e propriedades desejáveis para manuseio, armazenamento e aplicações (WANG *et al.*, 2015).

Para se ter uma secagem por aspersão de qualidade, é preciso conhecer os efeitos das condições de operação e da concentração da alimentação nas propriedades físicas e morfológicas do pó produzido. Variáveis de processo, condições e método de atomização, tipo de contato da névoa de produto com o ar, temperatura do ar de secagem e parâmetros da alimentação de produto (concentração, temperatura e grau de aeração), são parâmetros importantes (CHEGINI & TAHERI, 2013).

Um dos grandes problemas da secagem de produtos proteicos é a degradação dos componentes presentes na solução. Podem ocorrer mudanças microbiológicas, reações enzimáticas, reações químicas e alterações das propriedades físicas. Estas, por sua vez, causam a contração e quebra das partículas secas, perda de atividade e capacidade de reidratação, alterações na solubilidade e nas propriedades organolépticas (STRUMILLO *et al.*, 1995). A Tabela 1 lista algumas mudanças que ocorrem com bioprodutos durante a secagem.

Tabela 1 - Alterações em bioprodutos durante a secagem (STRUMILLO et al., 1995).

Bioquímicas (microbiológicas)	Enzimáticas	Químicas	Físicas
Atrofia de células	Perda de atividade	Decréscimo de valores nutricionais e atividade	Solubilidade Reidratação Encolhimento Perda de aroma
Fermentos Bactérias Mofos	Enzimas Vitaminas	Proteínas Carboidratos Gorduras Antibióticos Aminoácidos	Todos os tipos de bioprodutos

A vantagem da secagem por aspersão é exatamente a velocidade do processo, que faz com que os efeitos degradantes da temperatura sobre os componentes do produto sejam minimizados.

ABDUL-HAMID *et al.* (2002) observaram que, para hidrolisado desidratado por aspersão produzido a partir de coprodutos de tilápia negra (*Oreochromis mossambicus*), houve uma queda significativa no teor de proteína bruta com o aumento da temperatura de secagem. Da mesma forma, a umidade também diminuiu, enquanto os teores de gordura e cinzas não foram afetados. Neste estudo foi utilizada maltodextrina como encapsulante na proporção de 10% em massa. As temperaturas de entrada e saída do secador utilizadas para o experimento foram de 150/76 °C e 180/90 °C respectivamente (Jamilah *et al.*, citados por ABDUL-HAMID *et al.*, 2002).

Morales-Medina *et al.* (2015) secaram por aspersão uma emulsão de 2% de hidrolisado proteico de peixe (sardinha), 5% de óleo de peixe e 28% de xarope de glucose. As temperaturas de entrada e saída utilizadas foram de 180/70 °C, pressão de ar de 4 bar e velocidade de atomização (atomizador rotatório) de 22.000 rpm. Observaram que estas emulsões preparadas com hidrolisado proteico de peixe se tornaram fisicamente estáveis após a secagem, em comparação com emulsões preparadas com proteína não hidrolisada.

Com relação ao diâmetro das partículas, Tonon *et al.* (2009) observaram, para o suco concentrado de açaí, que temperaturas de secagem mais altas produziram partículas de diâmetros maiores, devido a maior expansão causada pela elevação das temperaturas. Ou seja, taxas de secagem mais rápidas promovem a formação mais imediata das estruturas das partículas, evitando que estas encolham durante a secagem.

Dentro da classe de proteínas desidratadas de origem animal, não foram encontrados artigos científicos específicos com informações técnicas mais detalhadas sobre hidrolisados produzidos a partir de fígado suíno. Existem produtos comercialmente difundidos e que podem ter a divulgação e publicação de suas informações técnicas restritas.

2.9. Fatores que interferem na secagem *spray dryer*

A secagem por aspersão é uma operação unitária largamente utilizada para a desidratação de diversas substâncias, como alimentos, medicamentos e suspensões metálicas. Uma de suas maiores vantagens é a rapidez na remoção do conteúdo de umidade presente nas soluções, emulsões e dispersões que podem ser alimentadas ao equipamento e a consequente preservação de propriedades importantes de tais substâncias. Para alimentos, por exemplo, preserva os teores de proteína, vitaminas e minerais que poderiam ser degradados em outros métodos de desidratação que expõe estas substâncias a temperaturas elevadas por mais tempo. Em um equipamento *spray dryer*, as temperaturas de entrada do ar de secagem são bastante altas, o que pode sugerir que o processo é prejudicial à preservação das propriedades desejadas de determinados produtos. No entanto, o tempo de exposição a estas altas temperaturas é curto. Logo, ocorre a desidratação quase que imediata das gotículas e, em seguida, o rápido resfriamento das partículas sólidas formadas, preservando as propriedades dos produtos.

A velocidade de atomização é um parâmetro importante. Altas velocidades de atomização tendem a tornar a alimentação de produto ao secador mais dispersa, formando gotículas menores que geram partículas pequenas de pó que são mais facilmente arrastadas pelo sistema de exaustão. De acordo com Souza *et al.* (2009), os resultados demonstram que a velocidade de atomização

e a taxa da vazão de alimentação tem efeito significativo, ao nível de 5%, no tamanho da partícula de tomate em pó.

A pressão manométrica da câmara de secagem deve ser levemente negativa, e influencia diretamente no rendimento do equipamento. Pressões muito próximas à pressão atmosférica podem fazer com que a separação no ciclone seja prejudicada, e que muito material particulado seja rejeitado pela chaminé de exaustão. Um equipamento com capacidade evaporativa de 200 kg de água por hora trabalha com pressão de vácuo ideal de -0,005 bar.

A vazão de alimentação também é um fator importantíssimo no rendimento do processo. Se, de acordo com a porcentagem de sólidos da solução alimentada, a vazão de alimentação exceder a capacidade de exaustão, o pó não será arrastado para o ciclone em sua totalidade, podendo obstruir o fundo da câmara, impedindo a passagem de ar para o ciclone e, em alguns casos, causar a inversão da pressão da câmara, forçando a abertura da porta de explosão, dispositivo que alivia a pressão da câmara para evitar acidentes.

A porcentagem de sólidos da alimentação determina a vazão máxima a ser enviada ao atomizador. Quanto maior for a umidade, menor a porcentagem de sólidos e mais energia será necessária para causar a evaporação da água. O plasma sanguíneo animal, por exemplo, tem, após centrifugação do sangue e separação da hemoglobina, um teor de sólidos de 8%. Este passa, então, por um processo de concentração em ultrafiltração com membranas, para que o teor de sólidos chegue a 18%, reduzindo o consumo de energia na secagem. Também é possível utilizar evaporadores para concentrar as soluções a serem alimentadas ao secador.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados de forma detalhada os materiais, metodologias e equipamentos utilizados para a obtenção das amostras dos produtos estudados e sua posterior caracterização.

3.1. Matérias primas dos hidrolisados proteicos

3.1.1. Fígado suíno

Na produção do hidrolisado de fígado suíno foi utilizado material fornecido pelo frigorífico Bolson, da cidade de Toledo-PR, que é certificado pelas autoridades sanitárias. O material foi coletado fresco, no dia do abate, e imediatamente processado para a geração das amostras necessárias.

3.1.2. Coprodutos de tilápia

Na produção do hidrolisado de tilápia foi utilizado material proveniente do frigorífico Tilápia Brazilian, da cidade de Toledo-PR, que é certificado pelas autoridades sanitárias. O material foi coletado fresco, no dia do abate, e imediatamente processado para a geração das amostras necessárias.

3.2. Produção dos hidrolisados proteicos

3.2.1. Hidrolisado proteico de fígado suíno

O fígado foi moído em moedor manual e hidrolisado em reator de bancada com capacidade de 5 kg com a enzima *Bacillus licheniformis* Alcalase® 2.5L da Novozymes, a temperatura de 60 °C e sob agitação constante por 2 horas. Esta reação foi conduzida em meio aquoso, com 17,35% de água e 0,2% de enzima (em relação à massa total de fígado suíno utilizado). Após a hidrólise, a temperatura do meio reacional foi elevada a 90 °C por um período de 20 minutos para interromper a reação. O produto foi filtrado, envasado e refrigerado a 8°C (DIETERICH *et al.*, 2014).

3.2.2. Hidrolisado proteico de coprodutos de tilápia

Este resíduo, constituído de cabeça, espinhaço e cauda, foi moído em moedor elétrico e hidrolisado em reator de bancada com capacidade de 5 kg com a enzima proteolítica do *Bacillus licheniformis* (nome comercial Alcalase® 2.5L) da Novozymes, a temperatura de 60 °C e sob agitação constante por 2 horas. Esta reação foi conduzida em meio aquoso, com 15,00% de água e 0,2% de enzima (em relação à massa total de coproduto de tilápia utilizado). Após o processo de hidrólise, a temperatura do meio reacional foi elevada a 90 °C por 20 minutos para que a reação fosse interrompida. O produto foi filtrado, envasado e refrigerado a 8 °C. Por ser feito a partir de uma matéria prima rica em gorduras, o hidrolisado proteico de coprodutos de tilápia se torna um produto com alto teor de óleo, de aproximadamente 15% (DIETERICH *et al.* 2014). Essa quantidade de óleo presente no material é um problema para a secagem em *spray dryer*, uma vez que, quando a aspensão oleosa é aquecida, tende a aderir às paredes da câmara de secagem, reduzindo o rendimento e afetando a qualidade do produto desidratado. Por este motivo, para a remoção do óleo foi empregada a centrifugação do hidrolisado bruto em uma centrífuga marca HETTICH, modelo ROTINA 420 por 15 minutos a 8000 rpm. O óleo sobrenadante foi retirado dos frascos manualmente. O restante (fase proteica e fase aquosa) foi agitado para ser reconstituído e, então, levado ao secador.

3.3. Secagem dos hidrolisados em *Spray Dryer*

Para a secagem de ambos os hidrolisados, foi utilizado o equipamento MSD 1.0 da Labmaq do Brasil, de propriedade do Laboratório do Núcleo de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) *campus* de Medianeira. O equipamento consiste em um *spray dryer* piloto, com câmara de secagem e ciclone construídos em aço inoxidável. O procedimento adotado para operar o equipamento foi, inicialmente, ligar o soprador de ar na vazão mínima de 20 L/min. A resistência elétrica foi ligada para manter a temperatura inicial a 70 °C. A temperatura do ar de secagem foi aumentada em passos de 10 °C até os 100 °C, quando foi iniciada a alimentação de água ao secador na vazão de

0,21 L/h. Então, a temperatura foi aumentada até os 130 °C, quando foi iniciada a alimentação de produto.

A alimentação é feita por bomba peristáltica e com capacidade de alimentação na faixa de 0,2 a 1,0 L/h. A temperatura máxima de operação do ar de secagem na entrada é de 200 °C. O sistema de circulação de ar é composto de soprador (potência de 500 W) e resistência elétrica (potência de 3500 W). A câmara de secagem tem dimensões aproximadas de 50 cm (altura) e 20 cm (diâmetro). A atomização da alimentação é feita por bico pressurizado de duplo fluido. Antes da entrada no bico de aspersão, ocorre a mistura de ar comprimido à suspensão que se deseja desidratar. Esta mistura é forçada pelo orifício do bico, criando uma névoa dentro da câmara de secagem. Para os experimentos, foi utilizado bico com abertura de 1,2 mm. O produto seco passa pelo ciclone, onde o ar é expelido pela parte superior e o pó é coletado em frasco de vidro na parte inferior.

3.4. Planejamento experimental

Para os dois materiais hidrolisados, foram avaliados, como variáveis de entrada, a temperatura de entrada do ar de secagem do equipamento (TE) e a razão entre as vazões volumétricas de alimentação de produto e do ar de entrada (Q_p/Q_{ar}). Como variáveis resposta, foram avaliadas a umidade final dos produtos secos, proteína bruta e o diâmetro médio das partículas. Foi, então, proposto um planejamento do tipo Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com quatro ensaios nos níveis -1 e +1 e quatro ensaios nos níveis axiais -1,41 e +1,41 e uma triplicata no ponto central, totalizando 11 ensaios como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Planejamento experimental codificado

Ensaio	TE (°C)	Qp/Qar	x ₁	x ₂	Experimentos
1	137	0,000188	-1	-1	1
2	173	0,000188	1	-1	1
3	137	0,000207	-1	1	1
4	173	0,000207	1	1	1
5	155	0,000206	0	0	3
6	130	0,000206	-1,41	0	1
7	155	0,000217	0	1,41	1
8	180	0,000206	1,41	0	1
9	155	0,000175	0	-1,41	1

Apesar de a capacidade evaporativa nominal do equipamento ser de até 1,0 L/h, esta foi limitada a 0,52 L/h (vazão intermediária alcançada pela bomba de alimentação) pois, em testes preliminares, vazões de alimentação superiores se mostraram impraticáveis. O produto aderiu às paredes da câmara de secagem, não chegando a ser devidamente desidratado e arrastado pelo ciclone. O valor mínimo de 0,21 L/h é a menor vazão operacional da bomba de alimentação.

Nos experimentos, o procedimento adotado para operar o equipamento foi, inicialmente, ligar o soprador de ar na vazão mínima de 20 L/min. A resistência elétrica foi ligada para manter a temperatura inicial a 70 °C. A temperatura do ar de secagem foi aumentada em passos de 10 °C até os 100 °C, quando foi iniciada a alimentação de água ao secador na vazão de 0,21 L/h. Então, a temperatura foi aumentada até os 130 °C, quando foi iniciada a alimentação de produto.

3.5. Caracterização dos materiais secos

3.5.1. Determinação da umidade

A determinação de umidade (base úmida) de cada uma das vinte e duas amostras (onze para o produto de tilápia e onze para o de fígado suíno) foi realizada de acordo com as metodologias descritas pela AOAC (1995). Estas análises foram executadas pelo LQA – Laboratório de Qualidade de Alimentos

da UNIOESTE *campus* Toledo. Devido às pequenas quantidades de amostra geradas durante a secagem, esta análise foi realizada uma única vez para cada ponto. Os cadinhos utilizados para acomodar as amostras foram secos em estufa a 105 °C por aproximadamente 2 horas e, posteriormente, resfriados em dessecador. Os cadinhos foram pesados e identificados de acordo com as amostras e, em cada um deles, foi pesado 1,000 g de amostra. Todos os cadinhos contendo as amostras foram levados a estufa a 105 °C por 8 horas e, posteriormente, resfriados em dessecador. Assim, a umidade para cada ponto foi calculada de acordo com a equação abaixo:

$$umidade_{b.u.}(\%) = \left(\frac{m_a - m_{as}}{m_a} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

onde

m_a é a massa da amostra;

m_{as} é a massa da amostra seca a 105 °C por 8 horas.

3.5.2. Determinação do teor de proteína

A determinação do teor de proteína das amostras foi realizada de acordo com as metodologias descritas pela AOAC (1995). Estas análises foram executadas pelo LQA – Laboratório de Qualidade de Alimentos da UNIOESTE *campus* Toledo. Por utilizar quantidades menores de amostra, esta análise pôde ser realizada em duplicata. O método em questão é baseado na determinação de nitrogênio pelo processo de digestão Kjeldahl. A matéria orgânica é decomposta até a conversão do nitrogênio existente em amônia. O fator empírico empregado para converter o número de gramas de nitrogênio encontrado em gramas de proteína é igual a 6,25. O método consiste em pesar 0,1000 g de cada amostra que devem ser adicionadas a tubos de ensaio devidamente identificados e acrescidos de 5 mL de solução digestora. Os tubos foram levados ao digestor e aquecidos até 50 °C. A partir deste ponto, a temperatura é aumentada de 50 °C a cada 30 minutos até atingir os 450 °C. A digestão é completa quando a amostra adquire cor esverdeada. Após o resfriamento, a cada tubo foi adicionada a quantidade de 15 mL de água destilada. Para o

processo de destilação, foram utilizados erlenmeyers de 125 mL com 10 mL de solução de ácido bórico como solução receptora. Os tubos com as amostras digeridas foram acoplados ao destilador. Em seguida foram adicionados 20 mL de solução de hidróxido de sódio 18 N para cada tubo. A destilação foi efetuada até que o volume em cada erlenmeyer atingisse 75 mL. Cada erlenmeyer foi titulado com solução de ácido sulfúrico 0,02 M até atingir coloração rosa. O volume de ácido gasto foi anotado e o cálculo do teor de proteína feito de acordo com as equações abaixo:

$$N(\%) = \frac{V \cdot N \cdot F_a \cdot 14 \cdot 100}{m_a} \quad (3.2)$$

onde:

$N(\%)$ é a quantidade de nitrogênio presente na amostra;

V é o volume de ácido gasto na titulação;

N é a normalidade do ácido utilizado na titulação;

F_a é o fator do ácido utilizado na titulação (valor tabelado);

m_a é a massa da amostra em mg.

$$Proteína\ Bruta(\%) = N(\%) \cdot 6,25 \quad (3.3)$$

3.5.3. Determinação do diâmetro médio das partículas

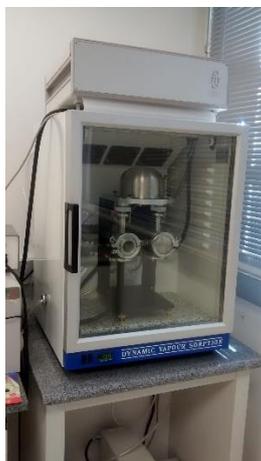
Este parâmetro foi determinado com o equipamento Analisador de Tamanho de partículas por difração a Laser *Mastersizer* da marca Malvern pertencente ao LRAC – Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração da Faculdade de Engenharia Química – FEQ – UNICAMP. Foram avaliadas as vinte e duas amostras – onze para cada matéria prima – produzidas para o planejamento experimental. Estas foram analisadas via úmida utilizando álcool isopropílico como meio dispersante. Este equipamento avalia a distribuição do tamanho de partículas na faixa de 0,05 a 900 μm utilizando o princípio de difração a laser. É um método volumétrico e os cálculos para a determinação do tamanho de partículas são baseados nos modelos matemáticos de Mie e Fraunhofer. O modelo de Mie considera que as partículas são esféricas e não são opacas, levando em conta a difração e difusão da luz na partícula e no meio. As análises

foram executadas em duplicata para cada amostra, sendo realizadas cinco leituras em cada replicata.

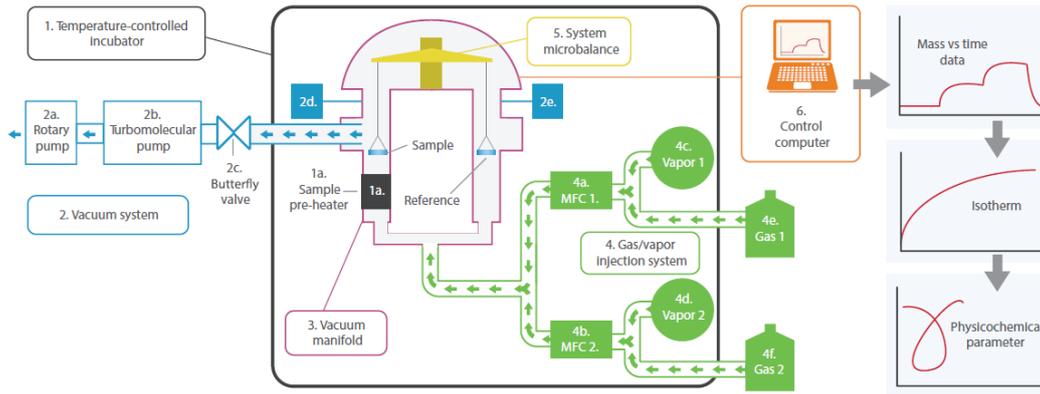
3.5.4. Isotermas de sorção e dessorção

Para a determinação das isotermas de adsorção e dessorção, foi utilizado o equipamento DVS (*Dynamic Vapour Sorption*) da marca SMS (*Surface Measurement Systems*) modelo DVS 002, de propriedade do LRAC – Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração da Faculdade de Engenharia Química – FEQ - UNICAMP. As amostras utilizadas foram compostas por pequenas quantidades de pontos aleatórios do planejamento experimental. A quantidade de amostra utilizada para esta análise é de 0,1 g. As amostras foram previamente secas em estufa a vácuo da marca Quimis, modelo Q819V2, a 780 mm Hg e 70 °C por 24 horas. Após serem mantidas em dessecador para atingir a temperatura ambiente, foram levadas ao DVS para a obtenção das isotermas de adsorção e dessorção na faixa de 0 a 95% de umidade nas temperaturas de 20, 35 e 50 °C.

