

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CIÊNCIAS
EXATAS E TECNOLÓGICAS
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PROPRIEDADES DE ADSORÇÃO DE ÁGUA EM FARINHAS MISTAS DE ARROZ E
BAGAÇO DE CEVADA PRÉ-GELATINIZADAS POR EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA

Fernanda Ferreira Cardoso

Anápolis – GO
Maio / 2012

**PROPRIEDADES DE ADSORÇÃO DE ÁGUA EM FARINHAS MISTAS DE ARROZ
E BAGAÇO DE CEVADA PRÉ-GELATINIZADAS POR EXTRUSÃO
TERMOPLÁSTICA.**

FERNANDA FERREIRA CARDOSO

Orientador: PROF. Ds. DIEGO PALMIRO RAMIREZ ASCHERI

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás –UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas de Anápolis como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Sistemas Agroindustriais, para obtenção do título de MESTRE.

Anápolis – GO
Maio / 2012

**PROPRIEDADES DE ADSORÇÃO DE ÁGUA EM FARINHAS MISTAS DE ARROZ
E BAGAÇO DE CEVADA PRÉ-GELATINIZADAS POR EXTRUSÃO
TERMOPLÁSTICA**

Por

Fernanda Ferreira Cardoso

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovada em: ____ / ____ / ____

Prof. Dr. Diego Palmiro Ramirez Ascheri
Orientador
UnUCET/UEG

Prof. Dr. André José Campos
Membro
UnUCET/UEG

Prof. Dr. Diego Palmiro Ramirez Ascheri
Membro
Escola de Agronomia/UFG

RESUMO

CARDOSO, Fernanda Ferreira. **PROPRIEDADES DE ADSORÇÃO DE ÁGUA EM FARINHAS MISTAS DE ARROZ E BAGAÇO DE CEVADA PRÉ-GELATINIZADAS POR EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA**. 52 f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Sistemas Agroindustriais. Universidade Estadual de Goiás - UEG.

Reconhecendo a importância e a necessidade de fomentar o aproveitamento de produtos abundantes na natureza e, especialmente, reaproveitar os subprodutos da indústria, este trabalho tem como objetivo precípuo colaborar com o desenvolvimento de uma farinha pré-gelatinizada, a partir de um misto de arroz e do bagaço de malte, resultante da produção de cerveja, um novo produto alimentício, pesquisando as propriedades de adsorção de água em função do tempo para determinadas temperaturas e atividades de água. Para tal, modelou-se a cinética de adsorção de água, ajustando-se o modelo de Peleg aos valores experimentais e definiram-se as isotermas de adsorção de água no equilíbrio, por meio dos dados experimentais, sendo testados os modelos de OSWIN, SMITH e PELEG. A pesquisa foi realizada nos Laboratórios da Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas da UEG em Anápolis, Goiás. Para a execução e desenvolvimento deste trabalho utilizou-se o método gravimétrico estático, no qual a atividade de água foi mantida constante com o uso de soluções salinas. Ao final do estudo a farinha revelou-se um alimento com propriedades de adsorção de água satisfatórias, que podendo ser uma alternativa para formulação de muitos produtos alimentícios.

Palavras-chave: Resíduos. Cevada. Isoterma. Extrusão termoplástica. *Hordeum vulgare* L. *Oryza sativa* L.

ABSTRACT

CARDOSO, Fernanda Ferreira. **Adsorption of water in mixed flour and rice malt bagasse pregelatinized.** 52 f. Dissertation. Graduate Program in Agricultural Engineering - Agribusiness Systems. State University of Goiás-UEG.

We recognize the importance and necessity to support the use of products that can be found in excess in nature and, specially, reuse the sub products of the industry. The objective of this work is to collaborate with the development of this new edible product, researching the properties to absorb the water in function of time for certain temperatures and water activities. Therefore, the adsorption kinetics of water was modelled, adjusting the Peleg model to the experimental values and the adsorption isotherms of water on balance were defined through the experimental data being tested using the models of OSWIN, SMITH and PELEG. The research was conducted in the Laboratories of the University Unit of Science and Technology at UEG in Anapolis – Goiás. The development of this work was executed using the static gravimetric method, in which the water activity was held constant with the use of saline solutions. At the end of the studies, the flour showed to be a type of food with properties of water adsorption satisfactory, which can be an alternative to formulate many others food products.

Key words: Waste. Malt. Isotherm. Thermoplastic extrusion. *Hordeum vulgare* L. *Oryza sativa* L.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1	A PRODUÇÃO DE CERVEJA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS	3
2.2	O BAGAÇO DE MALTE.....	5
2.3	ARROZ.....	6
2.4	FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE ARROZ E BAGAÇO DE MALTE	7
2.5	PROCESSO DE EXTRUSÃO	9
2.6	A ÁGUA NOS ALIMENTOS.....	10
2.7	UMIDADE	11
2.8	ATIVIDADE DE ÁGUA.....	11
2.8.1	DETERIORAÇÃO DO ALIMENTO EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA.....	13
2.9	HIGROSCOPICIDADE.....	15
2.10	ADSORÇÃO	16
2.11	CINÉTICA DE ADSORÇÃO	17
2.11.1	MODELO MATEMÁTICO DE PELEG.....	18
2.12	ISOTERMAS DE ADSORÇÃO	19
2.12.1	DETERMINAÇÃO DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO	23
2.12.2	MODELOS MATEMÁTICOS DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO	23
2.12.3	MODELO DE SMITH	24
2.12.4	MODELO DE OSWIN	25
2.12.5	MODELO DE PELEG	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	MATÉRIA PRIMA	27
3.2	ADSORÇÃO DE ÁGUA PELAS FARINHAS.....	27

3.2.1	MODELAGEM DO PROCESSO DE ADSORÇÃO.....	29
3.2.2	AJUSTE DAS ISOTERMAS DE EQUILÍBRIO	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1	CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE ÁGUA DAS FARINHAS	32
4.2	ISOTERMAS DE EQUILIBRIO.....	38
5	CONCLUSÕES	45
6	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O bagaço de malte, também conhecido como polpa de cervejaria, borra de cervejaria ou bagaço de cerveja, é um subproduto da indústria resultante do processo de fermentação ao qual são submetidos os grãos utilizados no processo de fabricação da cerveja. De acordo com Costa et al. (2006), este representa 85% do total de subprodutos gerados pela indústria cervejeira, sendo considerado dessa forma o mais importante subproduto proveniente desse processo sendo alto o seu uso como ingrediente em ração animal.

Uma vez misturado com outros resíduos industriais, como a quirera de arroz, através de um processo adequado, o bagaço de malte torna-se também disponível à alimentação humana. Surgiu, então, a possibilidade de se aproveitar esse material através do processamento por extrusão termoplástica, onde, junto com o material amiláceo (arroz), é expandido para a elaboração de novos produtos, tais como farinhas pré-gelatinizadas (ASCHERI et al., 2007).

A farinha mista de arroz e bagaço de malte, produzida pelo processo de extrusão termoplástica, é um produto desenvolvido com a finalidade de servir à indústria alimentícia como matéria-prima para fabricação de biscoitos, outras massas alimentícias, ou como produto final na forma de farinha instantânea.

A extrusão termoplástica consiste em um tratamento térmico a uma temperatura elevada durante curto tempo (HTST), que reduz a contaminação microbiana e inativa as enzimas (FELLOWS, 2006). Possibilita a obtenção de produtos variados, sendo o aumento de solubilidade com a gelatinização a base para a confecção de produtos amiláceos instantâneos. Após extrudadas, as farinhas de diversos cereais são desidratadas e comercializadas como farinhas pré-gelatinizadas (BORBA, 2005). Este processo é amplamente empregado na indústria de alimentos para a produção de cereais matinais, amidos e farinhas pré-gelatinizados, e outros alimentos instantâneos uma vez que confere características de textura e sabor agradáveis aos consumidores.

A adsorção é uma operação de transferência de massa do tipo sólido-fluido na qual se explora a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas. A adsorção física, ou de Van der Waals, decorre da ação de forças de atração intermoleculares fracas entre o adsorvente e as moléculas adsorvidas (GOMIDE, 1988).

Conhecer os fatores que interferem na adsorção de água em alimentos torna-se prática importante, visto a relevância desse fenômeno no processamento industrial de alguns produtos

agrícolas e a atenção que esses fatores requerem durante a modelagem desse processo. Para projetos que envolvam o desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de equipamentos utilizados no processo de hidratação de grãos, é de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações a respeito do comportamento de cada produto durante o processo de adsorção de água (BOTELHO, 2009).

As isotermas de adsorção são as representações gráficas do teor de água presente no alimento frente à atividade de água em condições isotérmicas, onde o material está em equilíbrio higroscópico com o ambiente em que se encontra e não existem mudanças na massa da amostra (GARCÍA e MARTÍNEZ, 2006). Elas têm aplicação na predição do tempo de secagem, da vida de prateleira, na determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto, inclusive quando o mesmo é constituído por componentes de atividades de água diferentes (PENA et al., 2000).

Conhecendo a importância do desenvolvimento de produtos alimentícios que sejam adequados e viáveis do ponto de vista nutricional e tecnológico, e sendo a cinética de adsorção de água para as farinhas pré-gelatinizadas abrangente, com informações determinantes para o desenvolvimento de tecnologias adequadas na otimização de processos além de orientar o emprego tecnológico do produto em estudo, é evidente a importância deste trabalho.