Uma foto e um esquema do equipamento são apresentados na Figura 6. O equipamento possui uma microbalança que mede a perda de umidade da amostra, a partir do arraste de um gás inerte, com umidade relativa e temperatura controladas. As umidades estabelecidas são geradas a partir de controladores de fluxo de massa, misturando-se fluxos de gás seco e vapor saturado em determinadas proporções (VIEIRA, 2006).



(a)



(b)

Figura 6 - (a) Equipamento DVS 02 da Surface Measurement Systems; (b) Esquema de funcionamento do equipamento

Os modelos matemáticos apresentados na tabela 3 abaixo foram utilizados para descrever as isotermas de sorção. Os parâmetros destes modelos foram estimados minimizando a função objetivo abaixo e empregando o método de otimização Simplex Down-Hill.

$$F_{OBJ} = \sum_{i=1}^n (X_e^{exp} - X_e^{mod})^2 \quad (3.4)$$

Foram calculadas as umidades de equilíbrio em base seca (b.s.), X_e , das amostras e, então, traçadas as isotermas de equilíbrio em função da atividade da água, a_w , para as três temperaturas experimentais. Os modelos testados foram os de Langmuir (LANGMUIR, 1918), BET (BRUNAUER; EMMET & TELLER, 1938), Chung e Pfof (CHUMG & PFOF, 1967) e GAB (ANDERSON, 1946; DE BOER, 1953; GUGGENHEIM, 1966), todos listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Modelos de adsorção empregados na modelagem das isotermas de equilíbrio

Modelo	Equação
Langmuir	$X_e = X_m \frac{C \cdot a_w}{1 + C \cdot a_w}$
BET	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w) \cdot (1 + C \cdot a_w - (1 - a_w))}$
Chung e Pfof	$X_e = \frac{\ln(1 - a_w)^C}{K \cdot \exp\left(\frac{-B}{T}\right)}$
GAB	$X_e = \frac{(X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w)}{(1 - K \cdot a_w) \cdot [1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w]}$

X_m , B, C e K são constantes dos modelos.

Utilizando o software Statistica 7.1[®], os parâmetros dos modelos da Tabela 3 foram estimados por regressão não-linear (Quase-Newton), com critério de convergência de 0,0001, minimizando a função objetivo (Equação 3.4), em que F_{OBJ} é função objetivo, n é o número de dados experimentais, X_e^{exp} é a umidade de equilíbrio (b.s.) experimental e X_e^{mod} é a umidade de equilíbrio calculada pelo modelo (b.s.).

Para a análise da representatividade dos modelos de equilíbrio, foram utilizados os testes estatísticos de coeficiente de determinação, R^2 , soma dos quadrados dos coprodutos, SQR, e critério de Akaike, AIC (AKAIKE, 1974).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados de umidade, proteína bruta, diâmetro médio de partículas e isothermas de sorção obtidos para o estudo e as análises estatísticas para estes.

4.1. Hidrolisado de fígado suíno

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para umidade, proteína bruta e diâmetro médio de partícula para as amostras de hidrolisado proteico desidratado de fígado suíno. A terceira coluna mostra o valor da razão entre as vazões de produto e de ar utilizadas. No equipamento de secagem, a vazão de produto é contabilizada em litros por hora, enquanto a vazão de ar é dada em litros por minuto. Desta forma, para se chegar aos valores abaixo, esta razão teve de ser multiplicada por um fator de 1/60. As linhas sombreadas mostram a triplicata executada no ponto central.

Tabela 4 - Resultados de umidade, proteína bruta e diâmetro médio para fígado suíno

Ensaio	TE(°C)	Qp/Qar	Umidade(%)	Proteína(%)	Dm (µm)
1	137	0,000188	13,05	66,09	24,00
2	173	0,000188	10,39	67,90	26,10
3	137	0,000207	7,78	72,00	21,05
4	173	0,000207	6,79	65,32	21,84
5	155	0,000206	9,38	66,82	23,42
6	155	0,000206	8,78	70,36	27,63
7	155	0,000206	11,80	69,47	21,27
8	130	0,000206	14,71	67,87	22,61
9	155	0,000217	9,66	64,63	18,18
10	180	0,000206	9,50	64,50	22,86
11	155	0,000175	8,96	63,88	30,09

4.1.1. Planejamento experimental para o resultado de umidade

Os resultados do planejamento experimental apresentados na Tabela 5 foram avaliados estatisticamente empregando o programa computacional Statistica 7.1[®].

Tabela 5 - Planejamento codificado estrela para duas variáveis codificadas: resposta umidade

Ensaio	TE(°C) (x)	Qp/Qar (y)	Umidade(%) (z)
1	-1	-1	13,05
2	1	-1	10,39
3	-1	1	7,78
4	1	1	6,79
5	0	0	9,38
6	0	0	8,78
7	0	0	11,80
8	-1,41	0	14,71
9	0	1,41	9,66
10	1,41	0	9,50
11	0	-1,41	8,96

O menor teor de umidade foi obtido no ensaio 4, que corresponde aos níveis positivos de temperatura e razão produto/ar. A Tabela de Efeitos (Tabela 6) mostra os efeitos das variáveis temperatura de entrada, razão vazão de produto/vazão de ar e suas interações. Na Figura 7 é apresentado o Gráfico de Pareto que mostra os efeitos das variáveis com nível de significância de 5%. Observa-se que, na faixa investigada, nenhuma das variáveis tem efeito significativo e que houve uma grande variação no ponto central. Em secagem por aspersão, para diminuir a umidade do produto final, pode-se aumentar a temperatura do ar de secagem ou diminuir a vazão de alimentação de produto e aumentar a vazão de ar secagem. O efeito negativo da interação indica que os parâmetros são antagônicos, ou seja, que um acréscimo, em módulo, nos valores de ambas as variáveis, gera uma redução na resposta.

O limite máximo de umidade para produtos proteicos desidratados destinados à nutrição animal é de 10%. Pode-se ver na Tabela 5 que este critério foi atendido para 7 dos 11 ensaios. Nestes 7, com exceção do ensaio 3, as

temperaturas de entrada do ar de secagem eram iguais ou superiores à do ponto central, corroborando o fato de que altas temperaturas promovem maior desidratação das partículas.

Tabela 6 - Estimativa dos efeitos: resposta umidade fígado suíno

Fator	Efeito	Erro Padrão	t(5)	p	Coefficiente	Erro Padrão do Coeficiente
Média/Intercepto	10,11	1,69	5,97	0,00	10,11	1,69
x	-2,93	1,93	-1,52	0,19	-1,47	0,97
x ²	1,24	2,27	0,55	0,61	0,62	1,13
y	-0,97	1,35	-0,72	0,51	-0,49	0,68
y ²	-0,40	1,10	-0,36	0,73	-0,20	0,55
xy	-0,08	2,11	-0,04	0,97	-0,04	1,05

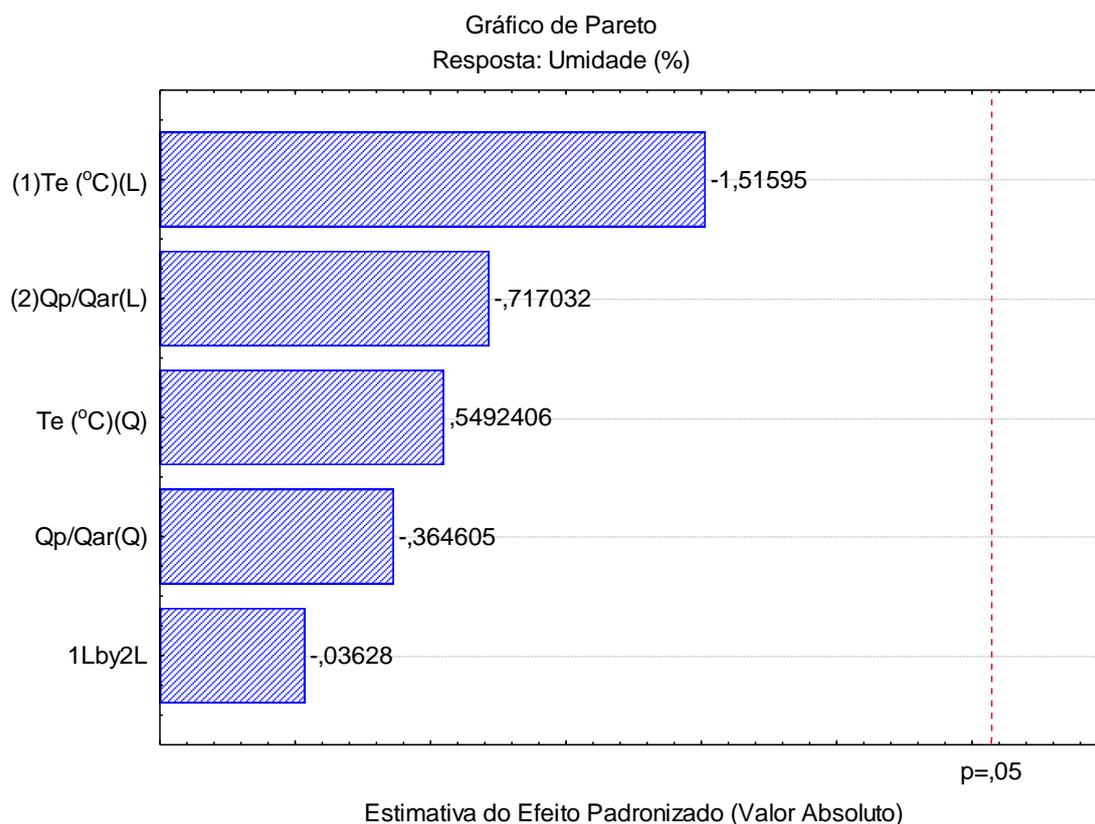


Figura 7 - Gráfico de Pareto: resposta umidade fígado suíno

Um aumento na temperatura do ar de entrada geralmente resulta na rápida formação de uma camada seca, muito fina e impermeável na superfície

da gotícula, seguida pela formação de bolhas de vapor e um aumento em seu tamanho. Além disso, um aumento da temperatura aliado a uma diminuição da vazão de alimentação de produto, reduz o teor de umidade. Em altas temperaturas, uma camada superficial mais dura é formada nas partículas de pó, impedindo a entrada de água nas partículas e aumentando a porcentagem de sólidos insolúveis (CHEGINI & TAHERI, 2013).

A partir destes dados, foi obtido o seguinte modelo quadrático:

$$z = 10,11 - 1,47x + 0,62x^2 - 0,49y - 0,20y^2 - 0,04xy \quad (4.1)$$

A Tabela 7 mostra a análise de variância (ANOVA) para o ajuste do modelo acima aos dados da matriz de planejamento.

Tabela 7 - ANOVA: resposta umidade

Fator	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	p
x	13,59	1	13,59	2,30	0,19
x ²	1,78	1	1,78	0,30	0,61
y	3,04	1	3,04	0,51	0,51
y ²	0,79	1	0,79	0,13	0,73
xy	0,01	1	0,01	0,00	0,97
Erro	29,57	5			
TOTAL	53,37	10			

Aplicando o teste F com os resultados acima, temos:

$$F_{calculado} = \frac{\sum F_{fatores}}{\sum GL} = \frac{2,30+0,30+0,51+0,13+0,00}{1+1+1+1+1} = 0,65 \quad (4.2)$$

Da tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 5% (BARROS NETO, *et al.*, 2007, página 473), temos:

$$F_{tabelado (5;5;0,05)} = 5,05 \quad (4.3)$$

Desta forma, como $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$, o modelo obtido não é válido ao nível de significância de 5% e não representa os dados experimentais obtidos dentro da faixa estabelecida nos níveis para as variáveis em estudo. A ANOVA mostra, também, que $R^2 = 0,44589$.

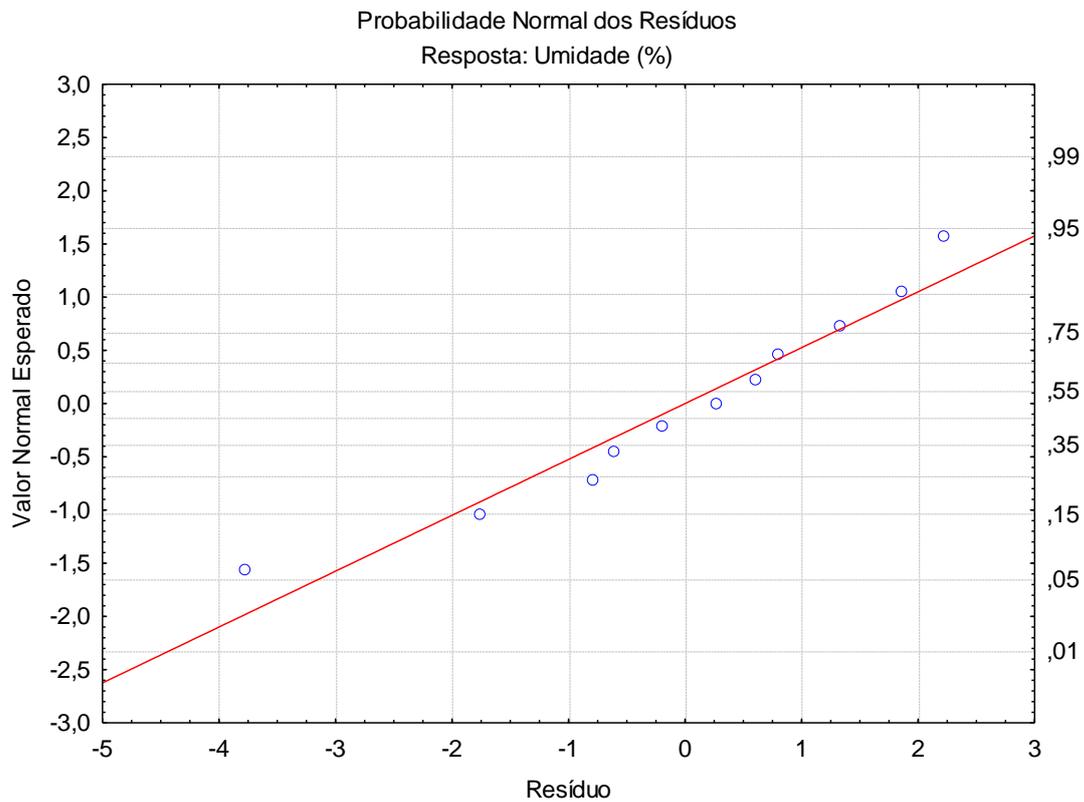


Figura 8 - Probabilidade normal dos coprodutos: resposta umidade fígado suíno

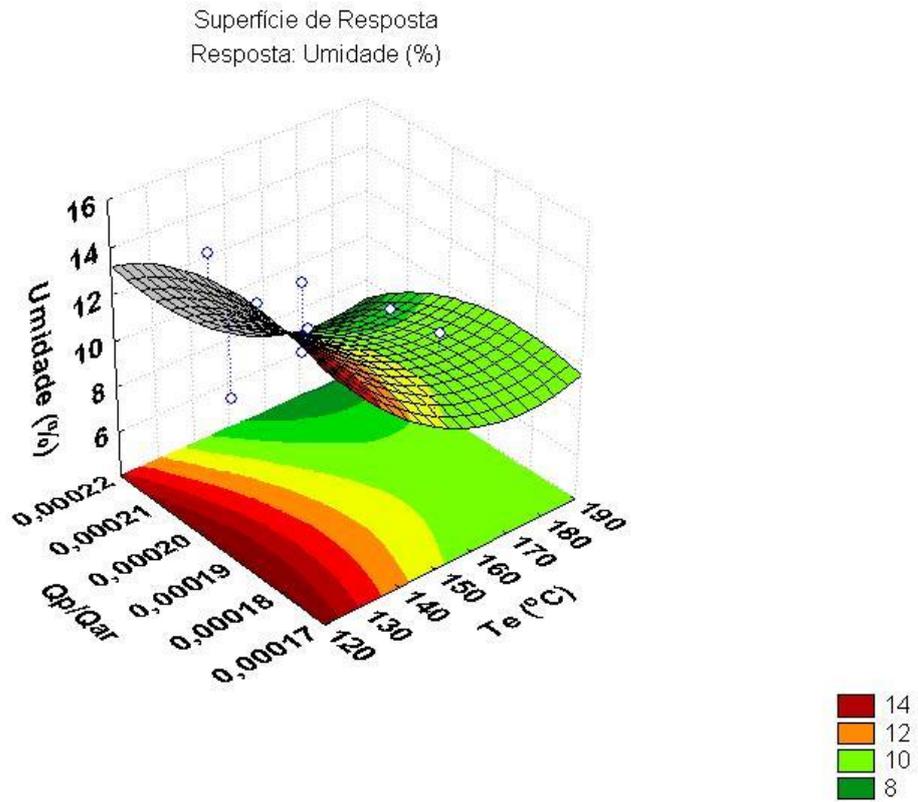


Figura 9 - Superfície de resposta: resposta umidade fígado suíno

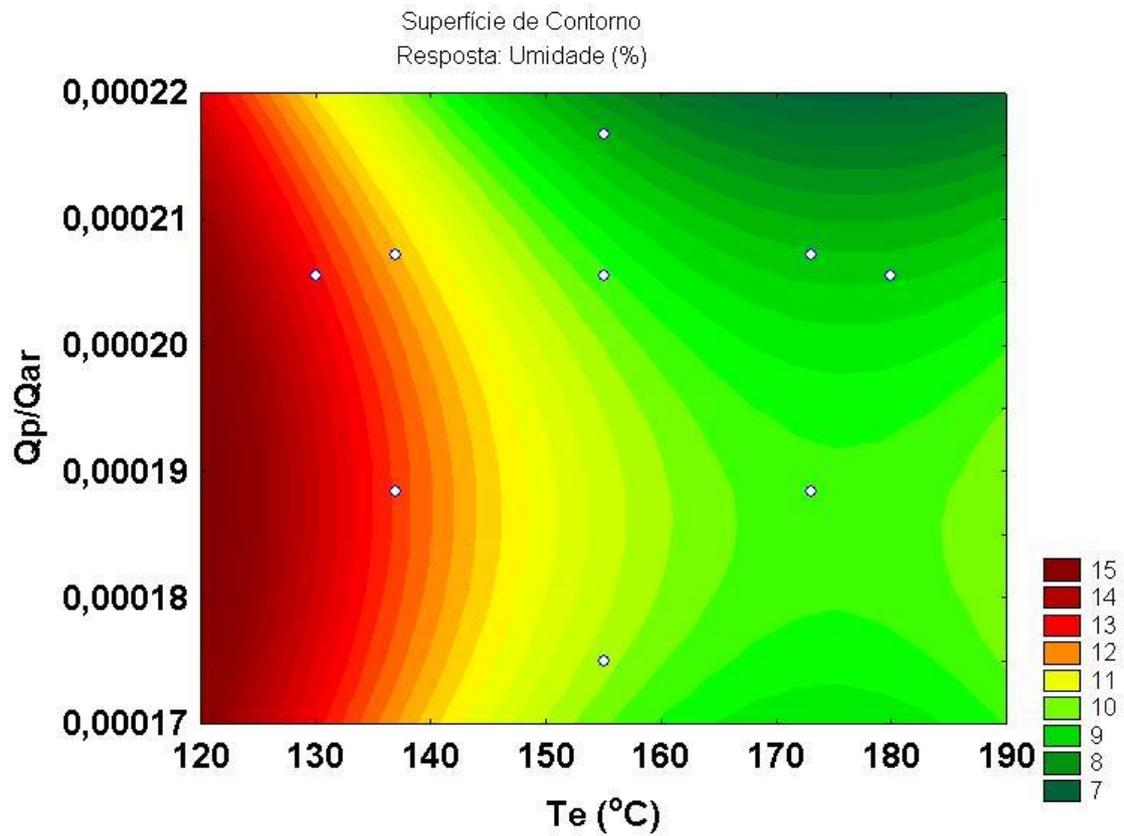


Figura 10 - Superfície de contorno: resposta umidade fígado suíno

Pode-se ver pelas Figuras 9 e 10 que as regiões dos gráficos que tendem à cor verde escura reúnem as condições que favorecem a diminuição dos teores de umidade. Quanto mais próxima de zero for a razão entre as vazões de produto e ar (baixas vazões de alimentação de produto em volumes maiores de ar de secagem) e maiores as temperaturas, menores os teores de umidade. Altas vazões de ar favorecem a dispersão do produto, aumentando sua superfície de troca térmica e facilitando a transferência de massa de água da partícula para o ar.