Os produtos extrusados tornam-se mais higroscópicos, o que sugere a necessidade de se estudarem suas propriedades de adsorção de água a fim de se estabelecer condições ideais para solução de problemas no armazenamento, modelagem das mudanças de umidade durante a secagem e na predição do tempo de vida útil.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo geral contribuir com o desenvolvimento da farinha pré-gelatinizada mista de arroz e bagaço de malte, estudando as propriedades de adsorção de água em função do tempo para as temperaturas de 25, 30, 35 e 45 °C e atividades de água variando de 0,112 a 0,973.

Os objetivos específicos foram:

- Modelar a cinética de adsorção de água, ajustando o modelo de Peleg aos valores experimentais observando os valores da taxa, capacidade de adsorção e umidades de equilíbrio dadas pelo modelo;
- Determinar as isotermas de adsorção de água no equilíbrio a partir dos dados experimentais, testar diferentes modelos matemáticos de sorção que predigam o fenômeno de adsorção e definir o modelo que melhor representa o comportamento dos dados experimentais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A PRODUÇÃO DE CERVEJA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS

O mercado nacional de cerveja iniciou-se com as primeiras indústrias brasileiras que surgiram na época da Proclamação da República, em 1889. Essas cervejas nacionais tinham um grau de fermentação tão alto que, mesmo depois de engarrafadas, produziam uma enorme quantidade de gás carbônico. O Brasil na época já era um dos maiores produtores mundiais da bebida (PSARRAS, 2008)

Atualmente, produção de cerveja no Brasil alcançou no ano passado a marca recorde de 12,6 bilhões de litros, um crescimento de 18% em relação a 2009, com esse resultado, o Brasil se tornou no ano de 2010 o terceiro maior mercado de cerveja do mundo, atrás apenas da China, com uma produção na faixa de 40 bilhões de litros, e Estados Unidos, com 35 bilhões de litros (VIANA, 2011).

A cerveja é formada por quatro constituintes fundamentais: água, cevada (de onde se obtém o malte), lúpulo (responsável pelo sabor amargo) e fermento (leveduras do gênero *Saccharomyces*). Atualmente, cereais como o milho, arroz e trigo também são utilizados em substituição parcial ao malte. O açúcar, em pequenas proporções, também pode ser adicionado (HORNSEY, 1999).

No Brasil as indústrias de cerveja utilizam malte de cevada com a adição de mistura de cereais (principalmente o milho) ou maltose. O processo de fabricação do malte é chamado de maltagem e envolve o controle de umedecimento dos grãos, obtendo-se mudanças químicas e físicas com perdas mínimas de energia pelo processo de respiração (CABRAL FILHO, 1999).

O passo inicial da fabricação de cerveja envolve a obtenção do malte, ou seja, os grãos de cevada ou de cereais (milho, arroz) são imersos em água morna por algum tempo, e em seguida retira-se a água para que ocorra a germinação dos grãos e a hidrólise do amido em dextrina e maltose. Este processo promove a liquefação e a hidrólise do amido a açúcares, obtendo 65% de extração dos sólidos totais do malte e de 80% a 90% quando se utilizam misturas de cereais tais como milho e arroz (CABRAL FILHO, 1999). O mosto e o bagaço são produtos resultantes desta etapa.

O mosto consiste em uma solução complexa e sutilmente equilibrada de carboidratos fermentáveis, aminoácidos e minerais, os quais servem de substrato para o crescimento da levedura e formação de etanol. Qualquer grão pode dar origem ao mosto, que é separado do bagaço através de filtração.

O bagaço é constituído essencialmente pela casca do malte e atua como coadjuvante na filtração com peneiras. É a parte do resíduo que não é solúvel pelas enzimas. Apresenta, em grande parte de sua constituição, proteína e fibras.

De acordo com Costa et al. (2006), o bagaço de malte ou bagaço de cevada representa 85% do total de subprodutos gerados pela indústria cervejeira, sendo considerado dessa forma o mais abundante subproduto proveniente deste processo apresentando alto teor de umidade (aproximadamente 77%), sendo, porém, rico em proteína bruta (22,50%), energia (1200 kcal/kg), vitaminas e minerais.

Na Figura 1 descreve-se todo o processo de fabricação da cerveja com destaque para a etapa de formação do bagaço de malte.

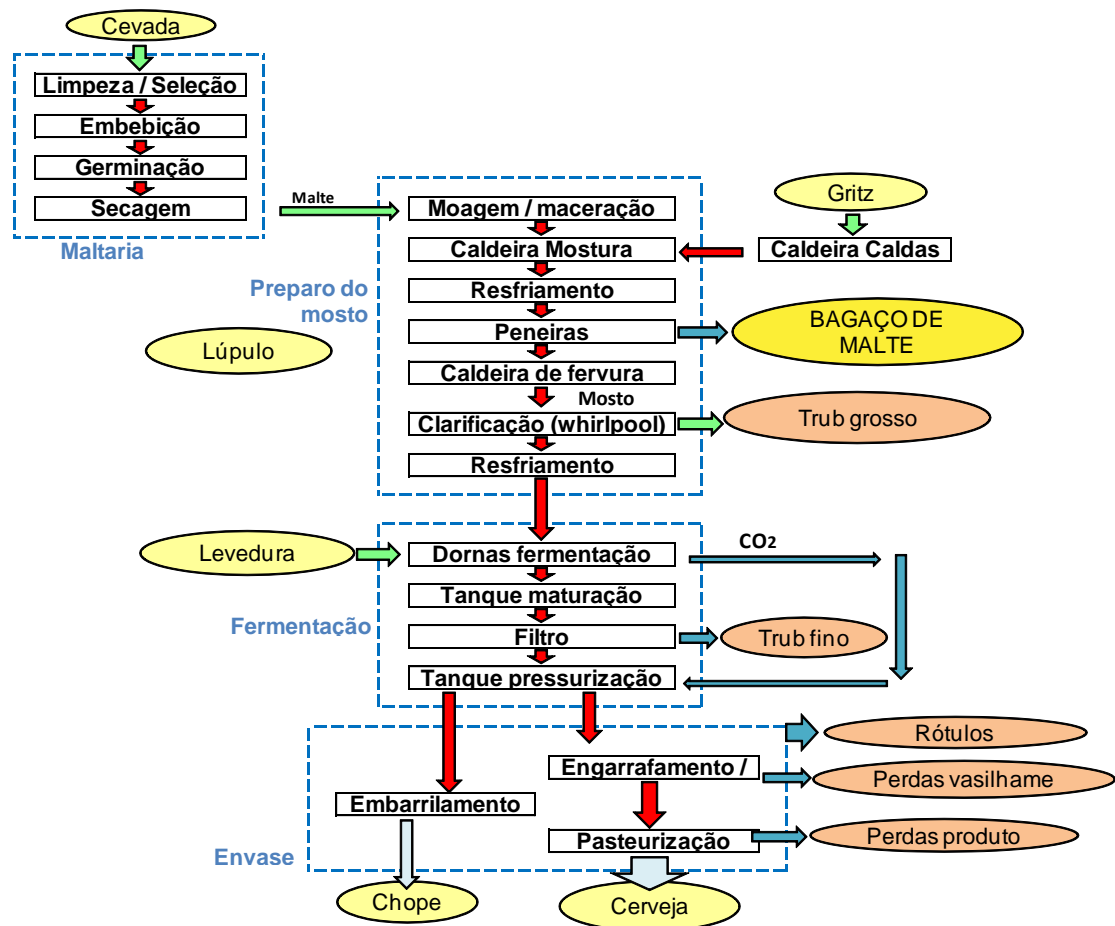


FIGURA 1. Fluxograma de processo genérico da produção de cerveja. Fonte: (VIEIRA, 2010).

Pelo fato de ser gerado em grande quantidade durante a produção da cerveja, e também ser rico em fibras e proteínas, outras formas de utilização deste bagaço, além da alimentação animal, podem ser estudadas, como seu uso na alimentação humana.

2.2 O BAGAÇO DE MALTE

Diversos subprodutos provenientes da cevada são descritos, constando alguns em periódicos científicos nacionais e estrangeiros, a maioria deles com alto potencial de utilização devido às boas características nutritivas apresentadas em sua composição química, boa palatabilidade e sem a presença de fatores antinutricionais, por exemplo (BELLAVAR et al., 1985).

O bagaço de malte é o resíduo resultante do processo inicial da fabricação de cervejas. Este bagaço provém do processo de obtenção do mosto, pela fervura do malte moído e dos adjuntos, que após a filtração, resulta num resíduo que atualmente é destinado para ração animal (AQUARONE, 2001). Este é o principal subproduto do processo cervejeiro, sendo gerado de 14-20 Kg a cada 100 litros de cerveja produzida. A grande produção anual de cerveja no país dá idéia da enorme quantidade deste subproduto gerada (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

De acordo com Pereira et al. (1999), o passo inicial para obtenção do bagaço de malte é a imersão dos grãos em água morna ocorrendo a hidrólise do amido e a germinação desses grãos. A seguir os grãos são desidratados por aquecimento (50 a 80°C), quando são obtidos o malte e outros componentes. A partir daí, o grão maltado é beneficiado, em processo que novamente utiliza água, para formar um outro produto chamado mosto de cerveja. Por separação, é obtida a parte sólida chamada polpa úmida de cervejaria, ou bagaço de cevada, ou ainda bagaço de malte. Esse é composto das glumas do malte prensado e de componentes que não se solubilizaram durante o processo de fabricação da cerveja, como amido, pentosanas e proteínas. O bagaço pode ainda ser desidratado para formar a polpa seca de cervejaria ou pó de malte.

Quando seco e triturado, este resíduo cervejeiro poderá ser comercializado a nível nacional, uma vez que o processo de secagem beneficia o transporte, diminuindo o volume e peso do material. Outra vantagem, leva em consideração o seu conjunto nutricional, o bagaço é um alimento rico em fibras com significativos níveis protéicos requeridos para a obtenção de um produto na alimentação animal. A qualidade deste alimento, medida pelos seus níveis nutricionais e, principalmente, pela capacidade de disponibilizar estes nutrientes em níveis

superiores a 60%, torna o resíduo extremamente atraente e promove a redução de impactos ambientais, advindos da indústria cervejeira, sem que ocorram quedas nos índices produtivos (ASCHERI et al. 2007).

O valor nutricional do bagaço de malte é bastante variável, dependendo dos tipos e proporções dos grãos utilizados e do processo fermentação, favorece o aumento do percentual de proteína sobre passante e contribui para o incremento da qualidade sensorial deste alimento (OLIVEIRA 2003).

2.3 ARROZ

O arroz (*Oryza sativa* L.) surgiu no sudoeste Asiático em 5.000 a.C., tendo posteriormente se expandido para a Índia e para a Europa. Em meados do século III, essa cultura foi introduzida pelos espanhóis nos países das Américas do Sul e Central, e em 1685 chegou aos Estados Unidos da América. No Brasil, essa cultura foi introduzida pelos portugueses nos primeiros anos após o descobrimento (LEMOS e SOARES, 1999). Atualmente é um dos principais produtos agrícolas cultivados no mundo e alimento básico de mais da metade da população mundial. Igualmente este se encontra entre os três alimentos mais consumidos pelos brasileiros com um consumo alimentar médio per capita de 160,3 g/dia, de acordo com a Pesquisa de Orçamentos Familiares do instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE, 2011).

O Brasil está entre os dez principais produtores mundiais de arroz, e sua produção encontra-se difundida por todas as regiões do país. Entretanto, a maior produção nacional está concentrada principalmente nas regiões Sul, Nordeste, Centro-Oeste e Norte, sendo que cerca de 70% do arroz brasileiro é produzido na região sul. De acordo com o acompanhamento da safra Brasileira de grãos divulgada para esta safra 2010/2011, é esperada uma produção de 13.613,1 mil toneladas de arroz (CONAB, 2011).

De acordo com Silva (2004), o arroz é uma das mais importantes culturas anuais produzidas no Brasil, sendo consumido por todas as classes sociais do país, ocupando posição de destaque social e econômico, pelo fato de gerar renda e suprir a população brasileira com um significativo conteúdo de nutrientes e calorias na dieta básica da população.

O arroz é constituído principalmente por amido, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas. Entretanto, a composição do grão e de suas frações está sujeita a diferenças varietais, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento (ZHOU et al., 2002)

Os carboidratos são os principais constituintes do arroz. Além do amido, que corresponde a aproximadamente 90% da matéria seca do arroz polido, também estão presentes açúcares livres e fibra. Enquanto o endosperma é composto principalmente por amido, o farelo e o gérmen apresentam principalmente fibra, contendo pequenas quantidades de outros carboidratos (JULIANO, 1993).

O conteúdo de proteínas no arroz é considerado baixo, em média 7%. Entretanto, observa-se grande variação na concentração desse nutriente, com valores entre 4,3 e 18,2% (LUMEN e CHOW, 1995).

Geralmente a concentração de lipídios é maior no arroz integral, sendo reduzida com o polimento, observando-se concentrações inferiores a 1% no arroz polido. Contudo o arroz contém proporção significativa de ácidos graxos insaturados, que possuem papel importante em vários processos fisiológicos e que, por não serem sintetizados pelo organismo humano, devem ser supridos pela alimentação (WALTER et al. , 2008).

A concentração de minerais difere nas frações do grão. Enquanto no arroz com casca o silício é componente dominante, no arroz integral e polido destacam-se fósforo, potássio e magnésio. Ferro e zinco, dois minerais essenciais para a saúde humana, estão disponíveis em baixas concentrações no grão (JULIANO e BECHTEL, 1985).

O arroz contém principalmente vitaminas do complexo B e α -tocoferol (vitamina E), com concentrações insignificantes das vitaminas A, D e C. A concentração é maior nas camadas externas do grão, sendo que, para tiamina, riboflavina, niacina e α -tocoferol, aproximadamente 78, 47, 67 e 95%, respectivamente, estão presentes no farelo (JULIANO, 1993).

Apenas uma pequena quantidade de arroz é consumida como ingrediente em produtos processados, sendo seu maior consumo na forma de grão. O arroz é uma excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, fornecendo também proteínas, vitaminas e minerais, e possui baixo teor de lipídios. Nos países em desenvolvimento, onde o arroz é um dos principais alimentos da dieta, ele é responsável por fornecer, em média, 715 kcal *per capita* por dia, 27% dos carboidratos, 20% das proteínas e 3% dos lipídios da alimentação. (KENNEDY et al., 2002).

2.4 FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE ARROZ E BAGAÇO DE MALTE

Segundo a ANVISA (BRASIL, 2005), as farinhas são os produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos,

rizomas, podendo sofrer previamente processos tecnológicos adequados considerados seguros para a produção de alimentos. A designação da farinha deve ser seguida do nome comum da espécie vegetal utilizada. A mesma literatura adverte que as farinhas não devem ultrapassar a umidade máxima de 15,0%.

O produto farinha pode ser classificado em farinha simples, a qual corresponde ao produto obtido da moagem ou raladura dos grãos, rizomas, frutos ou tubérculos de uma só espécie vegetal; e farinha mista, obtida pela mistura de farinhas de diferentes espécies vegetais. Estas devem ser fabricadas a partir de matérias primas limpas, isentas de matéria terrosa e parasitos, não podem estar úmidas, fermentadas ou rançosas (BRASIL, 1978).

Na indústria alimentícia as farinhas participam do processo de produção como matérias primárias, intermediárias ou como produtos finais. Durante o processo de obtenção das farinhas, assim como de outros produtos alimentícios, é importante que se preservem as suas qualidades organolépticas e nutricionais. Entretanto, sabe-se que esta operação é difícil de ser mantida no caso das farinhas e de outros pós alimentícios, pois seja qual for a sua origem, estes produtos se constituem de tecidos vivos susceptíveis de evoluir em função da absorção de água, amolecimento, fusão, explosão e modificação de sua granulometria (COSTA; SCHER; HARDY, 2003).

Conforme Deobald (1972), a farinha de arroz não possui volume de produção expressiva por não apresentar aplicação competitiva, isto em relação ao trigo, mas possui algumas características especiais, que a torna importante ingrediente alimentício e que deveria ser explorado, por ser reconhecidamente não alergênica; possuir variedades com ampla faixa de teor de amilose, o que permite a seleção de acordo com a finalidade; não ser tóxica para o celíaco, podendo ser utilizada como substituto do trigo para elaboração de produtos sem glúten. Enfatiza ainda que a solução para o crescimento do mercado deste produto está no desenvolvimento de farinhas que tenham melhores propriedades funcionais para produtos específicos tradicionais ou em desenvolvimento.

A utilização da farinha de arroz tem se expandido para a fabricação de biscoitos, bebidas, alimentos processados, pudins, molhos para salada e pães sem glúten (KADAN et al, 2001).

2.5 PROCESSO DE EXTRUSÃO

A extrusão dos alimentos pode ser definida como um processo contínuo pelo qual o atrito mecânico é combinado com calor para gelatinizar amido e desnaturar proteína, ao mesmo tempo plastificando-os e reestruturando-os para formar uma nova forma e textura. O processo é muito versátil, com ligeiras modificações no equipamento básico e nas condições de operação, podem ser obtidos produtos variados. Com os mesmos ingredientes básicos é possível preparar diversos produtos com diferentes formas, texturas, sabores e aparências. Este processo também pode ser usado para o controle e inativação de fatores antinutricionais e enzimas, assim como para pasteurizar e “esterilizar” produtos alimentícios (EL-DASH, 1981).

Os modelos de extrusores são variados, como também é variado o tipo de produto que eles produzem. Apesar destas diferenças, segundo Fabion et al. (1982), o processo de extrusão pode ser descrito como ocorrendo em três fases, as quais correspondem às seções ou zonas apropriadas do parafuso da extrusora:

- Zona de alimentação: nenhum cozimento é iniciado. Sua função é misturar o material alimentado, comprimir para preencher os espaços que circundam o parafuso e conduzir uniformemente o material.
- Zona de transição: a pressão, as taxas de cisalhamento e a temperatura aumentam rapidamente nesta seção, atingindo 100°C ou mais.
- Zona de alta pressão: em geral, as temperaturas continuam a aumentar. O parafuso comprime a mistura, para assegurar que esta deixará a matriz homogeneamente. A rápida passagem pela matriz causa evaporação da umidade do extrusado, expandindo o produto.

O processo de extrusão exhibe uma série de vantagens, como: produção contínua em larga escala, baixo custo de mão-de-obra, alta capacidade de produção por unidade de área, ausência de efluentes, curta permanência do material dentro da extrusora e, como principal vantagem, a ação conjunta de operações unitárias (mistura, cisalhamento, cozimento, secagem e texturização) em um único, eficiente e rápido processo (STANLEY, 1986).