4.1.2. Planejamento experimental para o resultado de proteína

A Tabela 8 abaixo traz os dados do planejamento experimental realizado para a amostra de fígado suíno considerando o resultado de proteína bruta.

Tabela 8 - Planejamento codificado estrela para duas variáveis codificadas: resposta proteína fígado suíno

Ensaio	TE(°C) (x)	Qp/Qar (y)	Proteína(%) (z)
1	-1	-1	66,09
2	1	-1	67,90
3	-1	1	72,00
4	1	1	65,32
5	0	0	66,82
6	0	0	70,36
7	0	0	69,47
8	-1,41	0	67,87
9	0	1,41	64,63
10	1,41	0	63,88
11	0	-1,41	64,50

O maior teor de foi obtido no ensaio 3, que corresponde ao nível negativo de temperatura e positivo para razão produto/ar. O menor teor de proteína foi obtido no ensaio 10, que corresponde ao maior nível de temperatura e ao ponto central da vazão. Analisando a Tabela de Efeitos (Tabela 9) e o Gráfico de Pareto (figura 11), vemos que as variáveis temperatura, razão produto/ar e suas interações, não tem efeitos significativos sobre a resposta proteína. O efeito

negativo da interação indica que os parâmetros são antagônicos, ou seja, que um acréscimo nos valores de ambas as variáveis gera uma redução na resposta.

Tabela 9 - Estimativa dos efeitos: resposta proteína fígado suíno

Fator	Efeito	Erro Padrão	t(5)	p	Coefficiente	Erro Padrão do Coeficiente
Média/Intercepto	69,82	1,24	56,23	0,00	69,82	1,24
x	-1,31	1,42	-0,92	0,40	-0,65	0,71
x ²	-2,80	1,66	-1,69	0,15	-1,40	0,83
y	-0,23	0,99	-0,24	0,82	-0,12	0,50
y ²	-2,05	0,81	-2,54	0,05	-1,02	0,40
xy	-3,32	1,55	-2,15	0,08	-1,66	0,77

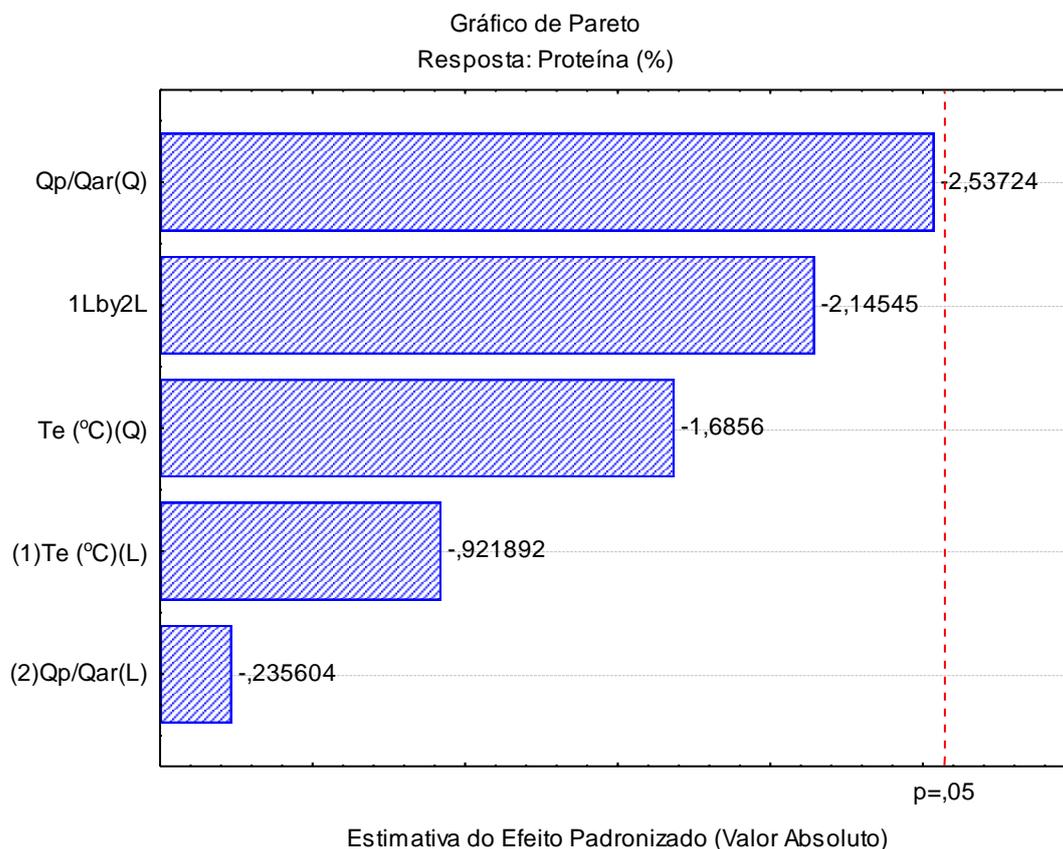


Figura 11 - Gráfico de Pareto: resposta proteína fígado suíno

A partir destes dados foi obtido o seguinte modelo quadrático:

$$z = 69,82 - 0,65x - 1,40x^2 - 0,12y - 1,02y^2 - 1,66xy \quad (4.4)$$

A Tabela 10 mostra a análise de variância (ANOVA) para o ajuste do modelo acima aos dados da matriz de planejamento.

Tabela 10 - ANOVA: resposta proteína fígado suíno

Fator	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	p
x	2,71	1	2,71	0,85	0,40
x ²	9,05	1	9,05	2,84	0,15
y	0,18	1	0,18	0,06	0,82
y ²	20,51	1	20,51	6,44	0,05
xy	14,66	1	14,66	4,60	0,08
Erro	15,93	5	3,19		
TOTAL	68,93	10			

Aplicando o teste F com os resultados acima, temos:

$$F_{calculado} = \frac{\sum F_{fatores}}{\sum GL} = \frac{0,85+2,84+0,06+6,44+4,60}{1+1+1+1+1} = 2,96 \quad (4.5)$$

Da tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 5% (BARROS NETO, *et al.*, 2007, página 473), temos:

$$F_{tabelado} (5;5;0,05) = 5,05 \quad (4.6)$$

Desta forma, como $F_{calculado} < F_{tabelado}$, o modelo obtido não é válido ao nível de significância de 5% e não representa os dados experimentais obtidos dentro da faixa estabelecida nos níveis para as variáveis em estudo. A ANOVA mostra, também, que $R^2 = 0,769$ e $R^2_{ajustado} = 0,538$.

A validade ou não do modelo verificada na ANOVA está associada aos gráficos dos coprodutos, mostrados a seguir, onde se verifica que a aleatoriedade dos coprodutos não é boa e que há a presença de *outliers* (gráfico da probabilidade normal dos coprodutos).

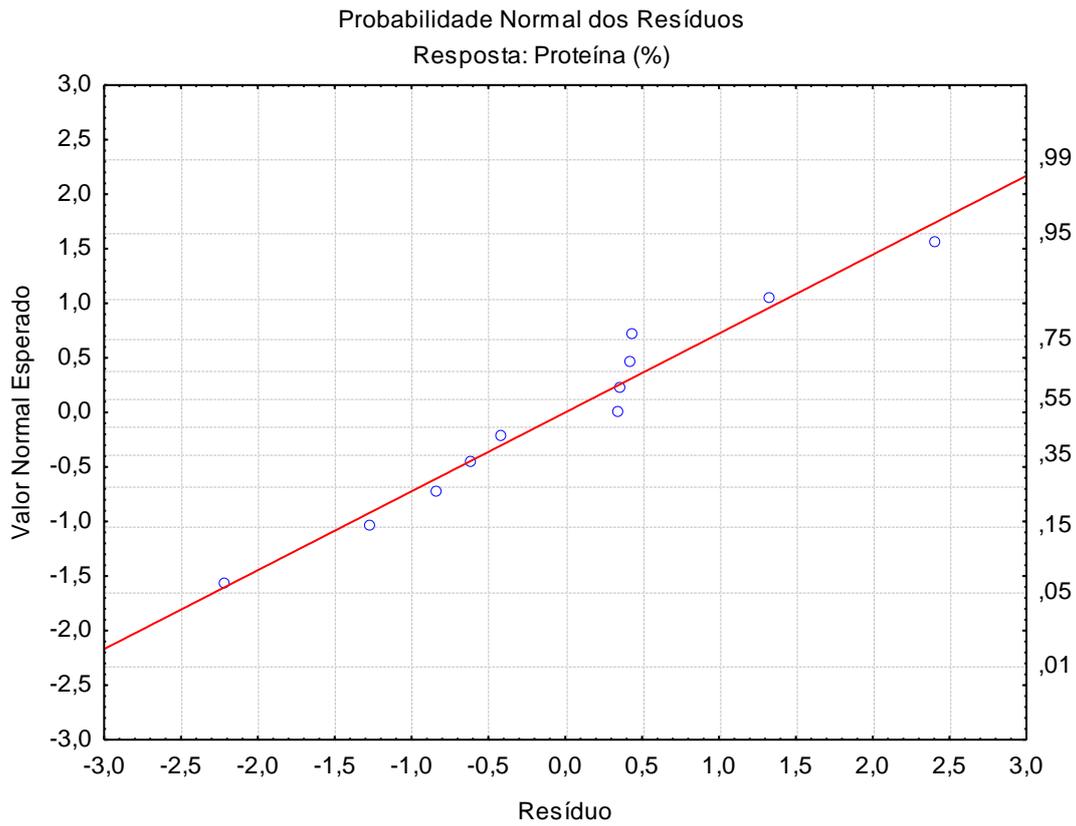


Figura 12 - Probabilidade normal dos coprodutos: resposta proteína fígado suíno

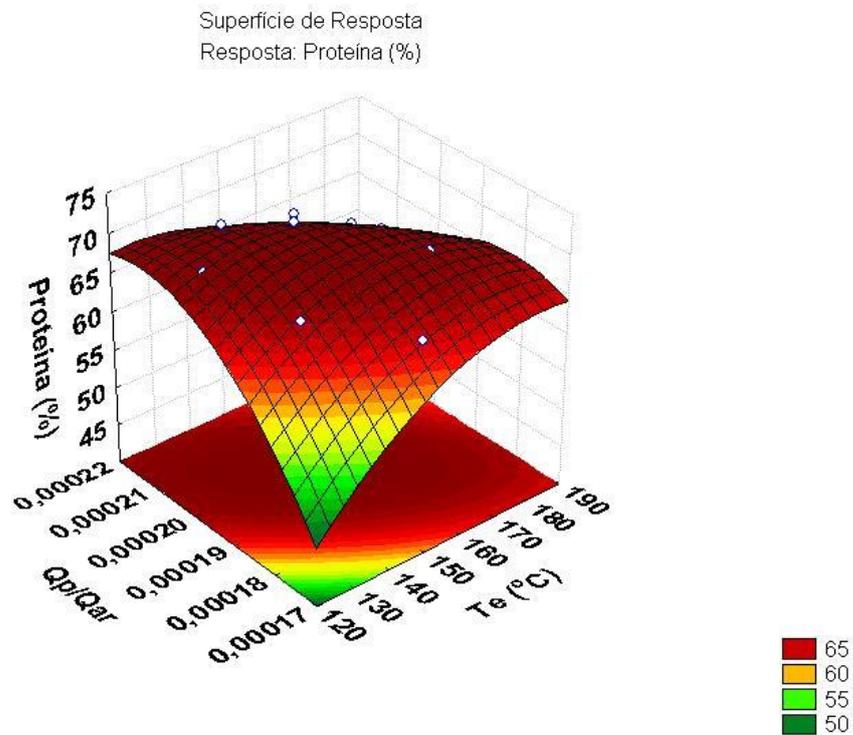


Figura 13 - Superfície de resposta: resposta proteína fígado suíno

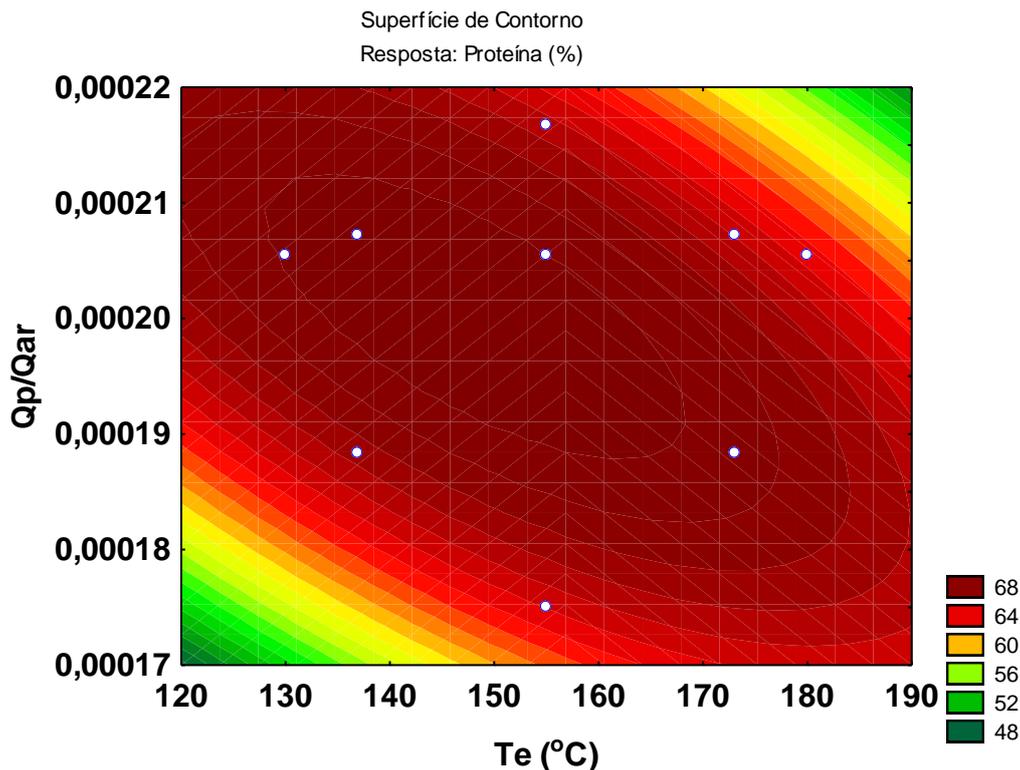


Figura 14 - Superfície de contorno: resposta proteína fígado suíno

Como pode ser observado nas figuras 13 e 14, os maiores teores de proteína estão localizados no topo da superfície, bem distribuídos em relação à temperatura e mais concentrados em maiores relações entre as vazões de produto e ar. Isto sugere que a variação de temperatura na faixa estudada tem pouca influência no teor de proteína, e que uma melhor dispersão da alimentação durante o processo de secagem favorece a elevação dos teores de proteína.

4.1.3. Planejamento experimental para o resultado de diâmetro médio de partícula

A Tabela 11 mostra os resultados da análise completa obtidos para o tamanho das partículas das amostras de fígado suíno. Nesta tabela, R1 e R2 são as replicatas para cada amostra, $D(v, 0,1)$ significa que 10% da amostra está abaixo do referido tamanho de partícula e $D(v, 0,5)$ significa que 50% da amostra está abaixo do referido tamanho de partícula, $D(v,0,9)$ significa que 90% da amostra está abaixo do referido tamanho de partícula e $D[4,3]$ é o valor do diâmetro médio de partícula relacionado ao volume da amostra. Destes

resultados, foram utilizados para o planejamento as médias aritméticas entre os resultados das replicatas para o diâmetro médio de partícula.

Tabela 11 - Resultados para diâmetro médio de partícula – fígado suíno

Hisrolisado Proteico de Fígado Suíno		D (v, 0,1) ± Desvio (µm)	D [4,3] ± Desvio (µm)	D (v, 0,5) ± Desvio (µm)	D (v, 0,9) ± Desvio (µm)
Suíno 01	R1	6,92 ± 0,04	23,76 ± 0,04	22,96 ± 0,04	40,96 ± 0,10
	R2	7,18 ± 0,03	24,23 ± 0,03	23,62 ± 0,04	41,23 ± 0,07
Suíno 02	R1	6,73 ± 0,05	26,45 ± 0,12	25,26 ± 0,08	47,42 ± 0,19
	R2	6,09 ± 0,05	25,74 ± 0,19	24,07 ± 0,15	47,03 ± 0,43
Suíno 03	R1	5,87 ± 0,10	20,95 ± 0,12	19,94 ± 0,16	37,61 ± 0,22
	R2	5,52 ± 0,06	21,14 ± 0,11	19,80 ± 0,11	38,52 ± 0,24
Suíno 04	R1	3,27 ± 0,23	21,72 ± 0,76	19,78 ± 0,61	42,28 ± 1,28
	R2	3,28 ± 0,19	21,96 ± 0,22	19,64 ± 0,20	43,36 ± 0,46
Suíno 05	R1	5,96 ± 0,05	23,37 ± 0,28	22,06 ± 0,17	42,75 ± 0,72
	R2	5,82 ± 0,03	23,47 ± 0,06	22,13 ± 0,05	43,07 ± 0,12
Suíno 06	R1	6,75 ± 0,02	27,60 ± 0,10	25,87 ± 0,06	50,84 ± 0,30
	R2	6,41 ± 0,04	27,66 ± 0,10	26,55 ± 0,08	49,68 ± 0,27
Suíno 07	R1	5,20 ± 0,06	21,51 ± 0,08	20,11 ± 0,07	39,78 ± 0,19
	R2	5,34 ± 0,03	21,02 ± 0,09	20,26 ± 0,08	37,61 ± 0,24
Suíno 08	R1	3,77 ± 0,01	22,49 ± 0,07	20,64 ± 0,07	42,41 ± 0,13
	R2	5,51 ± 0,01	22,73 ± 0,06	21,75 ± 0,05	40,65 ± 0,12
Suíno 09	R1	3,37 ± 0,41	17,91 ± 0,15	16,03 ± 0,11	34,06 ± 0,27
	R2	1,67 ± 0,01	18,45 ± 0,25	16,38 ± 0,09	35,78 ± 0,52
Suíno 10	R1	9,50 ± 0,20	30,08 ± 0,15	29,49 ± 0,23	50,80 ± 0,74
	R2	9,66 ± 0,15	30,09 ± 0,26	29,55 ± 0,26	50,58 ± 0,42
Suíno 11	R1	4,99 ± 0,03	22,91 ± 0,17	21,95 ± 0,14	41,58 ± 0,34
	R2	5,03 ± 0,05	22,81 ± 0,43	22,00 ± 0,35	40,97 ± 0,89

Na Figura 15, o hidrolisado de fígado suíno apresenta um perfil concentrado entre 10 e 100 µm com pico de 60% próximo de 50 µm.

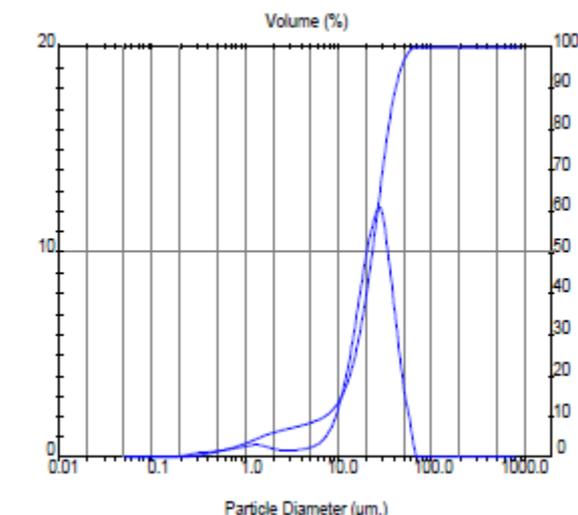


Figura 15 - Resultado da análise de diâmetro de partícula do hidrolisado de fígado suíno

A Tabela 12 mostra o planejamento experimental codificado para o diâmetro médio de partícula.

Tabela 12 - Planejamento codificado estrela para duas variáveis codificadas: resposta diâmetro médio de partícula

Ensaio	TE(°C) (x)	Qp/Qar (y)	Diâmetro(µm) (z)
1	-1	-1	24,00
2	1	-1	26,10
3	-1	1	21,05
4	1	1	21,84
5	0	0	23,42
6	0	0	27,63
7	0	0	21,27
8	-1,41	0	22,61
9	0	1,41	18,18
10	1,41	0	22,86
11	0	-1,41	30,09

Em relação ao diâmetro médio de partícula, não existe um padrão estabelecido para definir a faixa apropriada para este material. O menor diâmetro foi obtido no ensaio 9, com temperatura intermediária (igual à do ponto central) e vazões máximas de ar e produto. Isto é coerente, uma vez que a aspersão da solução dentro da câmara de secagem foi feita com bico de pressão. Ora, quanto maiores as vazões de ar e produto, mais dispersa será a solução e menor será

a gotícula gerada. O maior diâmetro foi obtido no ensaio 11, com a mesma temperatura porém com as vazões mínimas de ar e produto. Analisando a Tabela de Efeitos (Tabela 13) e o Gráfico de Pareto (Figura 16), vemos que, além do intercepto, apenas a razão entre as vazões de produto e ar foi significativa ao nível de confiança de 95%. Novamente, o efeito negativo da interação indica que os parâmetros são antagônicos, ou seja, que um acréscimo nos valores de ambas as variáveis gera uma redução na resposta.

Tabela 13 - Estimativa dos efeitos: resposta diâmetro médio de partícula

Fator	Efeito	Erro Padrão	t(5)	p	Coefficiente	Erro Padrão do Coeficiente
Média/Intercepto	25,48	1,79	14,24	0,00	25,48	1,79
x	1,18	2,04	0,58	0,59	0,59	1,02
x ²	-1,76	2,40	-0,73	0,50	-0,88	1,20
y	-4,55	1,43	-3,17	0,02	-2,27	0,72
y ²	-0,69	1,16	-0,59	0,58	-0,35	0,58
xy	-0,87	2,23	-0,39	0,71	-0,44	1,11

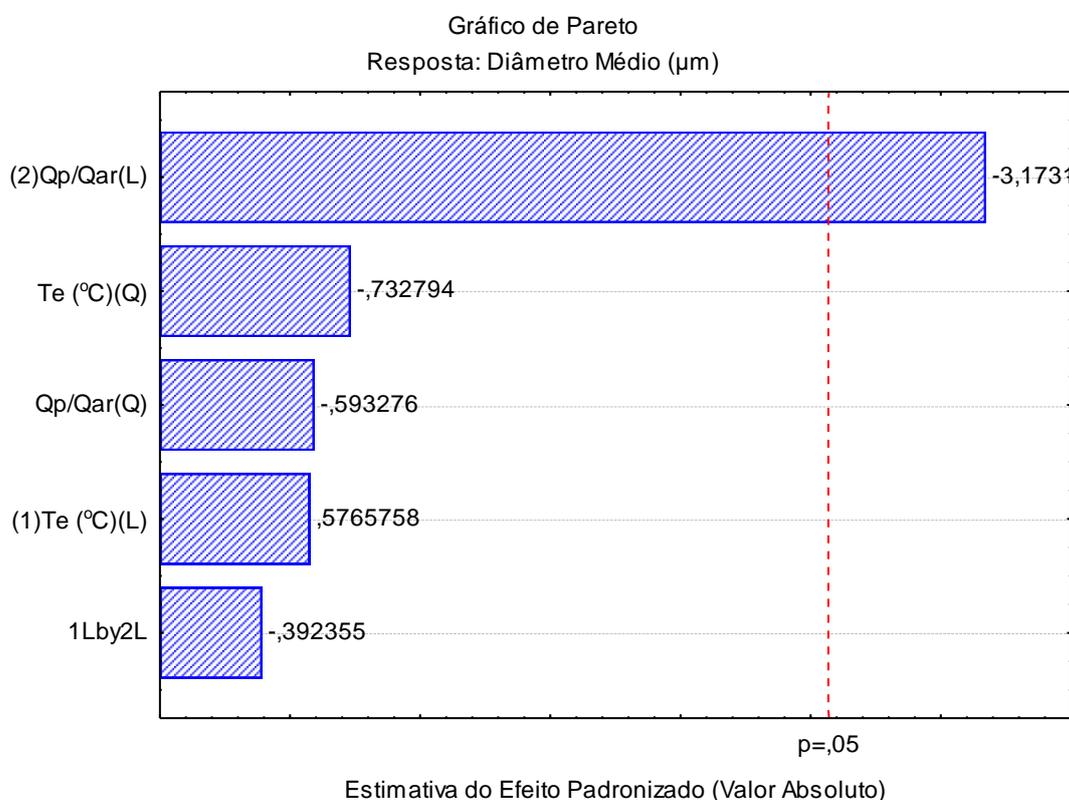


Figura 16 - Gráfico de Pareto: resposta diâmetro médio fígado suíno

A partir destes dados foi obtido o seguinte modelo quadrático:

$$z = 25,48 + 0,59x - 0,88x^2 - 2,27y - 0,35y^2 - 0,44xy \quad (4.7)$$

A Tabela 14 mostra a análise de variância (ANOVA) para o ajuste do modelo acima aos dados da matriz de planejamento.

Tabela 14 - ANOVA: resposta diâmetro médio

Fator	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	p
x	2,20	1,00	2,20	0,33	0,59
x ²	3,55	1,00	3,55	0,54	0,50
y	66,62	1,00	66,62	10,07	0,02
y ²	2,33	1,00	2,33	0,35	0,58
xy	1,02	1,00	1,02	0,15	0,71
Erro	33,08	5,00	6,62		
TOTAL	110,66	10,00			

Aplicando o teste F com os resultados acima, temos:

$$F_{calculado} = \frac{\sum F_{fatores}}{\sum GL} = \frac{0,33+0,54+10,07+0,35+0,15}{1+1+1+1+1} = 2,29 \quad (4.8)$$

Da tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 5% (BARROS NETO, *et al.*, 2007, página 473), temos:

$$F_{tabelado} (5;5;0,05) = 5,05 \quad (4.9)$$

Desta forma, como $F_{calculado} < F_{tabelado}$, o modelo obtido não é válido ao nível de significância de 5% e não representa os dados experimentais obtidos dentro da faixa estabelecida nos níveis para as variáveis em estudo. A ANOVA mostra, também, que $R^2 = 0,70106$ e $R^2_{ajustado} = 0,40211$.

A validade ou não do modelo verificada na ANOVA está associada aos gráficos dos coprodutos, mostrados a seguir, onde se verifica que a

aleatoriedade dos coprodutos não é boa e que há a presença de *outliers* (gráfico da probabilidade normal dos coprodutos).

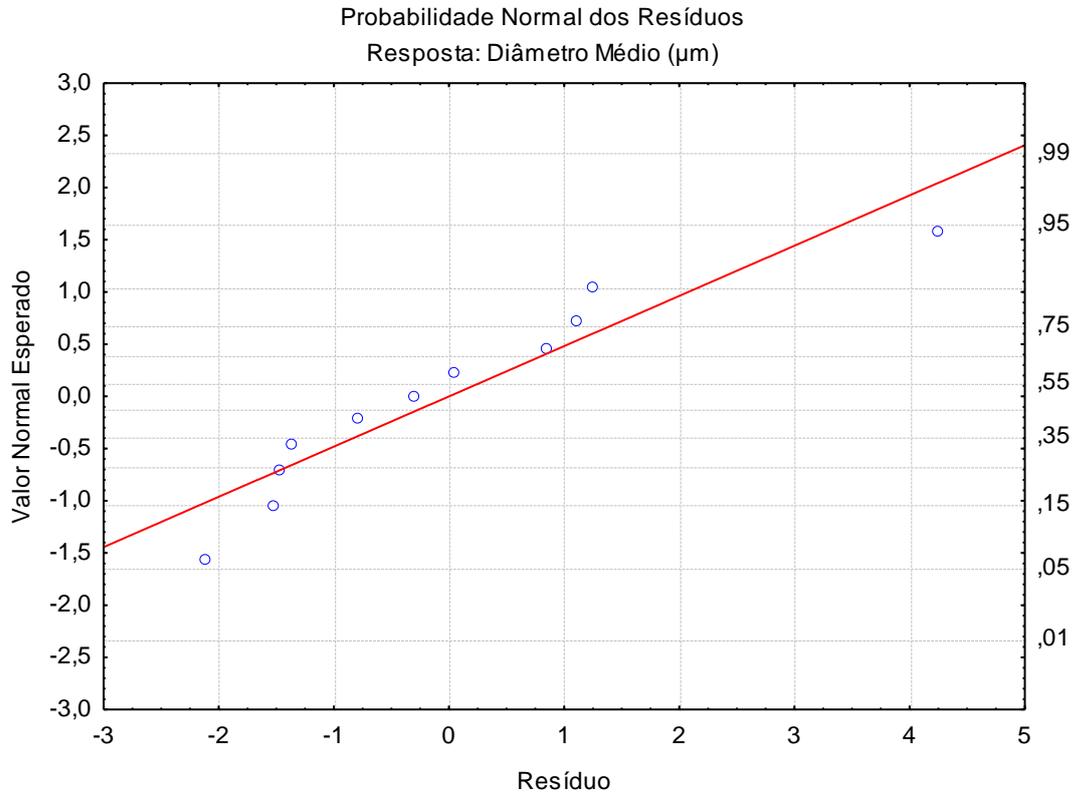


Figura 17 - Probabilidade normal dos coprodutos: resposta diâmetro médio fígado suíno

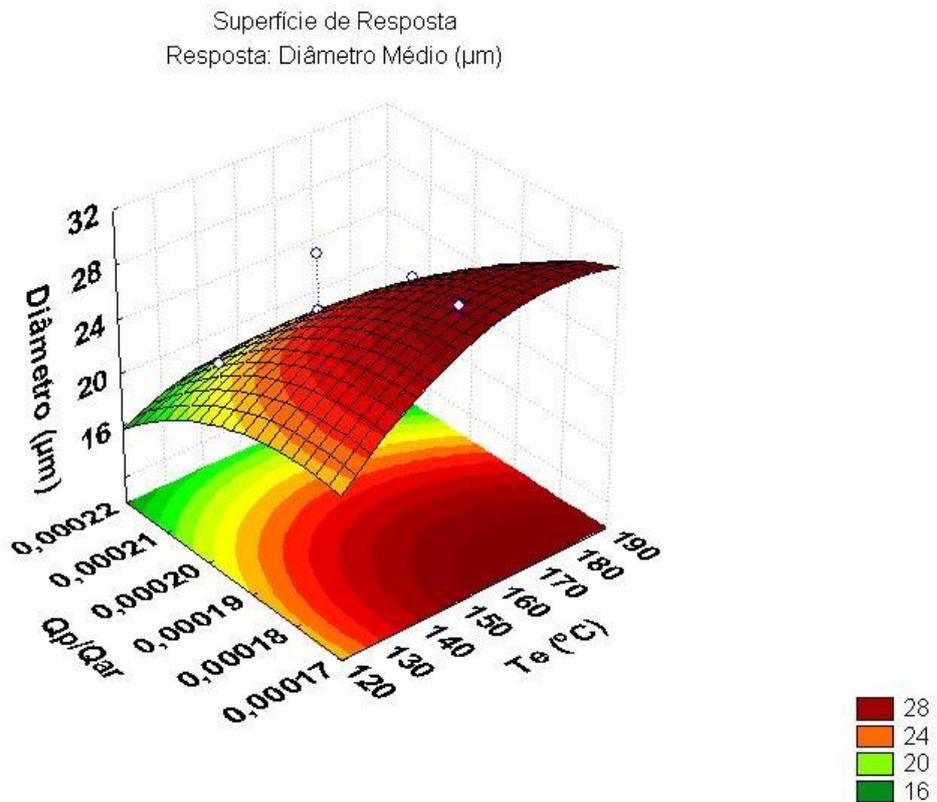


Figura 18 - Superfície de resposta: resposta diâmetro médio fígado suíno

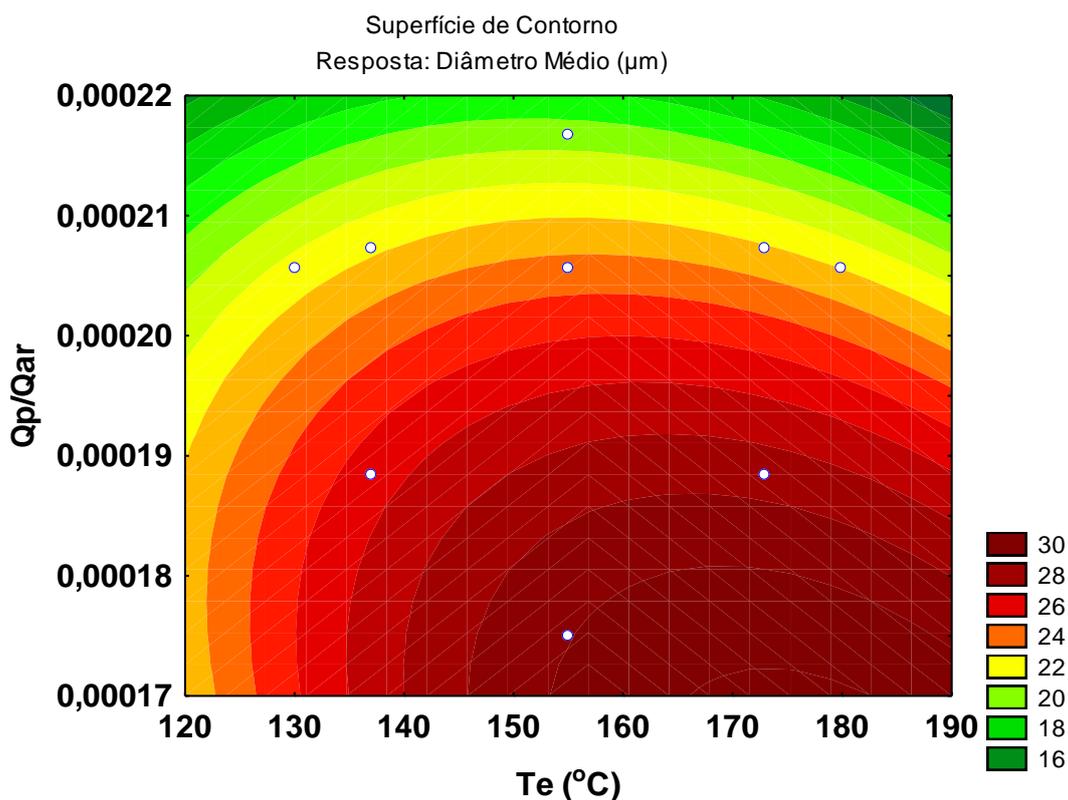


Figura 19 - Superfície de contorno: resposta diâmetro médio fígado suíno

Observando as figuras 18 e 19, vemos que os menores diâmetros de partícula estão associados aos maiores valores das razões entre as vazões de produto e ar e bem distribuídos com relação à temperatura. Novamente, fica claro que quanto mais dispersa for a alimentação de líquido na corrente de ar, menores serão as gotículas e, conseqüentemente, as partículas geradas.

O tamanho da partícula diminui com o aumento da velocidade de rotação do atomizador. Um aumento na taxa de alimentação de produto causa um aumento no tamanho da partícula. Tendências similares foram encontradas para suco de laranja desidratado (AL-ASHEH *et al.* 2003), que atribuíram este resultado a alta probabilidade de colisão e conseqüente fusão de pequenas gotas, que resultaram em partículas com diâmetro médio de $9,11 \mu\text{m}$ (SOUZA *et al.*, 2009).

4.2. Hidrolisado de tilápia

A Tabela 15 mostra os resultados de umidade e proteína bruta para as amostras de hidrolisado proteico desidratado de coprodutos do abate e filetagem de tilápias. Para estas amostras não foi possível a obtenção de resultados para tamanho de partículas. De acordo com o laboratório responsável por esta análise, as amostras em questão estavam fora da faixa de análise do equipamento,

Tabela 15 - Resultados de umidade e proteína bruta para tilápia

Ensaio	TE(°C)	Qp/Qar	Umidade(%)	Proteína(%)
1	137	0,000188	12,65	75,91
2	173	0,000188	9,68	83,55
3	137	0,000207	14,20	76,27
4	173	0,000207	11,59	78,38
5	155	0,000206	10,69	77,87
6	155	0,000206	12,78	78,18
7	155	0,000206	13,59	76,06
8	130	0,000206	12,40	82,40
9	155	0,000217	13,07	80,25
10	180	0,000206	16,65	86,15
11	155	0,000175	10,88	75,98

4.2.1. Planejamento experimental para o resultado de umidade

A tabela 16 mostra o planejamento codificado para a variável umidade.

Tabela 16 - Planejamento codificado estrela para duas variáveis codificadas: resposta

Ensaio	TE(°C) (x)	Qp/Qar (y)	Umidade(%) (z)
1	-1	-1	12,65
2	1	-1	9,68
3	-1	1	14,20
4	1	1	11,59
5	0	0	10,69
6	0	0	12,79
7	0	0	13,59
8	-1,41	0	12,40
9	0	1,41	13,07
10	1,41	0	16,65
11	0	-1,41	18,88

O teor de umidade mais baixo foi obtido para o ensaio 2, que corresponde ao nível positivo de temperatura e negativo para a razão produto/ar. Neste ensaio, a temperatura de entrada utilizada foi de 173 °C, a segunda mais alta do estudo, o que definitivamente contribuiu para este baixo nível de umidade.

Aumentos na temperatura do ar de entrada levam ao decréscimo dos teores de umidade das amostras de pó, o que pode ser atribuído ao maior gradiente de temperatura entre a alimentação atomizada e o meio de secagem, ocasionando a rápida remoção de água e gerando pós menos úmidos. Patil *et al.* (2014) e Quek *et al.* (2007) reportaram reduções na umidade do pó com o aumento da temperatura do ar de entrada na secagem de sucos de goiaba e melancia, respectivamente. Entretanto, a taxa de alimentação mostrou um efeito positivo no teor de umidade. Aumentos na taxa de alimentação promovem tempos de contato menores entre a alimentação atomizada e o meio de secagem, levando a transferências de calor menos eficientes e, conseqüentemente, a menores taxas de evaporação de água. Tonon *et al.* (2008) e Chegini *et al.* (2005) também encontraram resultados similares para a secagem por aspersão de polpa de açaí e suco de laranja, respectivamente (MUZAFFAR & KUMAR, 2015).

Analisando a Tabela de Efeitos (Tabela 17) e o Gráfico de Pareto (Figura 20), vemos que as variáveis temperatura, razão produto/ar e suas interações, não tem efeitos significativos sobre a resposta umidade. O maior teor de umidade foi obtido para o ensaio 10, com a temperatura de entrada mais alta do estudo e vazões de ar e produto iguais às do ponto central. Este resultado é contraditório, pois altas temperaturas geram produtos com menores teores de umidade. Este pode ser atribuído à característica higroscópica do pó de tilápia. As amostras ao serem manipuladas e expostas ao ar ambiente rapidamente absorvem umidade.