Fellows (2006), classifica os extrusores de acordo com o método de operação em extrusores a frio ou extrusores de cocção. Na extrusão a frio, o extrusor tem um parafuso que opera a baixa velocidade em um cano liso, para amassar e extrusar o material com pequena fricção e temperaturas abaixo de 100°C. Este é usado para produzir pastas, massas de bolo, alcaçuz, pasta de peixe, ração animal e alguns tipos de doces. Se o alimento for aquecido acima de 100°C, o processo é conhecido como extrusão-cocção (ou extrusão a quente). Neste

caso, o calor é proporcionado pela fricção ou pela adição de calor, aumentando a temperatura rapidamente. A extrusão-cocção sob alta pressão e temperatura em curto período de tempo (HTST) é usada para formar produtos expandidos. A rápida liberação de pressão quando o alimento emerge da matriz causa expansão instantânea e forma um produto de baixa densidade. A extrusão por HTST é usada para se obter produtos gelatinizados, mastigáveis, como gomas de frutas e alcaçuz.

Na extrusão de HTST, a gelatinização do amido acontece muito rapidamente, já que o material é aquecido em condições adiabáticas e submetido a tensões de cisalhamento que, com a combinação de tipos de amido, umidade, temperatura e pressão, além de outros fatores intrínsecos do extrusor, propiciam, entre outras mudanças, a obtenção de um produto final com características específicas de textura, densidade e expansão (ASCHERI, 1994).

A matéria-prima que entra no processo é convertida em uma massa fundida, devido às altas pressões e ao grande cisalhamento, em temperaturas elevadas, dentro do extrusor, o que mantém a água em estado líquido. Quando essa massa sai pela matriz do extrusor, ao final do cilindro ou canhão, a água líquida supersaturada se vaporiza instantaneamente, devido à mudança de pressão, passando o produto de uma massa fundida a um produto poroso, após a sua solidificação à temperatura ambiente (AREAS, 1992).

A utilização deste processo na indústria tornou-se uma importante técnica dentro de uma crescente variedade de processamento de alimentos (GUERREIRO, 2007).

2.6 A ÁGUA NOS ALIMENTOS

De acordo com Al-Muhtaseb et al. (2002), a água é o constituinte mais abundante nos alimentos *in natura*, apresentando muitas funções no processamento de alimentos e, embora a molécula de água seja uma substância química simples, o impacto sobre as reações e sobre a qualidade dos alimentos é maior do que qualquer outro componente químico.

Nos alimentos a água se encontra na forma de água livre e na forma de água ligada. De acordo com Ribeiro e Seravalli (2004), a água ligada é definida como a água em contato com solutos e outros constituintes não aquosos, existindo em vários graus de ligação, podendo ser dividida em: água constitucional, que é a água ligada mais fortemente aos constituintes não aquosos do alimento, através de ligações iônicas; água vicinal é aquela que ocupa os espaços mais próximos da maioria dos grupos hidrofílicos (afinidade pela água) presentes nos constituintes; água de multicamadas representa a água ligada de forma mais fraca aos constituintes não aquosos do alimento. A água livre no alimento é a água que representa as

mesmas propriedades da água pura, e que está disponível para o crescimento de microrganismos e para reações enzimáticas.

A concentração de água presente nos alimentos pode ser expressa, basicamente, de duas formas. Uma delas é a umidade, valor facilmente medido em laboratório que indica a quantidade de água contida na amostra. A outra forma é através da atividade de água, conceito mais apurado e com mais significado físico, por indicar a quantidade de água disponível para reações de degradação do alimento (MARCINKOWSKI, 2006).

2.7 UMIDADE

A umidade de um produto alimentício é a quantidade de moléculas de água que se encontra na forma ligada ou na forma de água livre. A soma dessas duas parcelas corresponde ao teor de umidade do produto que pode ser expresso das seguintes formas:

- Base Seca (U_{bs}) – Em relação à massa seca do produto, Equação 1.

$$U_{bs} = \frac{M_t - M_s}{M_s} \quad (1)$$

- Base Úmida (X_{bu}) - Em relação à massa total do produto, Equação 2.

$$U_{bu}(\%) = 100 \frac{M_t - M_s}{M_t} \quad (2)$$

Em que:

M_t - é a massa total da amostra (kg);

M_s - é a massa de sólido seco da amostra (kg);

U_{bs} - é o teor de umidade em base seca (kg de água.kg s⁻¹)

U_{bu} - é o teor de umidade em base úmida (kg de água.kg t⁻¹).

2.8 ATIVIDADE DE ÁGUA

Bobbio e Bobbio (2001) definem a atividade de água (A_w) como sendo a relação entre pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento (P) e a pressão de vapor da água pura (P_o) à mesma temperatura e pode ser representada pela Equação 3.

$$A_w = \frac{P}{P_0} \quad (3)$$

Em que:

A_w - atividade de água, adimensional;

P - pressão de vapor da água no alimento, pa;

P_0 - pressão de vapor da água pura, pa.

Quando um alimento está em equilíbrio com o ambiente, há uma igualdade entre a atividade de água (A_w) do produto agrícola ou de uma solução e a umidade relativa (UR) exercida pela solução ou por alimento em um ambiente isolado, como pode ser visto na Equação 4. A relação entre UR e A_w permite prever quais alimentos irão ganhar ou perder umidade, quando forem expostos a um ar com determinada umidade (COULTATE, 1996).

$$A_w = \frac{UR}{100} \quad (4)$$

Em que:

A_w - atividade de água, adimensional;

UR - umidade relativa, %.

Em resumo, a atividade de água é definida pela relação entre a pressão parcial de vapor de água no alimento e a pressão de vapor da água pura a uma determinada temperatura, ou pela umidade relativa de equilíbrio dividida por 100.

O grau em que a água interage com os componentes químicos presentes e contribui para a textura do alimento é definido como o teor de umidade (g de água/100g de sólidos) e seu estado termodinâmico é definido pelo potencial químico na Equação 5 (LABUZA, 1975).

$$\mu_1 = \mu_0 + RT \ln A_w \quad (5)$$

Em que:

μ_1 - potencial químico da água;

μ_0 - potencial químico no estado padrão;

R - constante dos gases;

T - temperatura absoluta; e

A_w - atividade de água termodinâmica.

2.8.1 DETERIORAÇÃO DO ALIMENTO EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA

A atividade de água de um alimento é uma das medidas mais importantes no processamento e na análise dos materiais biológicos, devido a sua importância no que diz respeito à qualidade e estabilidade (TEIXEIRA NETO e QUAST, 1993). A atividade de água de um alimento determina a quantidade de água que tende a permanecer ou sair desse alimento e, conseqüentemente, sua disponibilidade (SILVA; PARK; MAGALHAES, 2007).

A A_w representa a disponibilidade de água para o desenvolvimento de microrganismo, do ponto de vista microbiológico, e para a ocorrência de reações deteriorantes, tais como escurecimento, oxidação, hidrólise. Segundo tal formulação, A_w constitui um dos fatores mais relevantes para o processamento, conservação e armazenamento de alimentos (TORREZAN et al., 1997).

A Figura 2 mostra a representação da velocidade relativa de reações químicas e de crescimento de microorganismos em função da atividade de água. Servindo como indicação de comportamento provável das reações. Para se conhecer o comportamento fidedigno dessas reações, é necessário que sejam realizadas experiências para efetivamente se levantarem essas curvas.

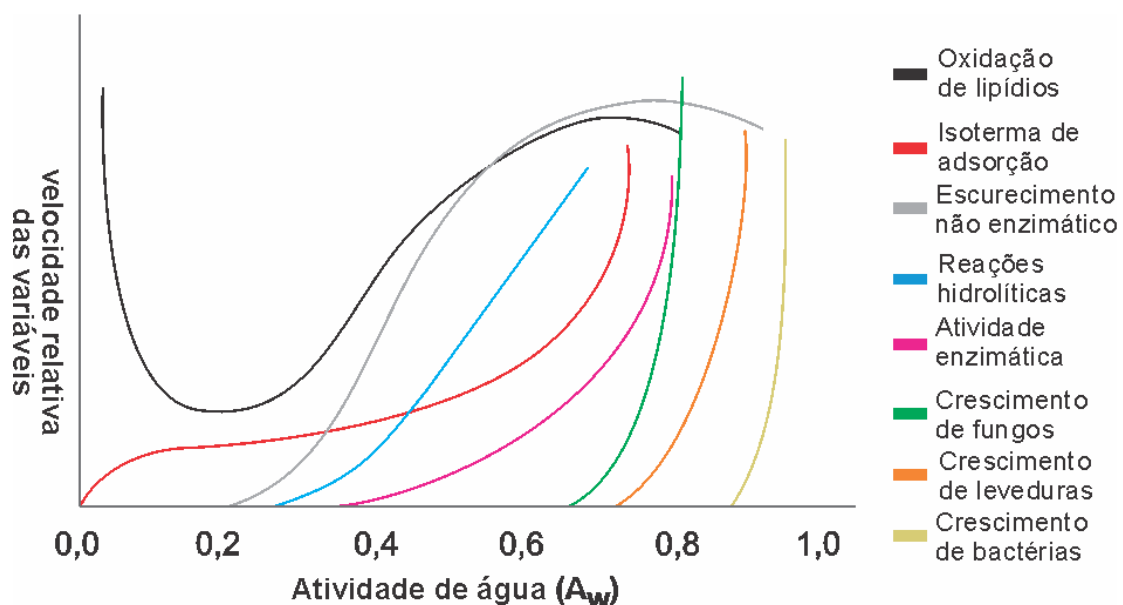


FIGURA 2. Efeito da atividade de água na degradação microbiológica, química e enzimática dos alimentos.

De acordo com os gráficos apresentados, percebe-se que o alimento com elevada atividade de água está mais susceptível a degradações, pois é nessa zona em que há maior

crescimento de fungos e bactérias, assim como maior taxa de reação de escurecimento não enzimático (Maillard) e atividades enzimáticas. No entanto, verifica-se maior taxa de oxidação lipídica para valores reduzidos de atividade de água do alimento.

A oxidação de lipídios ocorre preferencialmente em valores reduzidos de atividade de água devido à ação de radicais livres. Acima do valor de monocamada, os agentes antioxidantes e quelantes (que sequestram metais traços catalíticos) são solúveis e, portanto, acabam reduzindo a taxa de oxidação. Em valores elevados de atividade de água, a atividade catalítica dos metais é reduzida devido à hidratação e formação de hidróxidos insolúveis, mas os metais catalíticos tornam-se solúveis e a estrutura do alimento incha, expondo mais sítios ativos disponíveis para oxidação (FENNEMA, 2000).

Em altas e baixas A_w , a oxidação nos alimentos desidratados é favorecida, assim a água afeta a oxidação de lipídeos e outras reações em que os radicais livres se fazem presentes no alimento desidratado. Há também destruição de vitaminas por oxidação, e ocorre durante o processo de secagem e estocagem, além de contribuir muito para a perda do valor nutritivo de alimentos desidratados. Todavia, as perdas de vitaminas lipossolúveis ocorrem, principalmente, devido à interação com radicais livres de peróxidos, sendo que a principal fonte destes é constituída pela oxidação de lipídeos (SARANTOPOULOS; OLIVEIRA; CANAVESI, 2001).

Nessas circunstâncias, o aumento de A_w no intervalo de 0,25 a 0,65 acarreta um aumento na taxa de degradação das vitaminas A, B1, B2 e C. Em relação à vitamina E, a degradação aumenta quando A_w está dentro da faixa de 0,10 a 0,65, já para o ácido ascórbico, a degradação aumenta exponencialmente com o aumento de A_w (SARANTOPOULOS; OLIVEIRA; CANAVESI, 2001).

O crescimento de bolores e bactérias é influenciado pela atividade de água, pois esses microrganismos necessitam de água para sua reprodução. A diferença existente entre esses dois grupos é que bolores conseguem se desenvolver melhor do que bactérias em ambientes com menor atividade de água (FENNEMA, 2000).

Todos os microrganismos contêm acima de 80% de umidade e necessitam de água livre para seu crescimento, tendo uma A_w mínima para o desenvolvimento. Em geral, as bactérias necessitam de valores de A_w superiores aos valores requeridos pelas leveduras e bolores. Entretanto, a maior parte dos microrganismos não morre pela remoção de água e podem crescer novamente quando o alimento for reidratado (MACHADO, 2006)

Não há atividade enzimática para reduzidos valores de atividade de água, pois tanto a mobilidade do substrato quanto a habilidade do mesmo em difundir até o sítio reativo da

enzima é insatisfatória. Já a curva de escurecimento não enzimático apresenta um comportamento curioso. Em geral, quando a atividade de água é reduzida, há redução na mobilidade dos compostos que reagem entre si para a reação de escurecimento. Em valores relativamente elevados de atividade de água, é verificada a taxa máxima de reação de escurecimento. A água é um dos produtos originados da reação de escurecimento e a reação torna-se limitada pela quantidade de água obtida como produto final. Nos valores mais elevados de atividade de água, a água dilui os compostos que reagem entre si e a taxa de escurecimento decai (FENNEMA, 2000).

Segundo Park, Bin e Brod (2001), o estudo da atividade de água pode ser feito através das isotermas de sorção, sendo que uma isoterma é uma curva que descreve, em uma umidade específica, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura. Esta relação depende da composição química dos alimentos (gordura, amido, açúcar, proteínas, etc.) e tem grande importância na área de tecnologia de alimentos, permitindo avaliar a suscetibilidade de deterioração dos alimentos e, conseqüentemente, a vida de prateleira do produto.

2.9 HIGROSCOPICIDADE

A afinidade existente entre a água e os outros componentes de um produto define sua higroscopicidade, que é muito marcante nos produtos alimentícios, e torna-se uma característica fundamental, pois influencia os processos de manuseio, estocagem e consumo de materiais biológicos (TEIXEIRA NETO e QUAST, 1993).

Os produtos desidratados em pó encontram ampla aplicação em diversas formulações alimentícias de preparo instantâneo e são de fácil utilização em operação de adição e mistura em escala industrial. Estes produtos se caracterizam por possuírem um alto teor de sólidos solúveis com uma porção apreciável no estado amorfo (vítreo), que os torna altamente higroscópicos e sujeitos as mudanças físicas indesejáveis (PEREIRA, 2000).

A higroscopicidade de produtos sólidos porosos é estudada por meio das equações dos modelos matemáticos, os quais descrevem as isotermas de sorção de água, que são representações gráficas da relação existente entre o teor de umidade do material em equilíbrio com diferentes valores de atividade de água a uma determinada temperatura (CORREA; MOURE, 2000).

2.10 ADSORÇÃO

A adsorção é uma operação de transferência de massa do tipo sólido – fluido na qual se explora a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, o que permite separá-las dos demais componentes dessas soluções. A quantidade total adsorvida normalmente varia entre 5 e 30% do peso do sólido adsorvente, podendo chegar em certos casos até 50%. Uma vez que os componentes se encontram adsorvidos na superfície do sólido, quanto maior for esta superfície por unidade de peso, mais favorável será a adsorção (GOMIDE, 1980).

Denomina-se adsorvente a substância em cuja superfície se produz o fenômeno da adsorção; adsortivo, o fluido em contato com o adsorvente e adsorbato as espécies químicas retidas pelo adsorvente (NÓBREGA, 2001), como mostrado na Figura 3.

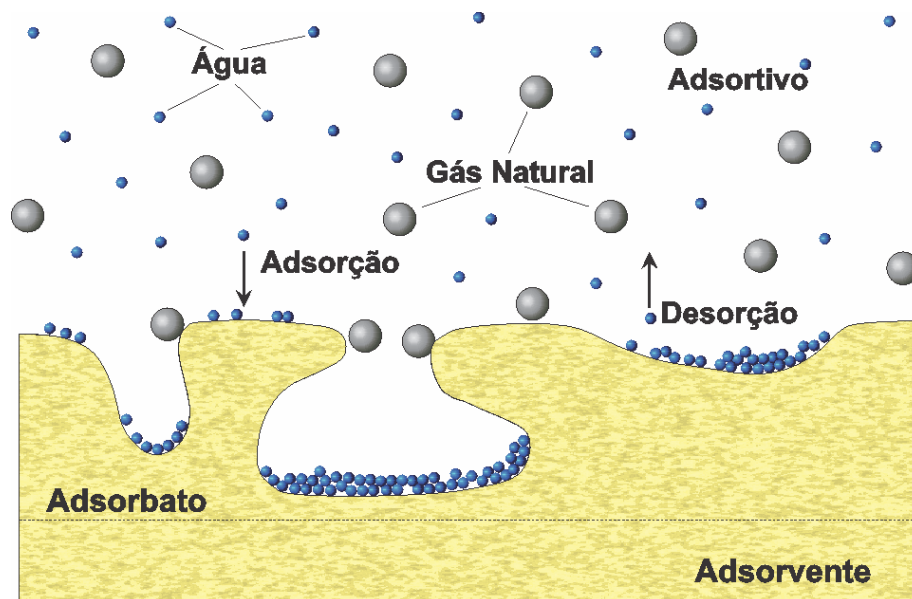


FIGURA 3. Nomenclatura do fenômeno de adsorção. Fonte: (NÓBREGA, 2001)

O processo de adsorção é o resultado da existência de um excesso de energia na superfície do adsorvente (energia livre da superfície) devido ao desbalanceamento das forças que atuam em suas moléculas ou átomos. O conhecimento do tipo de forças atuantes na superfície possibilita a determinação das diferentes formas de interação existentes em sistemas diversos. As forças entre o soluto e o adsorvente responsáveis por este fenômeno superficial podem ser forças de reconhecimento molecular hidrofóbicas, forças de interação eletrostática, forças de Van der Waals ou forças químicas as quais se originam do compartilhamento de elétrons entre o sólido e a molécula adsorvida (BORGES, 2002).

A união entre o sólido e o adsorbato pode ser tão forte que a adsorção apresenta as características de uma reação química, sendo este tipo de processo denominado quimissorção. Em outras situações a união do adsorbato com o adsorvente é fraca e o processo chamado de fisissorção ou adsorção física. Neste tipo de adsorção, o processo pode ser invertido com facilidade, de modo a liberar a substância adsorvida (GOMIDE, 1980).

Na adsorção física, também denominada de fisissorção, os efeitos atrativos que ocorrem entre o adsorvente e o adsorbato são relativamente fracos, envolvendo principalmente interações de Van der Waals, sendo um processo reversível, não específico, que ocorre normalmente com a deposição de mais de uma camada de adsorbato. Neste tipo de adsorção a energia de ligação adsorção - adsorbato apresenta um valor entálpico médio de 20 kJ/mol, sendo um processo que interessa às operações unitárias por ser reversível (MOURA, 1997).

A adsorção química, também denominada de quimissorção, resulta de uma interação mais intensa entre o adsorvente e o adsorbato. Nela ocorre uma significativa transferência de elétrons, equivalente a da formação de uma ligação química entre o adsorbato e a superfície sólida. Tais interações são mais fortes e mais específicas do que as forças da adsorção física e são obviamente limitadas à cobertura monocamada. Neste tipo de adsorção, uma vez que as interações entre o adsorvente e o adsorbato são de natureza iônica e/ou covalente, o valor entálpico médio pode variar de 250 a 500 kJ/mol, sendo um processo que apresenta interesse na catálise heterogênea (MOURA, 1997).