Tabela 17 - Estimativa dos efeitos: resposta umidade tilápia

Fator	Efeito	Erro Padrão	t(5)	p	Coefficiente	Erro Padrão do Coeficiente
Média/Intercepto	11,28	1,34	8,42	0,00	11,28	1,34
x	-0,69	1,53	-0,45	0,67	-0,35	0,77
x ²	2,08	1,79	1,16	0,30	1,04	0,90
y	1,54	1,07	1,44	0,21	0,77	0,54
y ²	0,36	0,87	0,41	0,70	0,18	0,44
xy	1,91	1,67	1,14	0,30	0,95	0,83

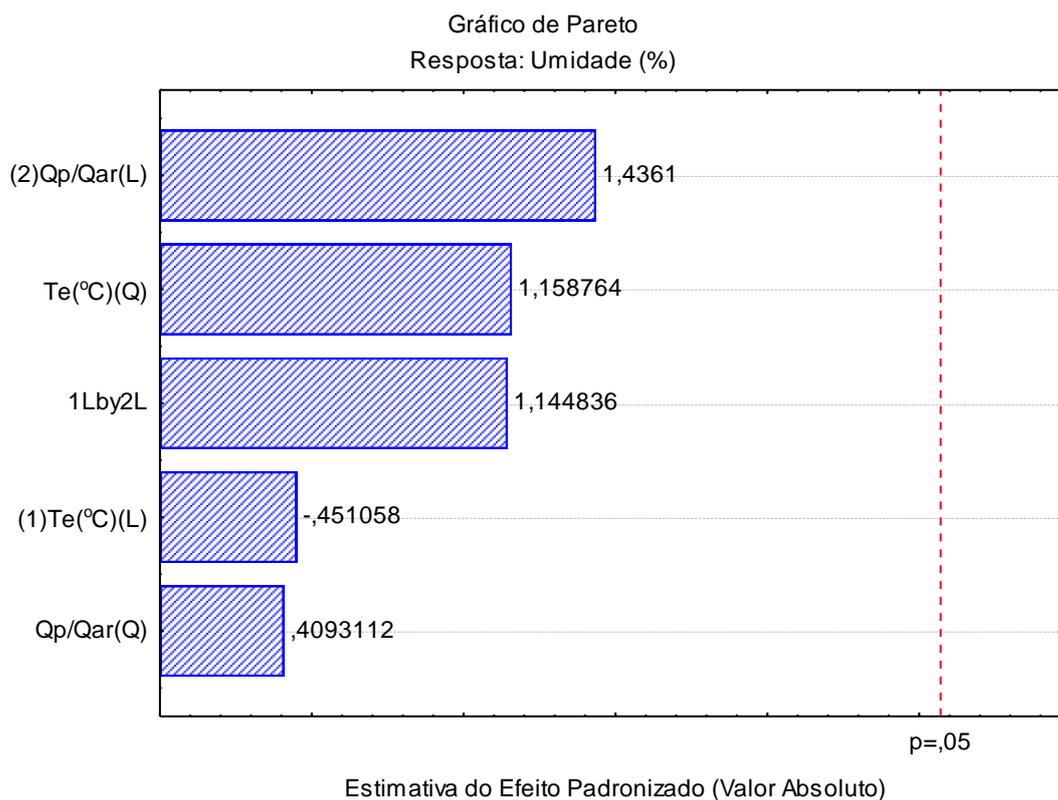


Figura 20 - Gráfico de Pareto: resposta umidade tilápia

A partir destes dados foi obtido o seguinte modelo quadrático:

$$z = 11,28 - 0,35x + 1,04x^2 + 0,77y + 0,18y^2 + 0,95xy \quad (4.10)$$

A Tabela 18 mostra a análise de variância (ANOVA) para o ajuste do modelo acima aos dados da matriz de planejamento.

Tabela 18 - ANOVA: resposta umidade tilápia

Fator	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	p
x	0,75	1,00	0,75	0,20	0,67
x ²	4,98	1,00	4,98	1,34	0,30
y	7,65	1,00	7,65	2,06	0,21
y ²	0,62	1,00	0,62	0,17	0,70
xy	4,86	1,00	4,86	1,31	0,30
Erro	18,54	5,00	3,71		
TOTAL	36,37	10,00			

Aplicando o teste F com os resultados acima, temos:

$$F_{calculado} = \frac{\sum F_{fatores}}{\sum GL} = \frac{0,20+1,34+2,06+0,17+1,31}{1+1+1+1+1} = 1,02 \quad (4.11)$$

Da tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 5% (BARROS NETO, *et al.*, 2007, página 473), temos:

$$F_{tabelado} (5;5;0,05) = 5,05 \quad (4.12)$$

Desta forma, como $F_{calculado} < F_{tabelado}$, o modelo obtido não é válido ao nível de significância de 5% e não representa os dados experimentais obtidos dentro da faixa estabelecida nos níveis para as variáveis em estudo. A ANOVA mostra, também, que $R^2 = 0,490$.

A validade ou não do modelo verificada na ANOVA está associada aos gráficos dos coprodutos, mostrados a seguir, onde se verifica que a aleatoriedade dos coprodutos não é boa e que há a presença de *outliers* (gráfico da probabilidade normal dos coprodutos).

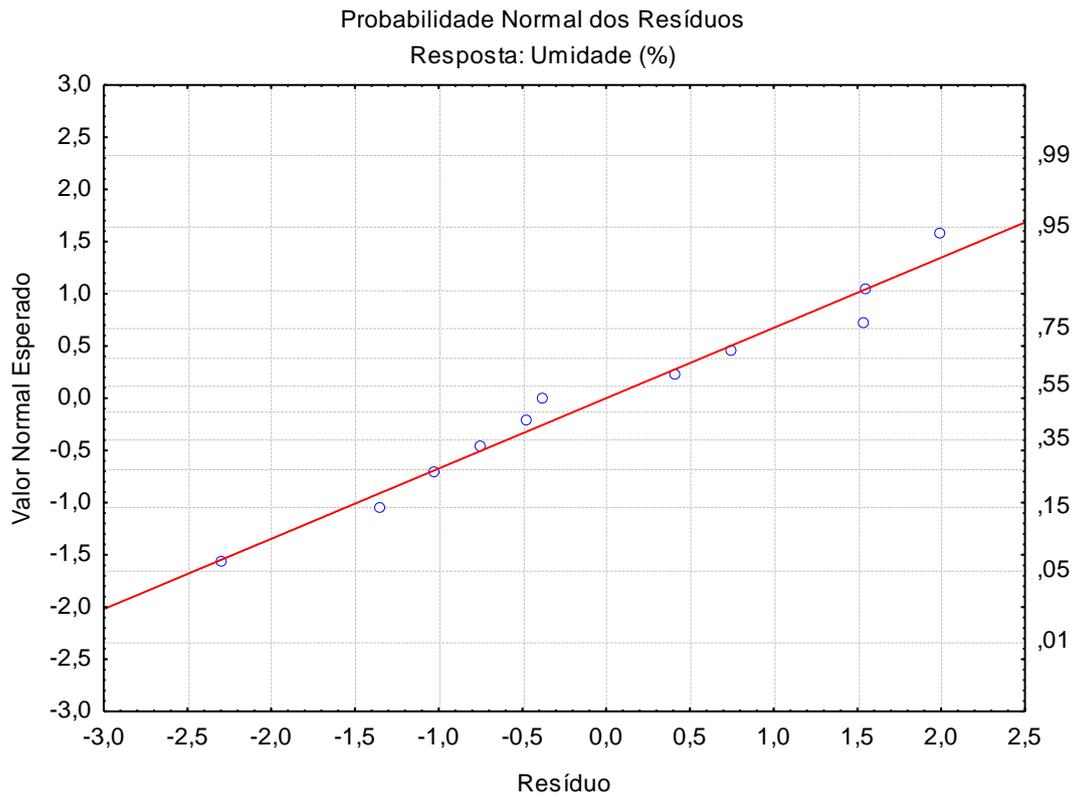


Figura 21 - Probabilidade normal dos coprodutos: resposta umidade tilápia

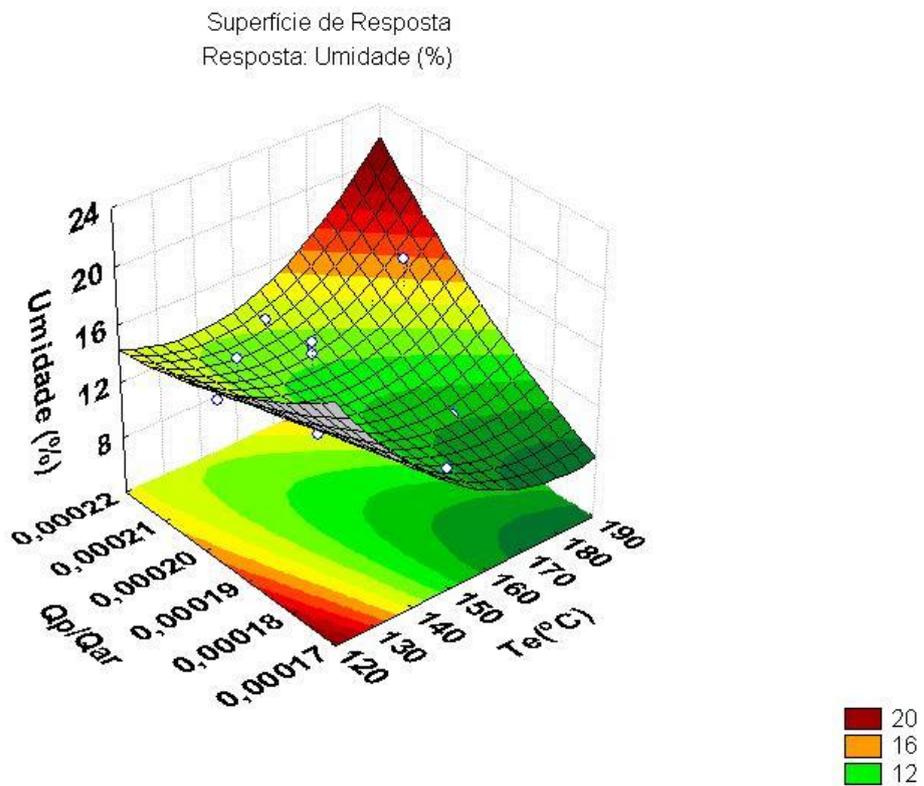


Figura 22 - Superfície de resposta: resposta umidade tilápia

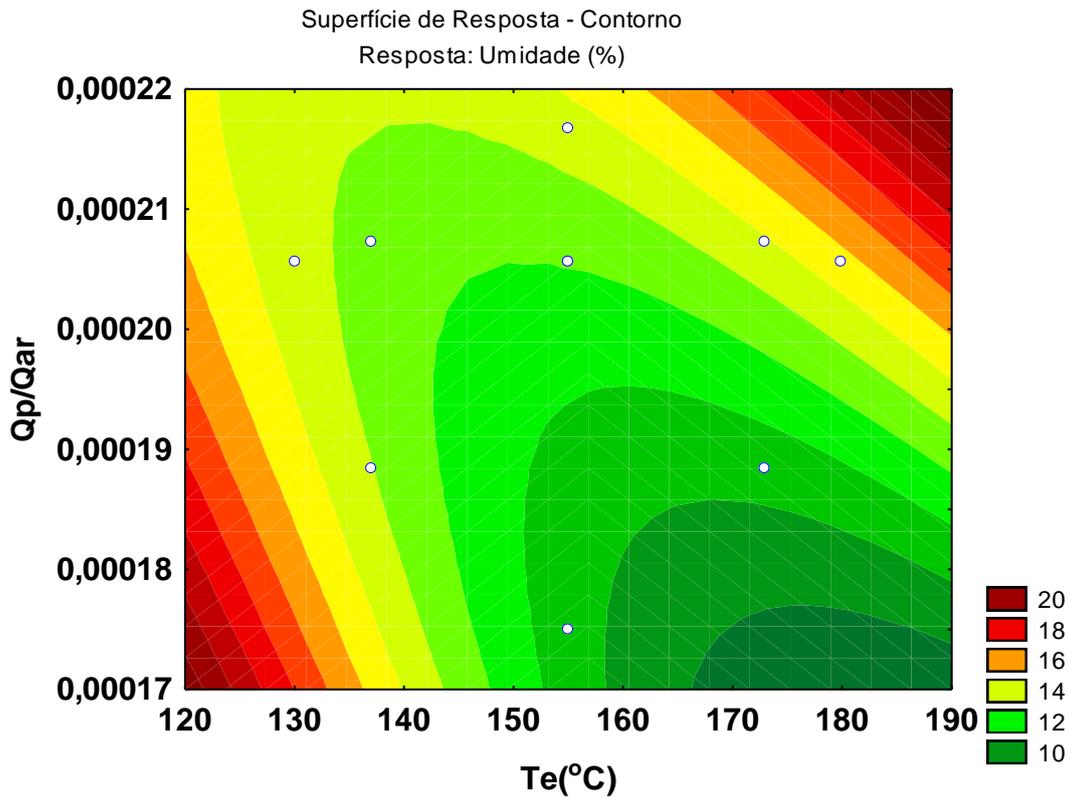


Figura 23 - Superfície de contorno: resposta umidade tilápia

Observando as figuras 22 e 23, pode-se ver que os resultados de umidade estão bastante distribuídos com relação à temperatura. No extremo mais baixo, em 130 °C, a umidade obtida foi de 12,40%, semelhante à obtida na região do ponto central e com a mesma razão entre vazões de produto e ar. Para o extremo mais alto, 180 °C, a razão entre as vazões também foi a do ponto central. Isto pode ajudar a explicar a alta umidade obtida para este ponto, pois, como citado anteriormente, aumentos nas taxas de vazão promovem tempos de contato menores entre o produto e o meio de secagem, diminuindo as taxas de transferência de calor e massa.

4.2.2. Planejamento experimental para o resultado proteína

Na Tabela 19 estão os dados do planejamento experimental executado para os teores de proteína bruta das amostras de hidrolisado desidratado de tilápia.

Tabela 19 - Planejamento codificado estrela para duas variáveis codificadas: resposta proteína tilápia

Ensaio	TE(°C) (x)	Qp/Qar (y)	Proteína (%) (z)
1	-1	-1	75,91
2	1	-1	83,55
3	-1	1	76,27
4	1	1	78,38
5	0	0	77,87
6	0	0	78,18
7	0	0	76,06
8	-1,41	0	82,40
9	0	1,41	80,25
10	1,41	0	86,15
11	0	-1,41	75,98

O maior teor de proteína foi obtido no ensaio 10, que corresponde ao nível positivo de temperatura e zero para a razão produto/ar. Neste ensaio, a temperatura de entrada utilizada foi de 180 °C (máxima) e vazões de ar e produto intermediárias (iguais às do ponto central). Analisando a Tabela de Efeitos (Tabela 20) e o Gráfico de Pareto (Figura 24), vemos que além do intercepto, a variável temperatura, em suas formas linear e quadrática, tem efeito significativo sobre a resposta proteína. O menor teor de proteína foi obtido para o ensaio 1.

Tabela 20 - Estimativa dos efeitos: resposta proteína tilápia

Fator	Efeito	Erro Padrão	t(5)	P	Coefficiente	Erro Padrão do Coeficiente
Média/Intercepto	76,11	1,63	46,59	0,00	76,11	1,63
x	4,91	1,87	2,63	0,05	2,46	0,93
x ²	6,42	2,19	2,93	0,03	3,21	1,09
y	1,31	1,31	1,00	0,36	0,66	0,65
y ²	0,71	1,06	0,66	0,54	0,35	0,53
xy	-2,73	2,03	-1,34	0,24	-1,37	1,02

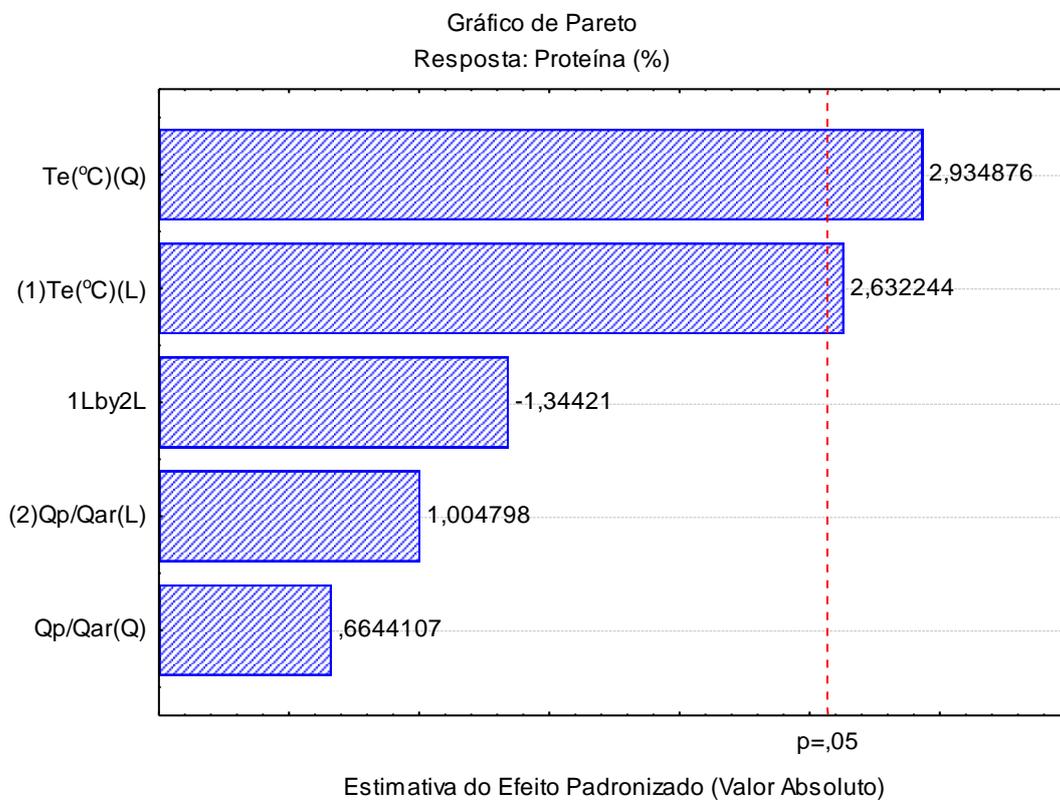


Figura 24 - Gráfico de Pareto: resposta proteína tilápia

A partir destes dados foi obtido o seguinte modelo quadrático:

$$z = 76,11 + 2,46x + 3,21x^2 + 0,66y + 0,35y^2 - 1,37xy \quad (4.13)$$

A Tabela 21 mostra a análise de variância (ANOVA) para o ajuste do modelo acima aos dados da matriz de planejamento.

Tabela 21 - ANOVA: resposta proteína tilápia

Fator	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	p
x	38,21	1,00	38,21	6,93	0,05
x ²	47,50	1,00	47,50	8,61	0,03
y	5,57	1,00	5,57	1,01	0,36
y ²	2,43	1,00	2,43	0,44	0,54
xy	9,96	1,00	9,96	1,81	0,24
Erro	27,57	5,00	5,51		
TOTAL	121,68	10,00			

Aplicando o teste F com os resultados acima, temos:

$$F_{calculado} = \frac{\sum F_{fatores}}{\sum GL} = \frac{6,93+8,61+1,01+0,44+1,81}{1+1+1+1+1} = 3,76 \quad (4.14)$$

Da tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 5% (BARROS NETO, *et al.*, 2007, página 473), temos:

$$F_{tabelado} (5;5;0,05) = 5,05 \quad (4.15)$$

Desta forma, como $F_{calculado} < F_{tabelado}$, o modelo obtido não é válido ao nível de significância de 5% e não representa os dados experimentais obtidos dentro da faixa estabelecida nos níveis para as variáveis em estudo. A ANOVA mostra, também, que $R^2 = 0,773$ e $R^2_{ajustado} = 0,546$.

A validade ou não do modelo verificada na ANOVA está associada aos gráficos dos coprodutos, mostrados a seguir, onde se verifica que a aleatoriedade dos coprodutos não é boa e que há a presença de *outliers* (gráfico da probabilidade normal dos coprodutos).