2.11 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

A cinética de adsorção descreve a velocidade com a qual as moléculas do adsorbato são adsorvidas pelo adsorvente. Esta velocidade depende das características físico-químicas do adsorbato (natureza, massa molecular, solubilidade, etc.), do adsorvente (natureza, estrutura de poros) (CLAUDINO, 2003).

Existem múltiplos modelos matemáticos para a hidratação de alimentos. Estes modelos podem ser divididos em dois tipos básicos, os fenomenológicos e os empíricos. Os modelos empíricos, tipo ao qual pertence o modelo de Peleg, amplamente utilizado em produtos agroindustriais, proposto por Peleg (1988), são modelos obtidos a partir de simples correlações matemáticas dos dados experimentais, não se baseando em leis da física ou teorias de transferência de massa. São bastante utilizados pela sua simplicidade, fácil resolução e

geralmente representam bem o processo de hidratação ou adsorção na faixa de condições experimentais em que foram validados (COUTINHO,2006).

2.11.1 MODELO MATEMÁTICO DE PELEG

Peleg (1988) propôs o modelo empírico (Equação 6) e o ajustou a dados da literatura de absorção de água em leite em pó e arroz, obtendo coeficientes de correlação da ordem de 0,95 a 0,99.

$$X(t) = X_0 + \frac{t}{100(C_1 + C_2 t)} \quad (6)$$

Em que:

X = teor de água em base seca para um determinado tempo, $\text{kg}_a (100 \text{ kg}_{\text{ms}})^{-1}$;

X_0 = teor de água inicial, $\text{kg}_a (100 \text{ kg}_{\text{ms}})^{-1}$;

C_1 = taxa constante de Peleg, $(100 \text{ h kg}_{\text{ms}}) \text{ kg}_a^{-1}$;

C_2 = capacidade constante de Peleg, $(100 \text{ kg}_{\text{ms}}) \text{ kg}_a^{-1}$;

t = tempo, horas.

A constante C_1 do modelo de Peleg está relacionada com a taxa de transferência de massa, sendo que quanto menores forem os seus valores, maiores serão as taxas iniciais de absorção de água (TURHAN et al., 2002).

A capacidade constante de Peleg C_2 , está relacionada com a capacidade máxima de absorção de água, e quanto menor o seu valor, maior será a absorção de água pelo produto (MASKAN, 2002).

O modelo matemático de Peleg vem sendo empregado de forma satisfatória descrevendo adequadamente a adsorção de água por diversos pesquisadores para prever a cinética de adsorção de água em diversos alimentos como: folhas desidratadas de taro, (MAHARAJ e SANKAT, 2000), feijão (RESENDE E CORREA, 2007), grãos-de-bico (TURHAN et al., 2002), amaranto (RESIO et al., 2006), trigo (MASKAN, 2002), soja (COUTINHO, 2006), macarrão penne (CUNNINGHAM et al.,2007), ervilhas (FERRAZ, 2008), milho (BOTELHO, 2009).

Cunningham et al. (2007), relataram que em reidratação de macarrão nas temperaturas de 20 °C a 80 °C a cinética foi descrita pelo modelo matemático de Peleg com o qual se obteve as constantes C_1 e C_2 do modelo com valores entre $11,9 \times 10^{-3}$ - $2,58 \times 10^{-3} \text{ h kg}_{\text{ms}} \text{ kg}_a^{-1}$

¹ e $7,40 \times 10^{-3} - 2,51 \times 10^{-3} \text{ kg}_{\text{ms}} \text{ kg}_{\text{a}}^{-1}$, respectivamente. Estes diminuíram com o aumento da temperatura.

Ferraz (2008) em reidratação de ervilhas estabeleceram a cinética nas temperaturas de 5 °C a 85°C, e por meio do modelo de Peleg obteve os coeficientes C_1 e C_2 entre 0,7081 - 0,0165 h $\text{kg}_{\text{ms}} \text{ kg}_{\text{a}}^{-1}$ e 0,01199 - 0,00821 $\text{kg}_{\text{ms}} \text{ kg}_{\text{a}}^{-1}$ respectivamente. Contudo os seus coeficientes flutuam aleatoriamente entre as temperaturas estudadas.

Botelho (2009) em absorção de água em milho avaliou a cinética nas temperaturas de 40 °C a 70 °C e diferentes níveis de danificação mecânica. Utilizando o modelo de Peleg os coeficientes C_1 e C_2 variaram entre $0,13 \times 10^{-3} - 0,98 \times 10^{-3} \text{ h kg}_{\text{ms}} \text{ kg}_{\text{a}}^{-1}$ e $0,22 \times 10^{-3} - 0,16 \times 10^{-3} \text{ kg}_{\text{ms}} \text{ kg}_{\text{a}}^{-1}$. A constante C_1 apresentou menores valores quando era maior o nível de danificação mecânica e a constante C_2 apresentou um comportamento contrário.

2.12 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

A forma mais freqüente de se investigar o tipo de interação existente entre soluto e adsorvente é através da realização de isotermas de adsorção, as quais relacionam as quantidades de soluto adsorvido por unidade de massa de adsorvente, a uma dada temperatura, em condições de equilíbrio termodinâmico (BORGES, 2002).

Park et al. (2001) define isoterma como uma curva que descreve, em uma dada umidade, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água adsorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a dada temperatura, sendo esta relação dependente da composição química dos alimentos, tais como gordura, amido, açúcar, proteínas etc.

Essas curvas, por sua vez, fornecem informações úteis para processos de concentração, secagem e hidratação de alimentos, visto que a facilidade de se retirar ou adicionar água está relacionado com a atividade de água do alimento e, ainda, para verificar e acompanhar a estabilidade de produtos alimentícios durante o armazenamento (RIBEIRO e SERAVALLI, 2004).

Produtos desidratados, em contato com ar, em condições de temperatura e umidade relativa constantes, adsorvem umidade do meio alcançando uma concentração de umidade conhecida como teor de água de equilíbrio (X_e). No entanto, produtos hidratados nessas mesmas condições, perdem umidade para o meio até atingir a umidade de equilíbrio. O termo “sorção” é designado ao fenômeno de adsorção e dessorção de água que se aplica à matéria

quando submetida a um ambiente de temperatura e A_w controlada por um processo de secagem ou de re-hidratação (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

Nos estudos de caracterização de alimentos, as isotermas de sorção estão sendo determinadas em uma ampla faixa de temperaturas, dependendo da aplicação prática desejada. Nos casos onde se pretende obter informações importantes para armazenamento do produto, costuma-se utilizar temperaturas próximas à temperatura ambiente ou temperatura de resfriamento. Em outros casos, como na otimização de condições de secagem, é comum empregar temperaturas mais elevadas, correspondendo àquelas nas quais o produto costuma ser submetido durante a etapa de secagem (MARCINKOWSKI, 2006).

De acordo com Al-Muhtaseb et al. (2002), o relacionamento entre o teor umidade e a atividade de água no alimento resulta em um gráfico das isotermas de sorção de umidade, podendo ser obtidas de duas maneiras:

- Isotermas de adsorção: observadas pela colocação do alimento seco em atmosfera com variação de umidade relativa crescente e conseqüente ganho de peso (adsorção).
- Isoterma de dessorção: refere-se a disposição de um alimento inicialmente úmido em umidades relativas inferiores e acompanhamento da redução de peso (dessorção).

Uma isoterma pode ser dividida em três regiões, dependendo do estado da água presente no alimento. Essas regiões apresentam características peculiares, tais como: a primeira região corresponde à faixa de atividade de água entre 0 a 0,35 e representa a adsorção de uma película monomolecular de água; a segunda região diz respeito à faixa de atividade de água entre 0,35 a 0,60 e indica a adsorção nas camadas adicionais acima da monocamada, enquanto a terceira região compreende atividades de água acima de 0,60, representando a água condensada nos poros do material, seguida pela dissolução de materiais solúveis presentes (LOMAURO et al., 1985).

Giles et al. (1960) dividiram as isotermas de adsorção em quatro principais classes, de acordo com a sua inclinação inicial, e cada classe, por sua vez, em vários subgrupos, baseados na forma das partes superiores da curva. As quatro classes (Figura 4) foram nomeadas de isotermas do tipo H (“High affinity”), S (“Sigmoidal”), L (“Langmuir”) e C (“Constant-partitioning”).

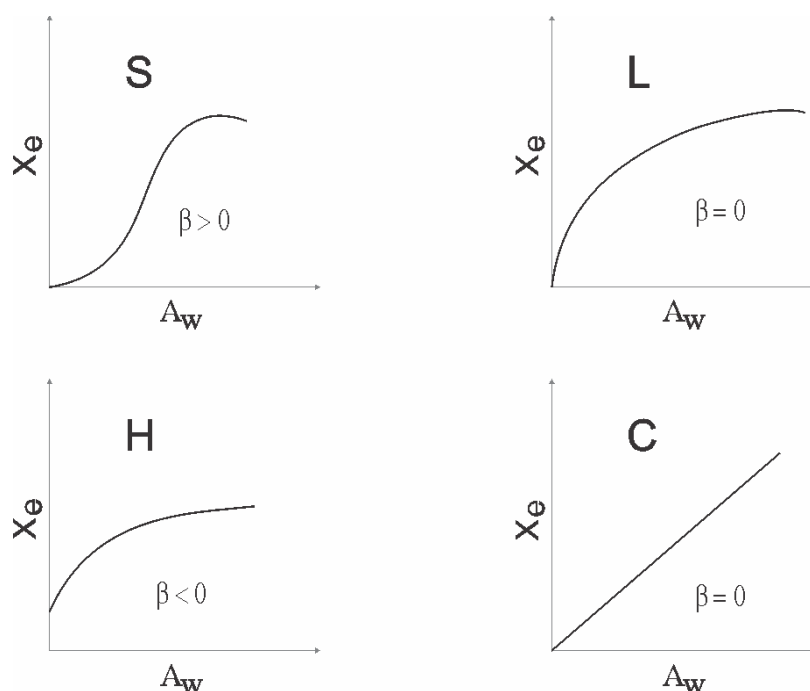


FIGURA 4. Classificação de isotermas de adsorção. Fonte: (GILES et al., 1960)

As isotermas do tipo S (Sigmoidal) apresenta uma curvatura inicial voltada para cima, pois as interações adsorvente - adsorbato são mais fracas que as interações adsorbato - adsorbato e solvente - adsorvente.

As isotermas do tipo L (Langmuir) possuem curvatura inicial voltada para baixo devido à diminuição da disponibilidade dos sítios ativos.

As isotermas do tipo H (“High affinity”) aparecem quando o adsorbato tem grande afinidade pelo adsorvente. A quantidade adsorvida inicial é alta e logo após o equilíbrio é alcançado.

As isotermas do tipo C (“Constant-partitioning”) possuem um início linear indicando que o número de sítios ativos é constante.

As isotermas de forma sigmoidal são características de muitos alimentos tais como materiais protéicos ou farináceos como farinha de trigo, amidos e amidos modificados (ASCHERI et al., 2005). No entanto, alimentos tais como frutas, produtos de confeitaria e café solúvel, de elevado teor de açúcares e outras moléculas solúveis de baixo peso molecular e pobre em polímeros de alto peso molecular, exibem isotermas de sorção do tipo Langmuir (CHETANA et al., 2005).

Outra forma de classificar as isotermas de adsorção foi apresentada por Brunauer et al. (1940), que de acordo com a forma classificaram-nas em cinco tipos gerais, mostrados na Figura 5.

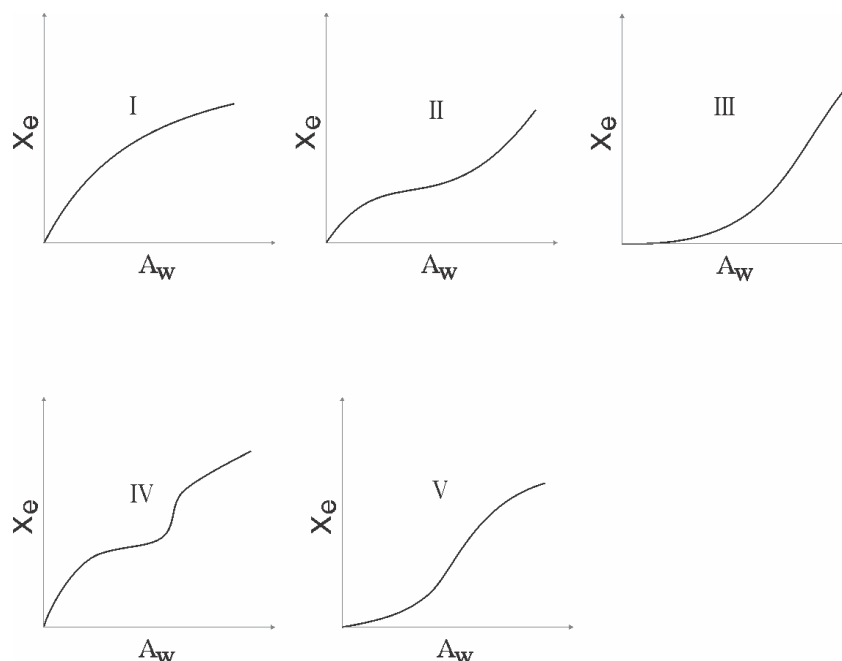


FIGURA 5. Os cinco tipos de isotermas de adsorção de Van der Waals. Fonte: (BRUNAUER et al., 1940)

- No tipo I, conhecido como Langmuir
- No tipo II, é sigmóide
- Os outros três tipos não possuem nenhum nome especial

As isotermas de adsorção de umidade de muitos alimentos são não lineares, em geral apresentam forma sigmóide e têm sido classificadas como isotermas do tipo II, sendo que no caso dos frutos predominam formas com concavidade voltada para o eixo das abscissas até níveis intermediários de umidade relativa, passando a uma forma exponencial em regiões de umidades relativas elevadas. Alimentos ricos em componentes solúveis, açúcares, arroz, café ácido cítrico cristalino são em geral, do tipo III. As isotermas do tipo I, IV e V não apresentam interesse maior no caso de alimentos.

As isotermas de adsorção de água de materiais protéicos ou farináceos, apresentam isotermas de sorção do tipo II com forma sigmoidal. A forma destas curvas indica o tipo de forças que intervêm na ligação da água com a superfície do material higroscópico e permite certas avaliações da estrutura superficial, da sua estabilidade durante o armazenamento, podendo ainda projetar uma embalagem apropriada para sua melhor conservação (FERREIRA e PENA, 2003).

2.12.1 DETERMINAÇÃO DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

As isotermas de sorção podem ser determinadas experimentalmente pelo método gravimétrico, monométrico e higrométrico.

O método gravimétrico refere-se à medição da variação do peso. As mudanças de peso podem ser determinadas por métodos contínuos ou descontínuos em sistema dinâmico ou estático. Métodos contínuos empregam o uso de balanças elétricas ou de mola de quartzo. Nos sistemas descontínuos, soluções de sal ou ácido sulfúrico são colocados em vácuo ou sistemas de atmosfera com amostra do material, para conseguir a medição do equilíbrio da umidade relativa (AL-MUTAZEB et al., 2002).

O método manométrico mede a pressão de vapor da água no espaço de vapor ao redor do alimento. Para melhorar a exatidão, utiliza-se como fluido do manômetro, mercúrio. Todo sistema é mantido a temperatura constante e a amostra de alimento irá perder água para equilibrar o vapor do ambiente. Isso é indicado pela diferença de altura no manômetro. Já o método higrométrico mede o equilíbrio da umidade relativa do ar em contato com o alimento para determinar o teor de umidade. Higrômetros elétricos medem a variação da condutância. Muitos higrômetros são revestidos com sais higroscópicos que absorvem a umidade proveniente da amostra (AL-MUTAZEB et al., 2002).

No método gravimétrico estático a temperatura e a atividade da água presente no ar são mantidas constantes até que o conteúdo de umidade da amostra atinja o valor de equilíbrio. O uso de soluções salinas é mais comum devido à segurança no manuseio e pela maior facilidade em manter a umidade relativa constante em relação aos métodos dinâmicos. Se ocorrer evaporação da água, alguns sais precipitam, mas a umidade relativa não varia (BARROZO, 2000).

2.12.2 MODELOS MATEMÁTICOS DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Existem numerosos modelos matemáticos disponíveis na literatura com capacidade de prever uma isoterma de adsorção de umidade em alimentos. Tais modelos são úteis no conhecimento das características dos produtos alimentícios apesar de serem, na sua maioria, modelos empíricos (PARK, BIN e BROD, 2001). As equações de dois parâmetros são mais utilizadas por serem de fácil solução matemática, porém têm o inconveniente de, em geral, não se prestarem para prever isotermas em toda a faixa; já as equações de três ou mais parâmetros quase sempre dão melhores resultados na predição (PENA et al., 2000).

Embora um grande número de equações teóricas, semi-empíricas e empíricas, tenha sido proposto para o cálculo da umidade de equilíbrio, nenhuma equação teórica é ainda capaz de prever exatamente a umidade de equilíbrio de produtos agrícolas em uma ampla faixa de temperatura e umidade relativa (BROOKER et al., 1974).

Dentre os modelos cita-se o BET (Brunauer, Emmet e Teller), GAB (Guggenheim, Anderson e Boer), Henderson, Oswin, Halsey, Smith, Peleg, Chung e Pfoest, entre outros, sendo estes os mais empregados para produtos equivalentes ao de estudo, serão discutidos a seguir.

2.12.3 MODELO DE SMITH

Smith desenvolveu um modelo empírico, Equação 7, para descrever a parte final da curva da isoterma de sorção de água de um biopolímero de alto peso molecular, no qual teorizou que existem duas frações de sorção de água sobre uma superfície seca, a primeira exibe um calor de condensação acima do normal, sendo esperada pelo modelo de Langmuir. Smith baseou seu modelo na segunda fração, que pode formar somente após a primeira fração absorvida. O mesmo considerou que a segunda fração consiste em multicamadas de moléculas de água condensadas, que previnem efetivamente alguma possibilidade de vaporização na camada inicial. Afirmando ainda que o teor de umidade na fração da segunda camada era proporcional ao logaritmo da diferença entre a A_w da amostra e da água pura (AL-MUTAZEB et al., 2002).

$$U_e = A - B \ln(1 - A_w) \quad (7)$$

Em que:

U_e é o teor de umidade (Kg de água/Kg de sólido seco);

A é a quantidade de água na primeira fração absorvida; e

B a quantidade de água na fração de umidade da multicamada.

2.12.4 MODELO DE OSWIN

Segundo Al-Mutazeb et AL. (2002), Oswin desenvolveu um modelo empírico com a expansão das séries de curva em forma de sigmóide, podendo ser escrita como na Equação 8.

$$U_e = \left(\frac{A_w}{1-A_w} \right)^B \quad (8)$$

Em que:

U_e é o teor de umidade (Kg de água/Kg de sólido seco),

A e B são constantes.

Boquet et al. (1978, apud Al-Mutazeb et al., 2002) considerou a equação de Oswin a melhor para descrever as isotermas de alimentos ricos em amido e razoavelmente bom para carnes e legumes.