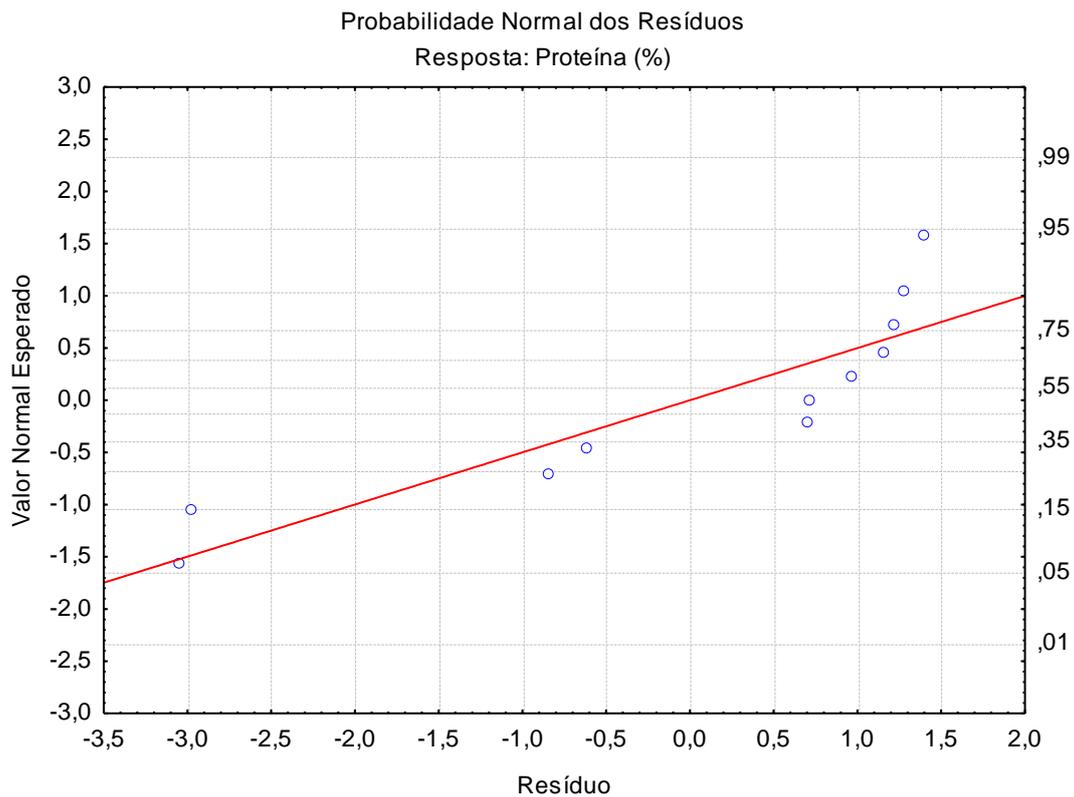


Figura 25 - Probabilidade normal dos coprodutos: resposta proteína tilápia

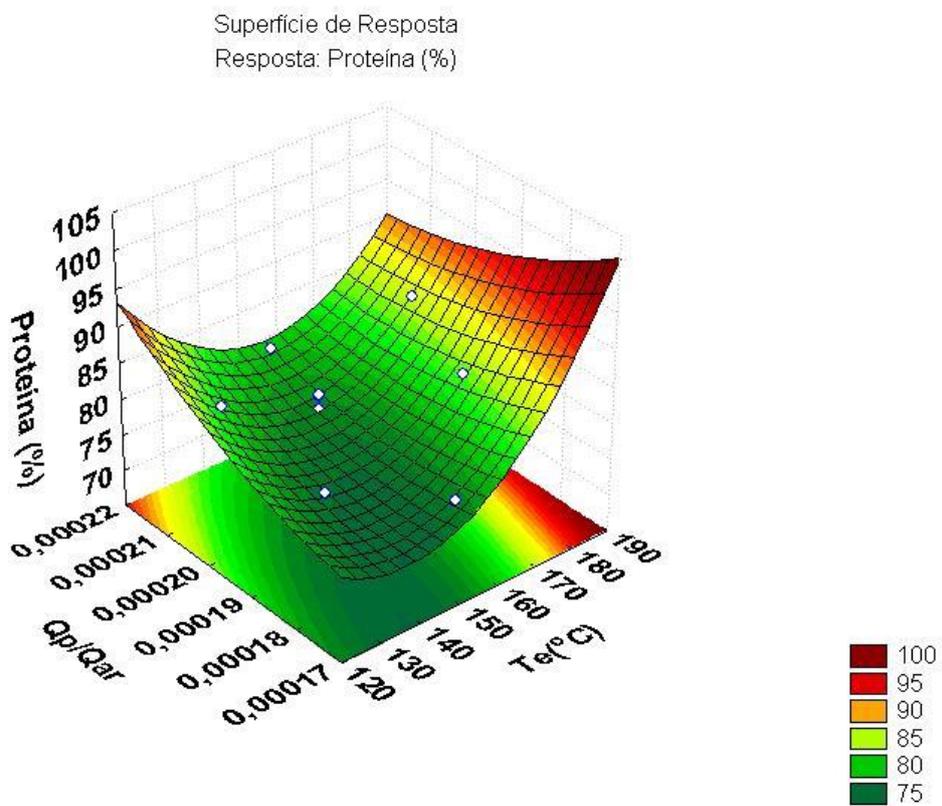


Figura 26 - Superfície de resposta: resposta proteína tilápia

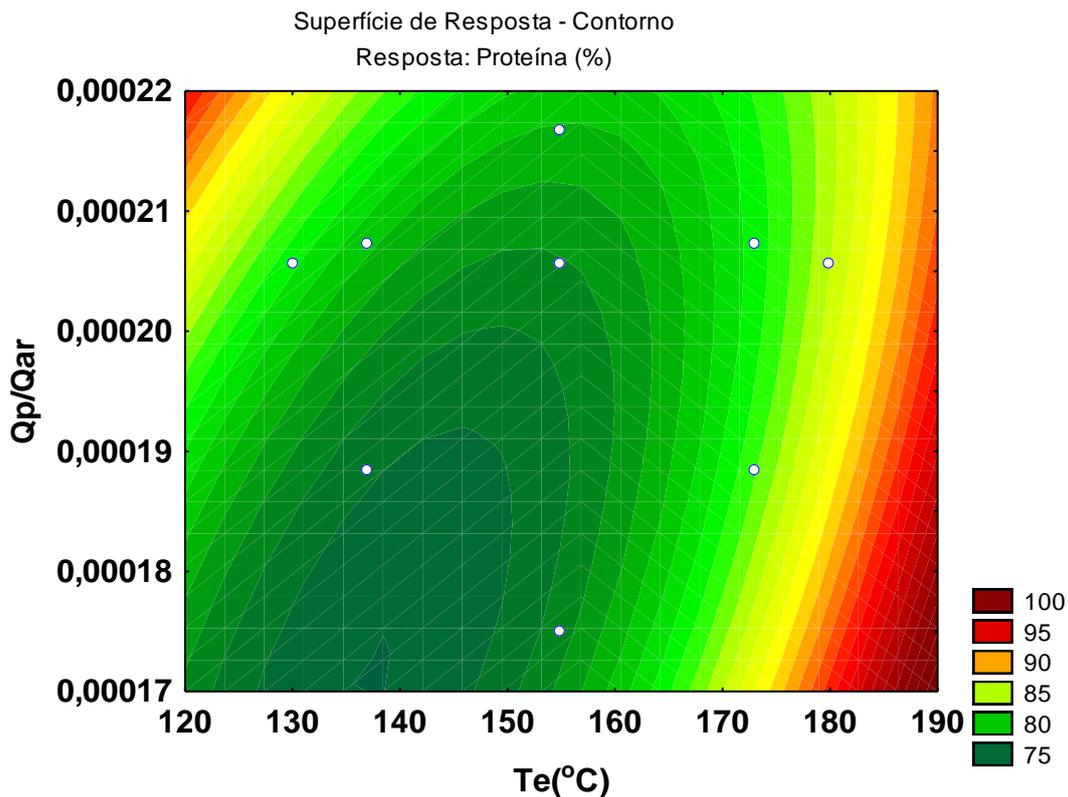


Figura 27 - Superfície de contorno: resposta proteína tilápia

Como pode ser observado nas figuras 26 e 27, os maiores teores de proteína estão localizados nos extremos da superfície, melhor distribuídos em temperaturas mais altas e concentrados nas relações entre as vazões de produto e ar acima do ponto central. Também de acordo com o Gráfico de Pareto (Figura 27), fica claro que a temperatura é o parâmetro que exerce maior influência sobre os teores de proteína, mas que uma melhor dispersão da alimentação durante o processo de secagem também favorece a elevação dos teores de proteína.

4.3. Isotermas de sorção

Abaixo estão os resultados obtidos da análise de sorção dinâmica de vapor (DVS).

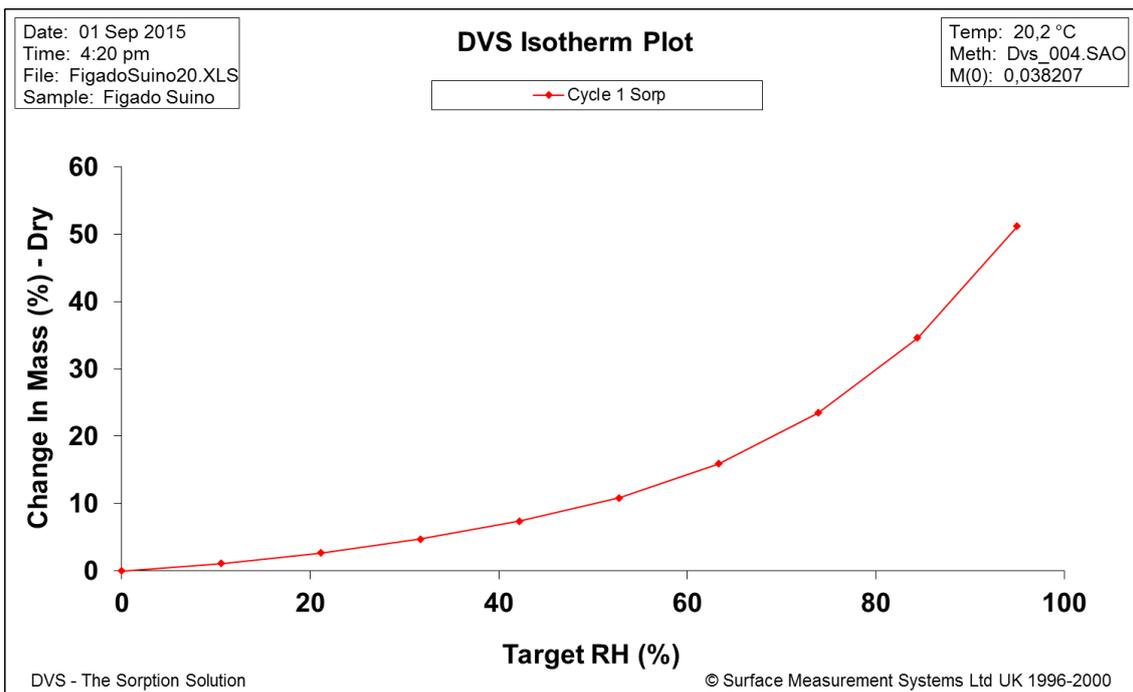


Figura 28 - Isoterma de sorção para fígado suíno (T=20 °C)

Tabela 22 - Dados da isoterma de sorção para fígado suíno (T=20 °C)

Alvo RH (%)	Mudança na Massa (%)
	Sorção
0,0	0,00
10,6	1,06
21,1	2,64
31,7	4,71
42,2	7,39
52,8	10,83
63,3	15,89
73,9	23,44
84,4	34,59
95,0	51,20

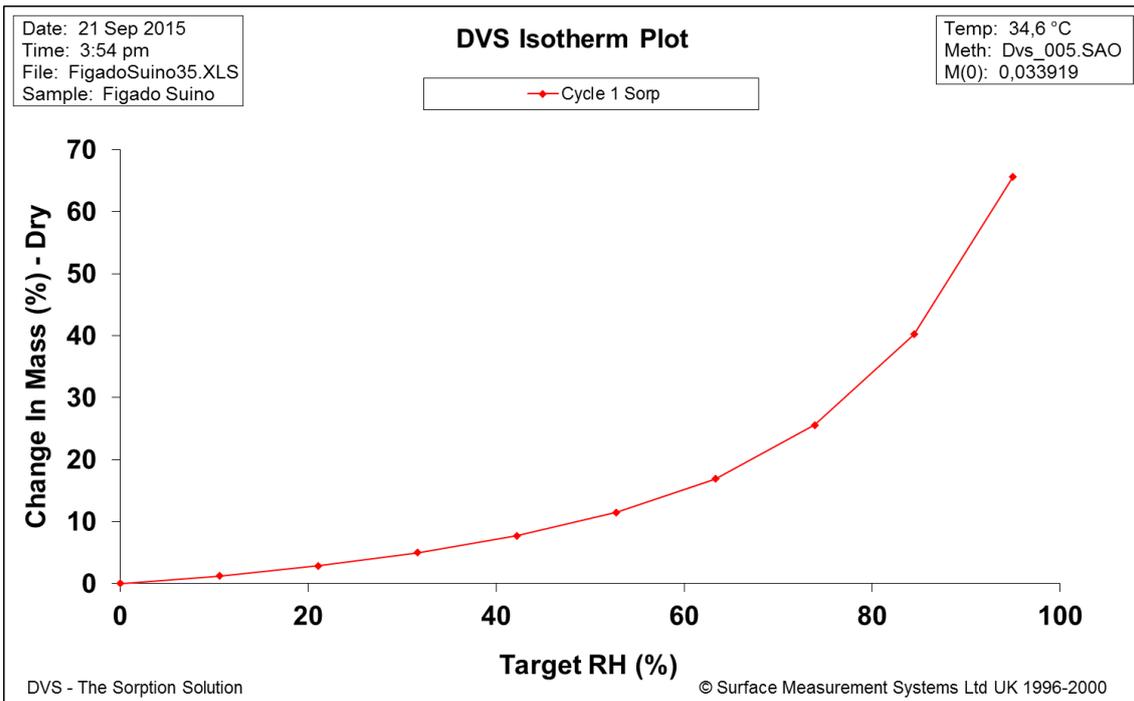


Figura 29 - Isoterma de sorção para fígado suíno (T=35 °C)

Tabela 23 - Dados da isoterma de sorção para fígado suíno (T=35 °C)

Alvo RH (%)	Mudança na Massa (%)
	Sorção
0,0	0,00
10,6	1,06
21,1	2,64
31,7	4,71
42,2	7,39
52,8	10,83
63,3	15,89
73,9	23,44
84,4	34,59
95,0	51,20

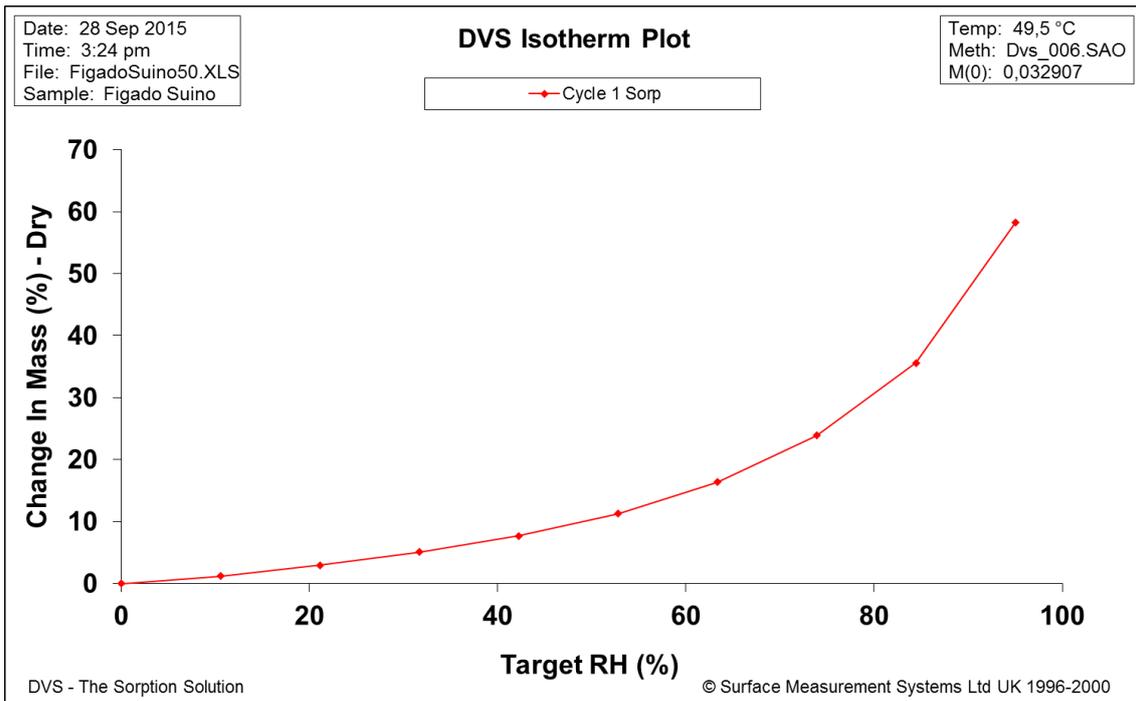


Figura 30 - Isoterma de sorção para fígado suíno (T=50 °C)

Tabela 24 - Dados da isoterma de sorção para fígado suíno (T=50 °C)

Alvo RH (%)	Mudança na Mass (%)
	Sorção
0,0	0,00
10,6	1,22
21,1	2,95
31,7	5,09
42,2	7,72
52,8	11,30
63,3	16,34
73,9	23,88
84,4	35,59
95,0	58,22

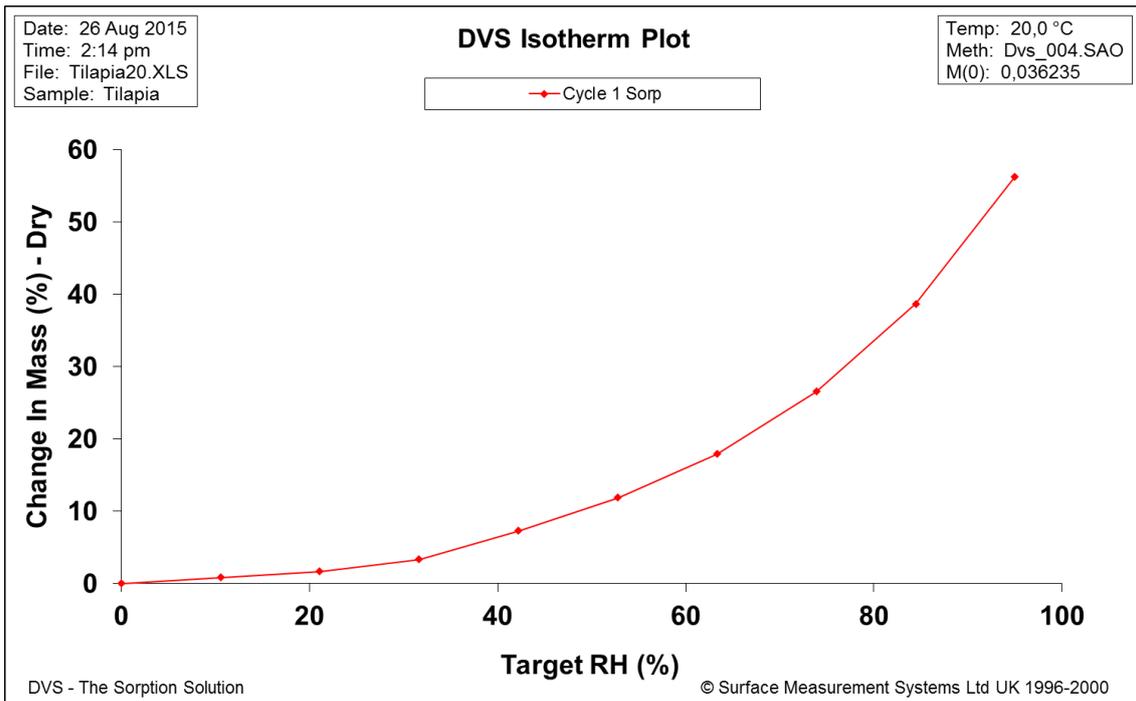


Figura 31 - Isotherma de sorção para tilápia (T=20 °C)

Tabela 25 - Dados da isoterma de sorção para tilápia (T=20 °C)

Alvo RH (%)	Mudança na Massa (%)
	Sorção
0,0	0,00
10,6	0,83
21,1	1,69
31,7	3,36
42,2	7,29
52,8	11,89
63,3	17,93
73,9	26,59
84,4	38,69
95,0	56,28

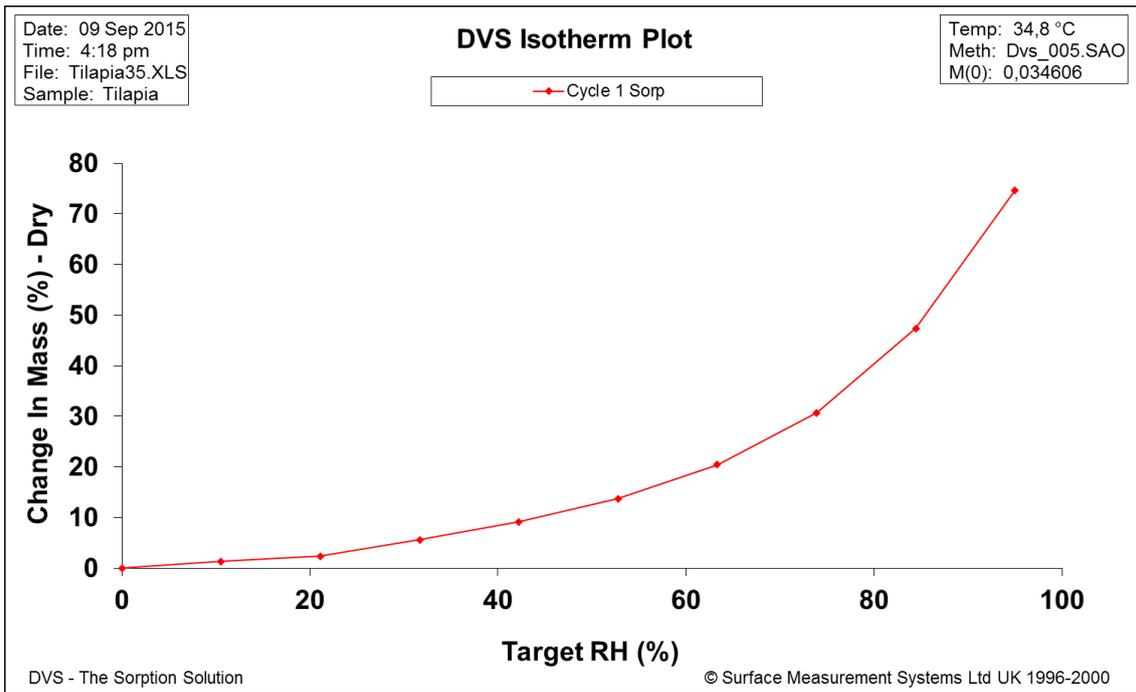


Figura 32 - Isoterma de sorção para tilápia (T=35 °C)

Tabela 26 - Dados da isoterma de sorção para tilápia (T=35 °C)

Alvo RH (%)	Mudança na Massa (%)
	Sorção
0,0	0,00
10,6	1,28
21,1	2,37
31,7	5,55
42,2	9,10
52,8	13,70
63,3	20,39
73,9	30,68
84,4	47,36
95,0	74,69

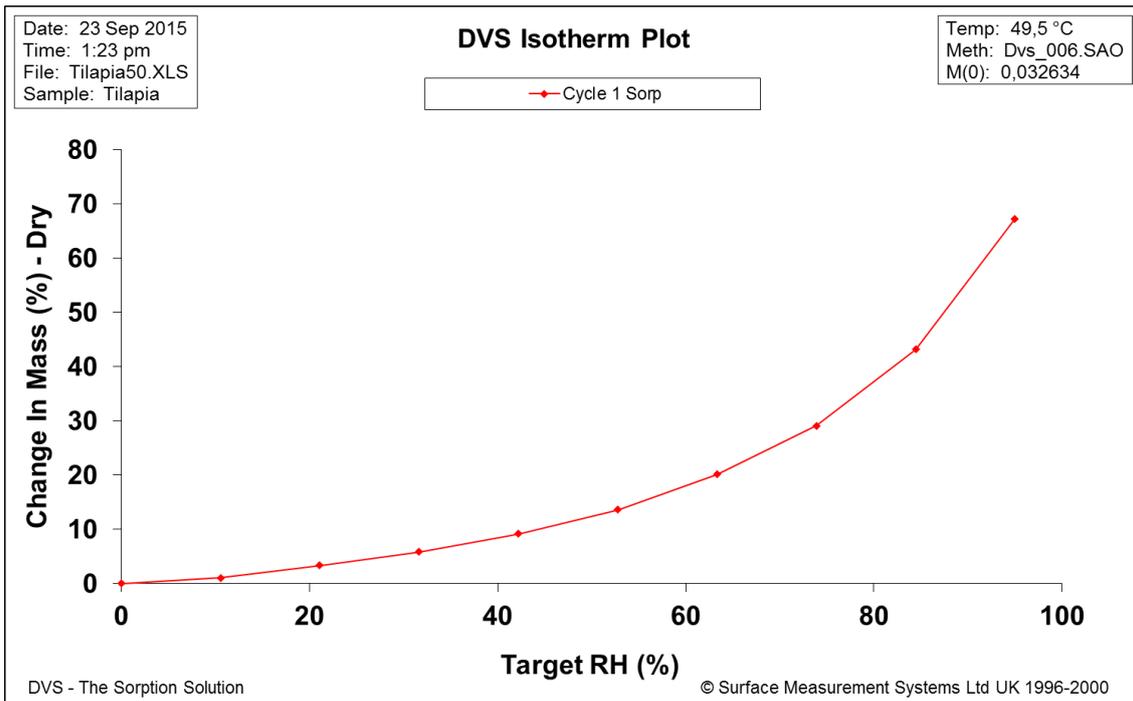


Figura 33 - Isotherma de sorção para tilápia (T=50 °C)

Tabela 27 - Dados da isoterma de sorção para tilápia (T=50 °C)

Alvo RH (%)	Mudança na Massa (%)
	Sorção
0,0	0,00
10,6	1,04
21,1	3,34
31,7	5,86
42,2	9,19
52,8	13,65
63,3	20,13
73,9	29,11
84,4	43,21
95,0	67,30

Para a determinação das isotermas foram realizadas medidas de umidade de equilíbrio nas temperaturas de 20, 35 e 50 °C. Os valores experimentais da umidade de equilíbrio, para cada temperatura, foram ajustados e avaliados, utilizando-se os modelos de Langmuir, BET, Chung e Pfof e GAB. As Tabelas 28 e 29 apresentam os valores ajustados dos parâmetros dos modelos de equilíbrio, respectivamente, para fígado suíno e hidrolisado de tilápia.

Tabela 28 - Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de sorção do hidrolisado de fígado suíno

MODELO	X _M			B			C			K		
	20 °C	35 °C	50 °C	20 °C	35 °C	50 °C	20 °C	35 °C	50 °C	20 °C	35 °C	50 °C
Langmuir	4708,760	716,147252	600,4201	-	-	-	0,0000777	0,000605	0,0006549	-	-	-
BET	0,538130	0,068430	0,061260	-	-	-	0,059000	1,185380	1,181580	-	-	-
Chung e Pfof	-	-	-	446,237	164,8494	100,1851	-0,173	-0,0237	-0,0584	0,220	0,1954	0,4269
GAB	5,80802	0,25352	0,1533	-	-	-	2,67E-02	0,47704	0,8861	0,61760	0,80554	0,8377

Tabela 29 - Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de sorção do hidrolisado de tilápia

MODELO	X _M			B			C			K		
	20 °C	35 °C	50 °C	20 °C	35 °C	50 °C	20 °C	35 °C	50 °C	20 °C	35 °C	50 °C
Langmuir	5205,043	6133,920	5886,909	-	-	-	0,000077	0,000082	0,00008	-	-	-
BET	0,061120	0,548200	0,545010	-	-	-	1,174160	0,084320	0,076750	-	-	-
Chung e Pfof	-	-	-	201,184	544,9401	-98,3901	-0,012	-0,3743	-0,0303	0,127	0,2662	0,1862
GAB	19,05629	5,7126	0,3035	-	-	-	8,95E-03	2,86E-02	5,30E-01	0,61474	0,669	0,7713

As Tabelas 30 e 31 apresentam o resultado da análise estatística, realizada com base nos dados experimentais e naqueles obtidos pelos modelos de equilíbrio simplificados.

Tabela 30 - Avaliação estatística dos ajustes dos modelos aos dados experimentais de isotermas de sorção do hidrolisado de fígado suíno

MODELO	R ²			SQR			AIC		
	20 °C	35 °C	50 °C	20 °C	35 °C	50 °C	20 °C	35 °C	50 °C
Langmuir	0,822	0,762	0,784	0,05680	0,11341	0,08012	-45,70	-38,79	-42,26
BET	0,817	0,875	0,867	0,05456	0,05435	0,04777	-46,11	-46,14	-47,44
Chung e Pfof	0,994	0,990	0,995	0,00234	0,00791	0,07586	-75,58	-63,42	-40,81
GAB	0,999	0,999	0,999	0,00002	0,00004	0,00001	-125,146	-116,81	-136,90

Tabela 31 - Avaliação estatística dos ajustes dos modelos aos dados experimentais de isotermas de sorção do hidrolisado de tilápia

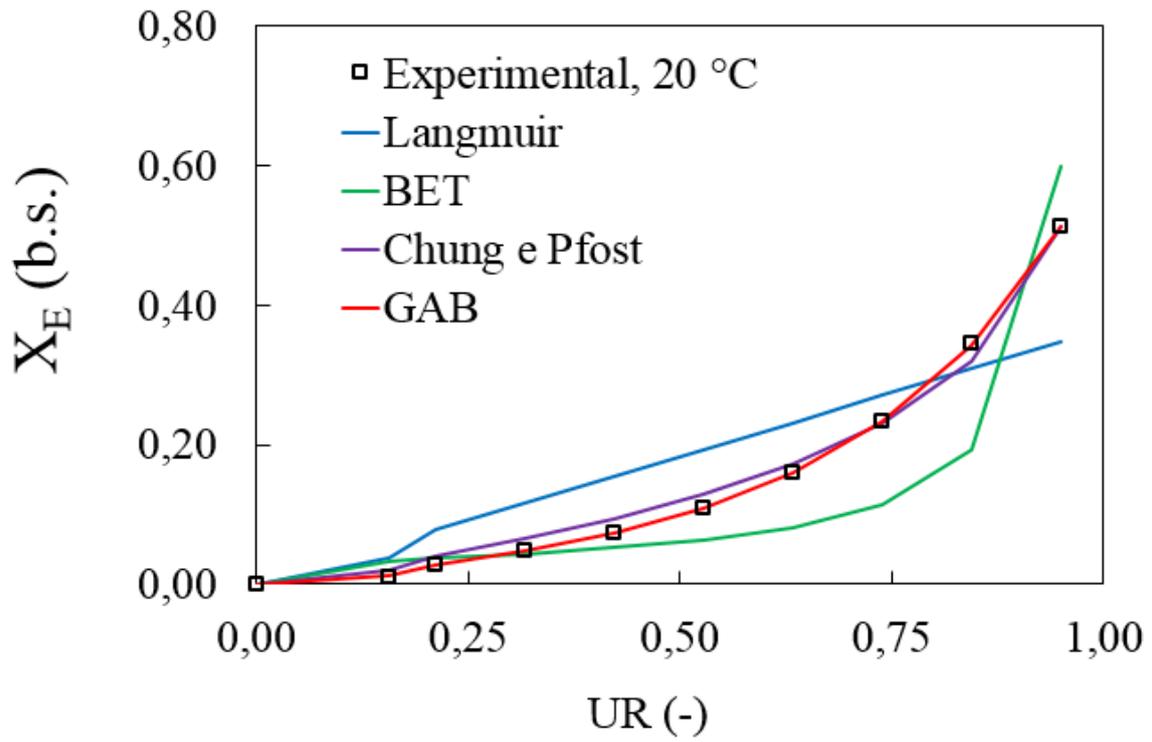
MODELO	R ²			SQR			AIC		
	20 °C	35 °C	50 °C	20 °C	35 °C	50 °C	20 °C	35 °C	50 °C
Langmuir	0,827	0,782	0,806	0,07426	0,14254	0,10276	-43,02	-36,50	-39,77
BET	0,797	0,854	0,842	0,07177	0,08401	0,07833	-43,368	-41,79	-42,49
Chung e Pfo	0,989	0,992	0,996	0,00539	0,00920	0,00393	-67,25	-61,91	-70,40
GAB	0,998	0,999	0,999	0,00069	0,00007	0,00002	-87,77	-110,90	-121,05

A partir dos resultados das Tabelas 30 e 31, é possível verificar que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de GAB, tanto para o hidrolisado desidratado de fígado suíno, quanto para o hidrolisado de tilápia.

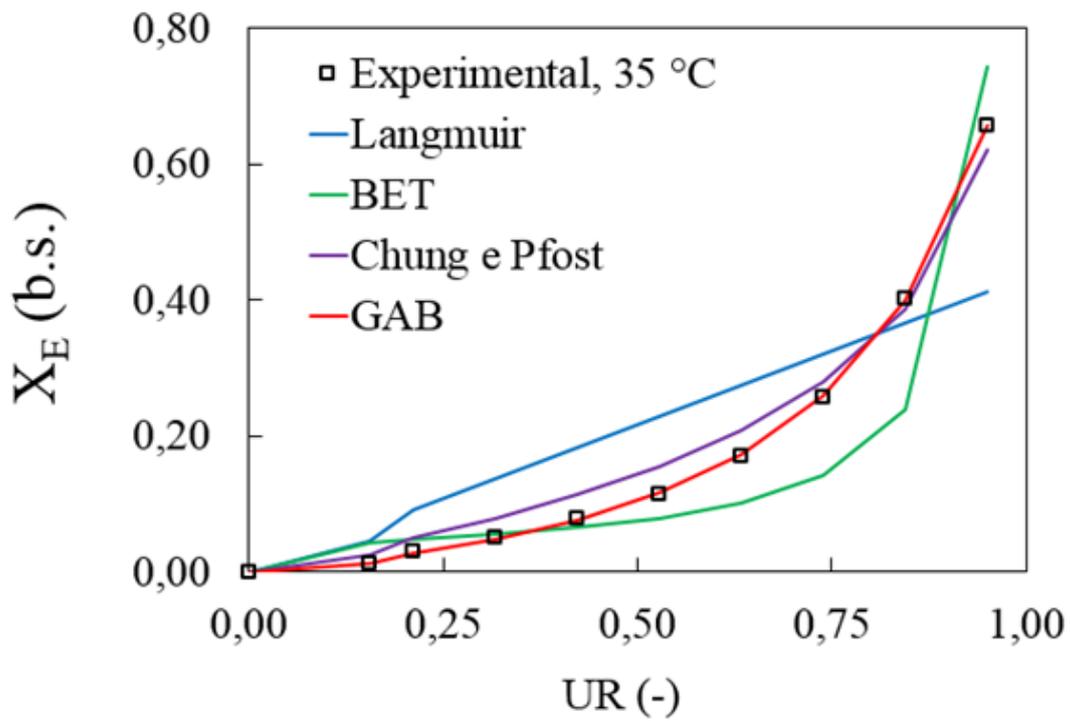
Uma das grandes vantagens deste modelo é seu embasamento teórico, uma vez que é um refinamento das teorias de adsorção física de Langmuir e BET. Ele postula que o estado das moléculas adsorvidas na segunda camada é idêntico àquele que ocorre em camadas superiores, mas diferente do que ocorre no estado líquido. Esta isoterma tem uma constante K que mede a diferença de potencial químico padrão entre as moléculas deste segundo estágio e aquelas do líquido em estado puro (ANDRADE *et al.*, 2011).

Para este modelo, os valores do coeficiente de determinação, R^2 , foram superiores a 0,99 em todas as condições estudadas. Já a soma do quadrado dos coprodutos, SQR, calculada para as três temperaturas estudadas, apresentou valores menores quando utilizado o modelo de GAB. Esses dois estudos estatísticos condizem com aquele obtido pelo Critério de Seleção Akaike, AIC, em que foi observado que o modelo de GAB apresentou os menores valores de AIC, para as três temperaturas. Assim, o modelo de GAB descreveu mais adequadamente o comportamento de equilíbrio tanto para o hidrolisado de fígado suíno quanto para o hidrolisado de tilápia.

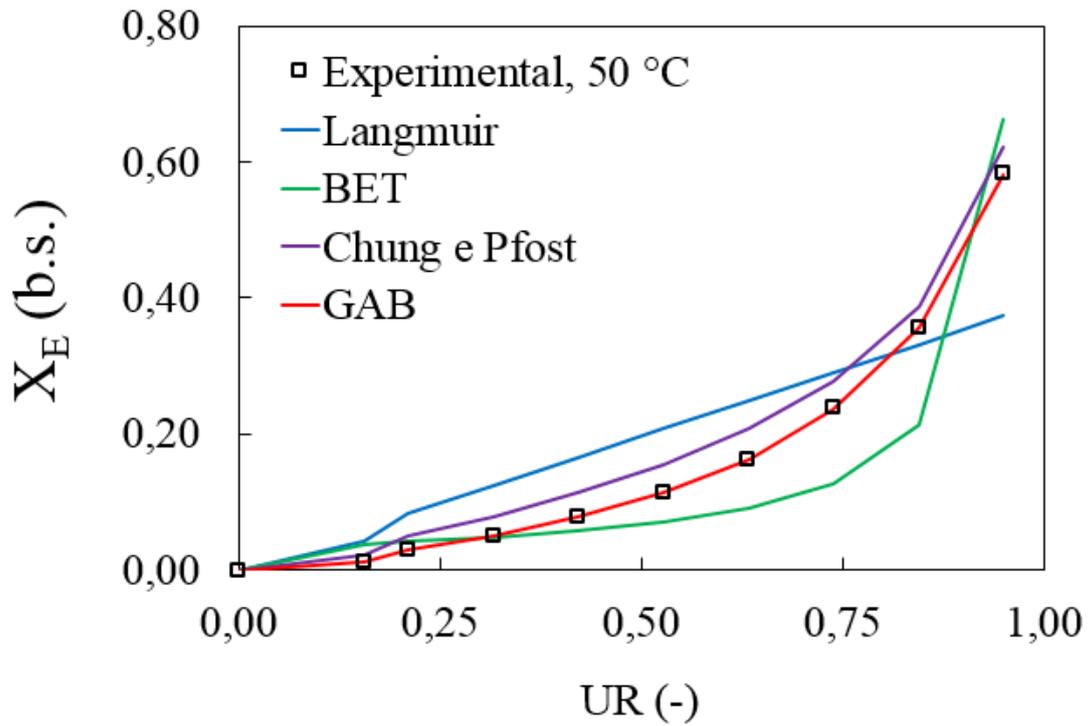
As Figuras 34 e 35 apresentam os dados experimentais e os ajustados pelos modelos listados na Tabela 3 para as temperaturas de 20, 35 e 50 °C, respectivamente para o fígado suíno e para a tilápia.



(a)

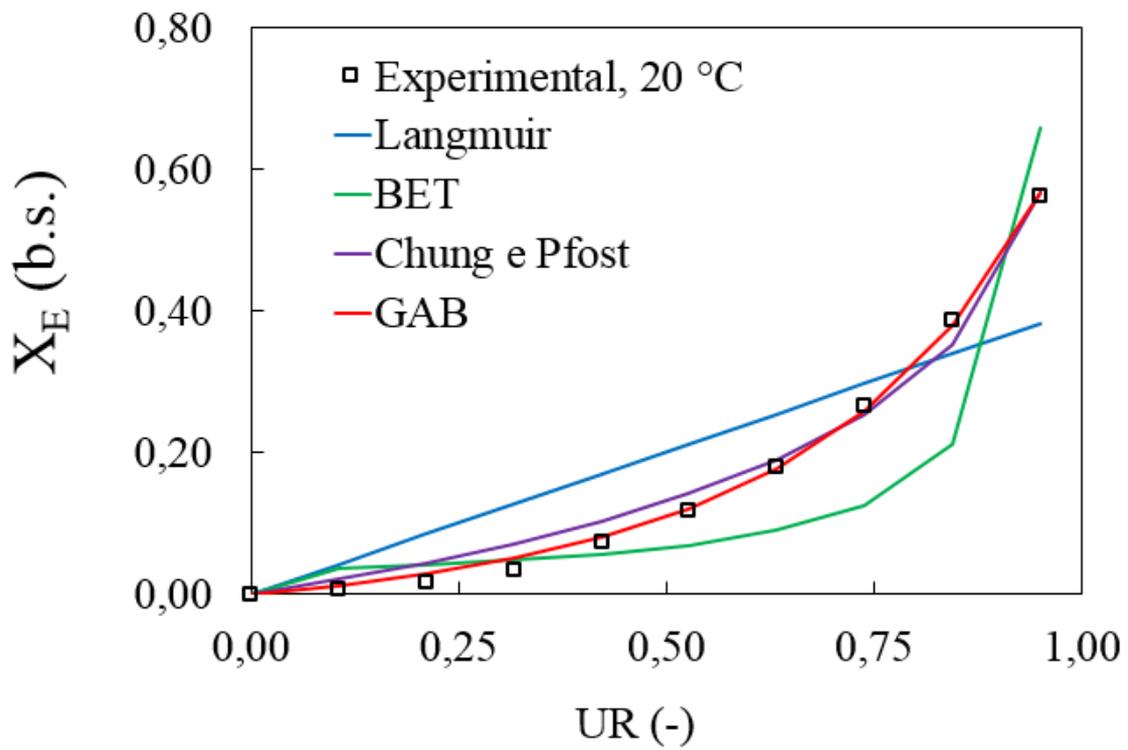


(b)

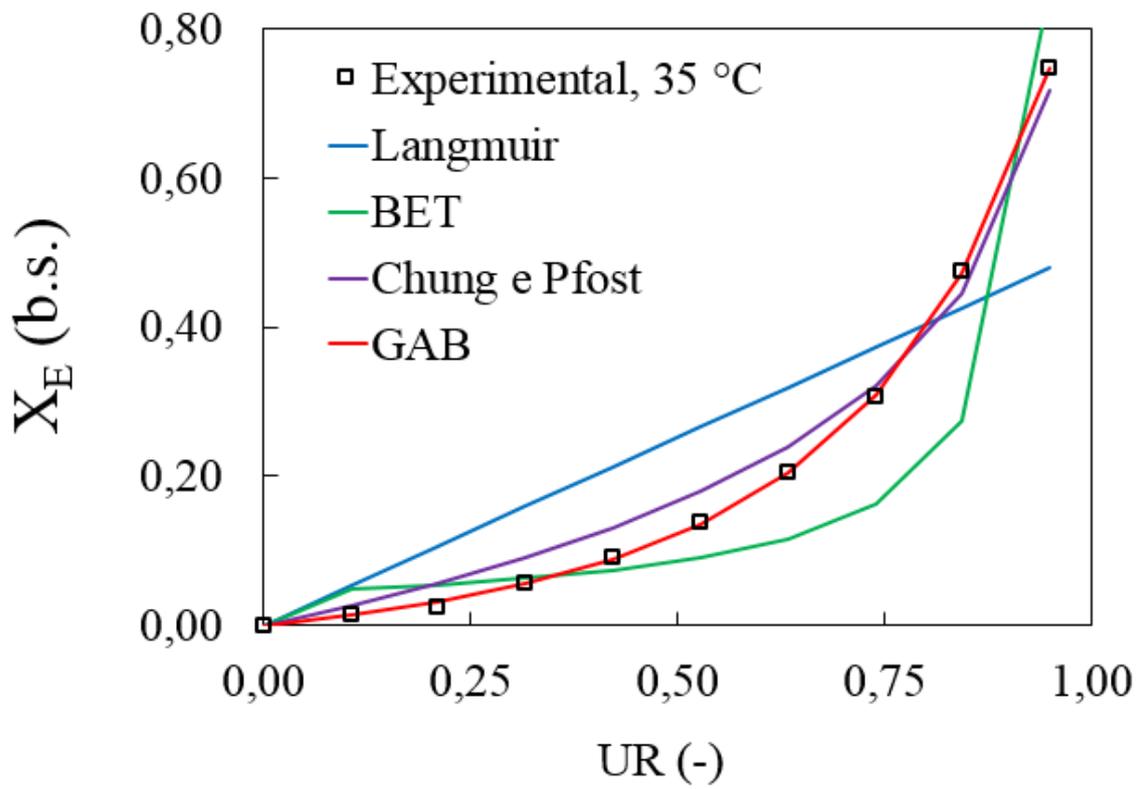


(c)

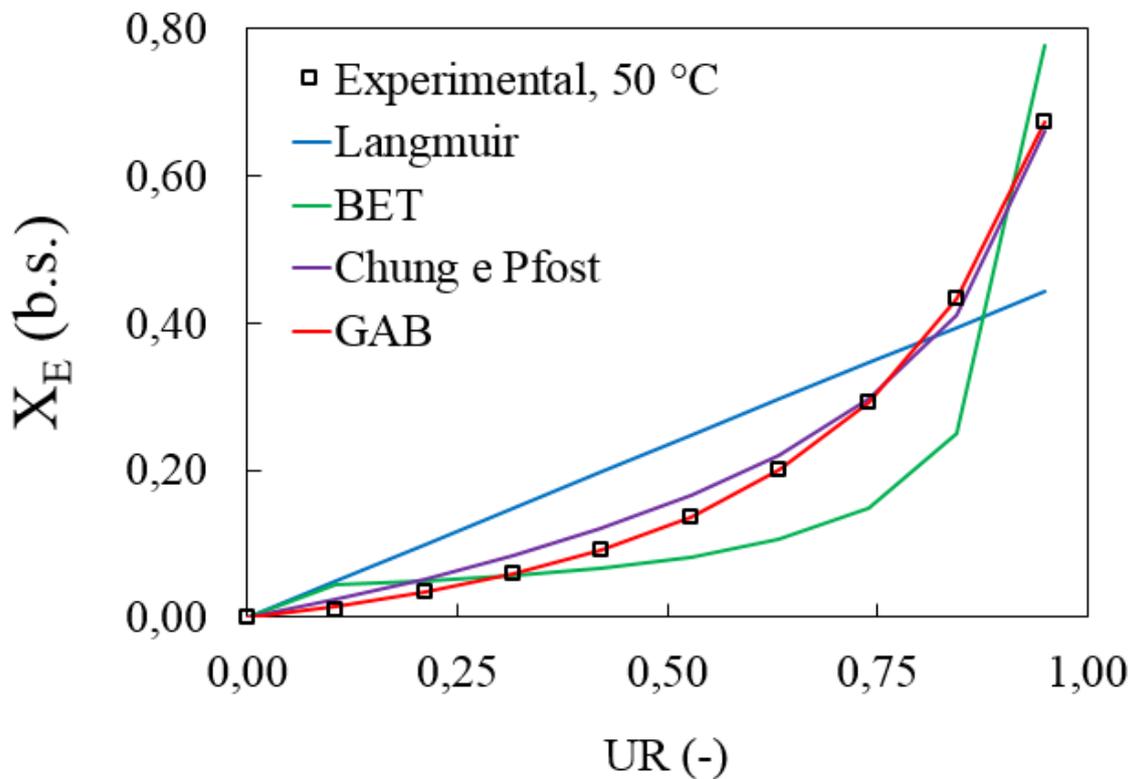
Figura 34 - Ajuste dos modelos da Tabela 3 aos dados experimentais de equilíbrio para o hidrolisado de fígado suíno – (a) 20 °C; (b) 35 °C; (c) 50 °C



(a)



(b)



(c)

Figura 35 - Ajuste dos modelos da Tabela 3 aos dados experimentais de equilíbrio para o hidrolisado de tilápia – (a) 20 °C; (b) 35 °C; (c) 50 °C

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir ao final deste estudo, que altas temperaturas do ar de secagem aliadas a vazões de alimentação mais dispersas em volumes de ar de secagem maiores, favorecem a formação de produtos com umidades mais baixas. Nesta condição operacional, há o aumento da superfície de troca térmica entre o produto e o meio de secagem, favorecendo a troca térmica e a transferência de massa. É, portanto, possível se chegar a um ponto ótimo de operação em temperaturas moderadas e energeticamente mais econômicas, uma vez que, para produtos desidratados destinados à utilização como ingrediente em rações animais, o limite máximo de umidade é de 10%. Este critério foi atendido para sete dos onze ensaios com fígado suíno, mas para apenas um dos ensaios com o produto de tilápia.

Para o teor de proteína bruta, os resultados se mostraram opostos. Os melhores teores de proteína para fígado suíno foram obtidos em temperaturas de ar de secagem mais baixas e o parâmetro mais influente neste resultado foi a razão entre as vazões de produto e ar. Para o produto de tilápia, o maior teor de proteína foi obtido na temperatura mais alta. Este foi o parâmetro que mais influenciou neste resultado. Há que se considerar o teor de gordura da tilápia, maior do que o do fígado suíno, fator este que pode influenciar o desempenho da secagem. Esta propriedade não foi avaliada. Logo, investigações adicionais são necessárias para se chegar a condição ótima de secagem.

Para a distribuição do tamanho de partículas das amostras de hidrolisado proteico desidratado de fígado suíno, ficou evidenciado que, quanto maior a razão entre as vazões de produto e ar de secagem, mais dispersa será a névoa formada dentro da câmara de secagem e, conseqüentemente, menores serão as gotículas e as partículas formadas. Isto é válido para quaisquer formas de atomização, seja por bico de atomização de duplo fluido, onde um aumento da pressão de atomização promove maior dispersão, ou para atomizadores rotativos, onde a velocidade de giro do disco causará este efeito.

As isotermas obtidas para ambos os produtos estão de acordo com curvas típicas para alimentos encontradas na literatura. Com base nos resultados obtidos pela análise DVS, o modelo que melhor ajustou os dados experimentais

às três temperaturas estudadas foi o de GAB. Este resultado poderá ser utilizado em estudos posteriores para o cálculo de propriedades termodinâmicas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUL-HAMID, A.; BAKAR, J.; BEE, G.H. **Nutritional quality of spray dried protein hydrolysate from Black Tilapia (*Oreochromis mossambicus*).** Food Chemistry. v.78,p.69-74, 2002.
- AKAIKE, H. **A new look at the statistical model identification.** IEEE Transactions on Automatic Control, 1974. 19 (6): 716–723.
- Al-ASHEH, S. et al. The use of experimental factorial design for analysing the effect of spray dryer operating variables on the production of tomato powder. **Transaction Institute Chemical Engineering**, v. 81, Part C, p. 81-88, 2003.
- ANDRADE, LÍVIA. **Mapeamento do SEBRAE revela o boom da produção de tilápia.** In: Revista Globo Rural, Janeiro 2015. Disponível em <http://revistagloborural.globo.com/Empreender/noticia/2015/01/o-boom-da-producao-de-tilapia.html>. Acesso em: 03 outubro 2015.
- ANDRADE, R.; LEMUS, R.; PÉREZ, C. **Models of sorption isotherms for food: uses and limitaiions.** Revista de La Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. v. 18, n. 3, p. 325-334. 2011.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis.** 13. ed. Arlington, AOAC International. 1995.
- APROVA – Associação dos Produtores do Vale do Araguaia. **Consumo de subprodutos animais está em crescimento no mundo, e agregar valor é o desafio.** Disponível em <http://www.aprovabrasil.com.br/noticias.php?cod=1635>. Acesso em: 19 outubro 2015.

- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos**. 3ª ed. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2007.
- BARROZO, M. A. S. **Transferência de Calor e Massa entre o Ar e Sementes de Soja em Leito Deslizante e Escoamentos Cruzados**. São Carlos – SP: PPG-EQ/UFSCar, 1995. 163 p. Tese (Doutorado).
- BRUNAUER, S.; EMMETT, T. H.; TELLER, F. **Adsorption of gases in multimolecular layers**. In: G. Am. Chem. Soc., [s.n.], v. 60, n. 2, p. 309-319. 1938.
- CARVALHO, Fabiano de. **Construção e avaliação de desempenho de um *spray dryer* piloto**. Lavras: UFLA, 2012. 167p. Tese (Doutorado).
- CELESTINO, Sonia Maria Costa. **Princípios de secagem de alimentos**. Documentos 276. Embrapa Cerrados. Janeiro 2010.
- CHALAMAIAH, M.; DINESH KUMAR, B.; HEMALATHA, R.; JYOTHIRMAYI, T. **Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: a review**. Food Chemistry, v.135, p.3020-3038, 2012.
- CHEGINI, G.R.; GHOBADIAN, B. **Effect of spray drying conditions on physical properties of orange juice powder**. Drying Technology 23 (2005) 657-668.
- CHEGINI, G.; TAHERI, M. **Whey powder: process technology and physical properties: a review**. Middle-East Journal of Scientific Research 13 (10): 1377-1387, 2013.
- CHUNG, D.S.; PFOST, H. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. In: Transactions of the ASAE. v. 10, p. 594. 1967.
- DIETERICH, F.; BOSCOLO, W. F.; PACHECO, M. T. B.; SILVA, V. S. N.; GONÇALVES G. S.; VIDOTTI, R. M. **Development and characterization of protein hydrolysates originated from animal agro industrial**

byproducts. Journal of Dairy, Veterinary and Animal Research, v.1, p.1-7, 2014.

FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A.K.; OMID, M. **Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder.** Food Bioprod. Process. 90 (2012) 667-675.

FILHO, J.S.; TALAMINI, D.; MARTINS, F. **Distribuição espacial da produção de suínos no Brasil.** In: CIAS-EMBRAPA, 2011. Disponível em http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?option=com_content&view=article&id=59. Acesso em: 03 outubro 2015.

GEANKOPLIS, C.J., 1993, **Transport processes and unit operations.** 3rd ed. USA: Prentice–Hall, cap. 9, p. 521-583.

GUADIX , A.; GUADIX, E.M.; PÁEZ-DUEÑAS, M.P. **Procesos tecnológicos y métodos de control en la hidrólisis de proteínas.** Ars Pharmaceutica, v.41, p.79-89, 2000.

JÚNIOR, C. A. F; JÚNIOR, A. S. V. **Cultivo de tilápias no Brasil: origens e cenário atual.** In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008. Fortaleza-CE-Brasil. Disponível em <http://sober.org.br/palestra/9/178.pdf>. Acesso em: 07 outubro 2015.

KESSLER, A. M. **Ingredientes: seu potencial e suas restrições nas dietas de cães e gatos.** Departamento e Zootecnia da UFRGS, 2012. Disponível em <http://www.ufrgs.br/nutricao/caesegatos/images/alexandre.pdf>. Acesso em: 26 janeiro 2016.

KRISTINSSON, H.G.; RASCO, B.A. **Biochemical and Functional Properties of Atlantic Salmon (Salmosalar) Muscle Proteins Hydrolyzed with Various Alkaline Proteases.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. v.48, p.657-666, 2000.

LANGMUIR, I. **The adsorption of gases on plane surface of glass, mica and platinum.** J. Am. Chem. Soc., v. 40, p. 1361-1403, 1918.

MACHADO, J. **Cenário carnes 2014/2015.** Disponível em http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Aves_e_sui_nos/25RO/Cenário%20Carnes%202014%202015.pdf. Acesso em: 03 outubro 2015.

MACKIE, I. **General review of fish protein hydrolysates.** Animal Feed Science and Technology, v.7, n.2, p.113-124, 1982.

MAIA, W.M. **Adequação de processamento de silagens de coprodutos de 0,3tilápia, caracterização dos lipídios e da fração seca em pó.** 1998. 116f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

MINOSHIMA, H.; MATSUSHIMA, K.; LIANG, H.; SHINOHARA, K. **Basic model of spray drying granulation.** Journal of Chemical Engineering of Japan, v.34(4), p.472-478, 2001.

MINOSHIMA, H.; MATSUSHIMA, K.; LIANG, H.; SHINOHARA, K. **Estimation of diameter of granule prepared by spray drying of slurry with fast and easy evaporation.** Journal of Chemical Engineering of Japan, v.35(9), p.880-885, 2002.

MOLLER, J. T.; FREDSTED, S.; **A primer on spray drying.** GEA Niro. Chemical Engineering, 2009.

MORALES-MEDINA, R.; TAMM, F.; GUADIX, A.M.; GUADIX, E.M.; DRUSCH, S. **Functional and antioxidante properties of hydrolysates of sardine (*S. pilchardus*) and horse mackerel (*T. mediterraneus*) for the microencapsulation of fish oil by spray-drying.** Food Chemistry, v.194,

p.1208-1216, 2016. (Disponibilizado eletronicamente em 29 de agosto de 2015).

MORE SWATI, K.; WAGH, M. P. **Review on spray drying technology.** International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences, v.4(2), p.219-225, 2014.

MUZAFFAR, K.; PRADYUMAN, K. **Parameter optimization for spray drying of tamarindo pulp using response surface methodology.** Powder Technology 279 (2015) 179-184.

PARK, K. J.; NOGUEIRA, R. I. **Modelos de ajuste de isotermas de sorção de alimentos.** In: *Engenharia Rural*, Piracicaba: ESALQ/USP, v. 3, n. 1, p. 81-86, 1992.

PATIL, V.; CHAUHAN, A.K.; SINGH, R.P. **Optimization of spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology.** Powder Technology 253 (2014) 230-236.

PILATTI, Daniel. **Estudo da secagem de erva-mate (*Ilex paraguariensis*).** Toledo, 2013. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná.

QUEK, S.Y.; CHOK, N.K.; SWEDLUND, P. **The physicochemical properties of spray dried watermelon powder.** Chemical Engineering Process 46 (2007) 386-392.

ROSLAN, J.; MUSTAPA KAMAL, S. M.; MD. YUNOS, K. F.; ABDULLAH, N. **Optimization of enzymatic hydrolysis of tilapia (*Oreochromis niloticus*) by-product using response surface methodology.** International Food Research Journal, v.22(3), p.1117-1123, 2015.

SHRESTHA, A. K.; HOWES, T.; ADHIKARI, B. P.; WOOD, B. J.; BHANDARI, B. R. **Effect of protein concentration on the surface composition, water sorption and glass transition temperature of spray-dried skim milk powders.** Food Chemistry, v.104, p.1436-1444, 2007.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Indústria pet alimentícia prevê crescimento de dois dígitos em 2015.** Disponível em <http://sna.agr.br/industria-pet-alimenticia-preve-crescimento-de-dois-digitos-em-2015>. Acesso em: 05 outubro 2015.

SOUZA, A.S.; BORGES, S.V.; MAGALHÃES, N.F.; RICARDO, H.V.; CEREDA, M.P.; DAIUTO, E.R. **Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 29(2): 291-294, abr.-jun. 2009.

STENCL, J. **Modelling the water sorption isotherms of yoghurt powder spray.** Mathematics and Computers in Simulation, v.65, p.157-164, 2007.

STRUMILLO, C.; KAMINSKI, W.; ZBICINSKI, I. **Some aspects of the drying of protein products.** The Chemical Engineering Journal, v.58, p.197-204, 1995.

TONON, R.V.; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. **Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai powder produced by spray drying.** J. Food Eng. 88 (2008) 411-418.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D.; **Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea Mart.*) juice.** Journal of Food Engineering, v.94, p.215-221, 2009.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D.; **Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as**

propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 29(2): 444-450, abr.-jun. 2009.

VIEIRA, Melissa Gurgel Adeodato. **Análise da secagem de polpa de celulose para a obtenção de papel reciclado tipo cartão.** Campinas, 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000382982&opt=3>. Acesso em: 06 outubro 2015.

WANG, W.; DUFOUR, C.; WEIBIAO, Z. **Impacts of sprya-drying conditions on the physicochemical properties of soy sauce powders using maltodextrin as auxiliary drying carrier.** CyTA – Journal of Food, 2015 Vol. 13, No. 4, 548-555.

WESTERGAARD, V. **Milk poder technology, evaporation and spray drying.** 5th Edition. NIRO A/S, 2004.