Park, Bin e Brod (2001) utilizaram os modelos de Langmuir, BET, BET linear, GAB, Halsey, Oswin, Peleg, Chung e Henderson para estudar as isotermas de sorção de pêssego desidratada *in natura* nas temperaturas de 40°C, 60°C e 80°C, 70°C, notando os melhores ajustes para os modelos de Oswin, Peleg e GAB.

2.12.5 MODELO DE PELEG

O modelo de Peleg (Equação 9) é definido como um modelo empírico de quatro parâmetros que visa conjugar duas tendências em uma equação, este foi proposto por Peleg (1993) para ajustar os dados experimentais de adsorção de umidade. De acordo com Wolf e Spiess (1995) este modelo é aplicado para calcular dados de umidade de equilíbrio e atividade de água de produtos individuais em sistemas multicomponentes.

$$U_e = K_1(A_w)^{n_1} + K_2(A_w)^{n_2} \quad (9)$$

Em que:

U_e - umidade de equilíbrio (% base seca)

A_w - atividade de água (adimensional)

K_1, K_2, n_1 e n_2 – constantes do modelo

Toujani et al. (2011), estudaram as isotermas de sorção aplicando os modelos de BET, Oswin, GAB, Halsey modificado, e Peleg em amotras de peixe-rei, obtendo o melhor desempenho com a aplicação do modelo de Peleg.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Pesquisa Química, localizado na Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Goiás (UnUCET - UEG), Anápolis, Estado de Goiás.

3.1 MATÉRIA-PRIMA

Foi utilizada no experimento a farinha mista composta por 18% de bagaço de malte, 82% de arroz e com 19% de umidade. O bagaço de malte, fornecido pela indústria cervejeira AmBev (município de Anápolis–GO), foi desidratado triturado e tamisado para granulometria inferior a 300 μm , e o arroz polido, adquirido no comércio local, foi do mesmo modo triturado e tamisado.

A farinha foi obtida por extrusão termoplástica utilizando extrusora da marca BRABENDER de parafuso único, com matriz circular de 3 mm, taxa de compressão de 1:3 e temperaturas nas zonas de aquecimento de 80, 100 e 152 °C.

3.2 ADSORÇÃO DE ÁGUA PELAS FARINHAS

Para o processo de adsorção de água, foram utilizadas amostras de aproximadamente 0,5 g de farinha. A amostra foi colocada em recipientes de pesagem, sendo estes pesa filtros com boca esmerilhada, isentos de umidade e de massa conhecida, e transferidos para estufa com recirculação de ar forçado a 105 °C durante quatro horas, resfriados em dessecador por uma hora e pesados para a determinação da massa seca, ou massa inicial (M_i). Em seguida, os recipientes de pesagem foram colocados em recipientes de vidro com tampa hermética contendo soluções saturadas dos sais: cloreto de lítio (LiCl), acetato de potássio (CH_3COOK), cloreto de magnésio (MgCl_2), iodeto de potássio (KI), cloreto de sódio (NaCl), sulfato de amônio ($\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), cloreto de potássio (KCl) e sulfato de potássio (K_2SO_4) gerando assim ambientes internos com diferentes atividades de água a cada temperatura, como mostra a Tabela 1.

TABELA 1. Atividade de água dos sais às diversas temperaturas

Sal	Atividade de água à temperatura (°C) de:			
	25	30	35	45
LiCl	0,113	0,113	0,112	0,112
CH ₃ COOK	0,225	0,216	0,212	0,198
MgCl ₂	0,328	0,324	0,320	0,310
KI	0,689	0,679	0,670	0,653
NaCl	0,753	0,751	0,750	0,746
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,810	0,806	0,802	0,796
KCl	0,843	0,836	0,830	0,817
K ₂ SO ₄	0,973	0,970	0,967	0,961

Os recipientes de vidro devidamente identificados contendo as amostras das farinhas, como ilustrados na Figura 6, foram acondicionados em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 25, 30, 35 e 45°C. Os recipientes foram pesados periodicamente com intervalos de três horas em balança analítica marca GEHAKA BG 400 com precisão de 0,0001 g, até atingir massa constante (m_e).

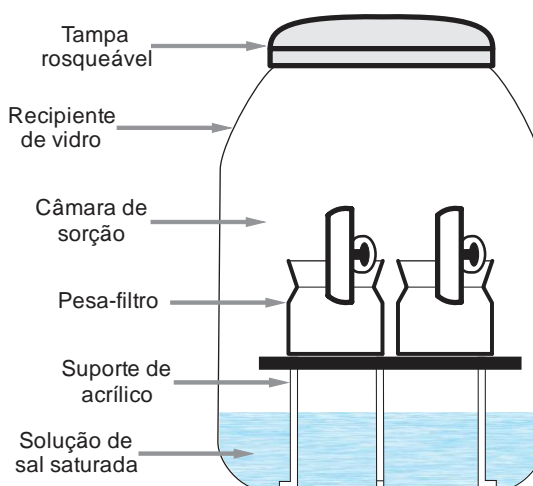


FIGURA 6. Esquema dos recipientes utilizados no procedimento de adsorção de água para as farinhas pré-gelatinizadas de bagaço de malte e arroz.

3.2.1 MODELAGEM DO PROCESSO DE ADSORÇÃO

Para a modelagem do processo de adsorção de água pelas farinhas em estudo nas diferentes temperaturas e umidades relativas propostas, foi utilizado o modelo de Peleg (1988) descrito pela Equação 10.

$$U_t = U_0 \pm \frac{t}{(C_1 + C_2 t)} \quad (10)$$

Em que:

U_t : teor de água do produto para um determinado instante de tempo, % b.s.;

U_0 : teor de água inicial do produto, % b.s.;

t : tempo, h;

C_1 : taxa constante de Peleg, $100 \text{ h kg}_{\text{ms}} \text{ kg}_{\text{a}}^{-1}$; e

C_2 : capacidade constante de Peleg, $100 \text{ kg}_{\text{ms}} \text{ kg}_{\text{a}}^{-1}$.

O sinal \pm apresentado na Equação 10 é devido ao fato do modelo poder ser empregado em processos de adsorção (+) como de dessorção (-).

As constantes C_1 e C_2 do modelo proposto para modelagem de adsorção de água pelas farinhas foram obtidas pelo ajuste da Equação de Peleg linearizada, conforme descrito na Equação 11.

$$\frac{t}{U_t - U_0} = C_1 + C_2 t \quad (11)$$

Uma vantagem do modelo de Peleg é o ganho de tempo para predizer a cinética de adsorção de água em alimentos, incluindo a predição do teor de água no equilíbrio (PELEG, 1988), que pode ser obtido pela Equação 10 quando o tempo tende a infinito, resultando na Equação 12:

$$U_e = U_0 + \frac{1}{C_2} \quad (12)$$

Em que:

U_e : teor de água de equilíbrio do produto, % b.s.;

U_0 : teor de água inicial do produto, % b.s.; e

C_2 : capacidade constante de Peleg, $100 \text{ kg}_{\text{ms}} \text{ kg}_{\text{a}}^{-1}$.

3.2.1.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO MODELO

Para verificar o ajuste do modelo, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2) do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE). Os valores do erro médio relativo e do desvio padrão da estimativa para cada modelo foram calculados pelas Equações 13 e 14, respectivamente.

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (13)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (14)$$

Em que:

Y: valor observado experimentalmente;

\hat{Y} : valor estimado pelo modelo;

n: número de observações experimentais;

GLR: grau de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

3.2.2 AJUSTE DAS ISOTERMAS DE EQUILÍBRIO

O ajuste das isotermas de adsorção para a farinha foi realizado através da análise de regressão não-linear dos resultados experimentais obtidos, sendo testados os modelos de OSWIN, SMITH e PELEG, descritos na Tabela 2 (Equações de 15 a 17). Para encontrar os parâmetros estatísticos para os modelos propostos foi adotado o método matemático Simplex and Quasi-Newton, com o auxílio do programa Origin versão 8.0.

TABELA 2 - Modelos matemáticos de adsorção de água de dois e de três parâmetros.

Modelo	Referência	Modelo matemático de adsorção
Oswin	Chirife e Iglesias, (1978)	$X_e = a \left(\frac{A_w}{1 - A_w} \right)^b$ (15)
Smith	Labuza et al.,(1985)	$X_e = a - b \ln(1 - A_w)$ (16)
Peleg	Peleg, (1993)	$X_e = k_1 A_w^{n_1} + K_2 A_w^{n_2}$ (17)

A,B e C = Constantes características das equações de dois e de três parâmetros

Para a adequação do melhor modelo matemático que explique as variações do teor de água de equilíbrio em função da atividade de água se comparará os coeficientes de determinação (R^2) e os valores dos erros padrão da estimativa (SE), calculados de acordo com as Equações 18 e 19, respectivamente (VIEIRA, 2004).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^{i=n} (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (18)$$

Em que Y é o correspondente valor estimado por meio do modelo matemático de sorção (Tabela 3), para o elemento i da amostra.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - \text{GLR}}} \quad (19)$$

Em que GLR é o grau de liberdade do modelo matemático utilizado (Tabela 2). Os GLR adotados para os modelos de dois e de três parâmetros serão de 2 e 3, respectivamente.

Foi escolhido o melhor modelo matemático que explicasse as variações de umidade de equilíbrio da farinha em função da atividade de água. A adequação foi realizada utilizando a análise dos resíduos ou erros estimados. Estes valores foram obtidos pela diferença entre os valores observados e os valores estimados por um determinado modelo de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE ÁGUA DAS FARINHAS

A Figura 7 representa as variações dos teores de água da farinha extrusada em função do tempo, obtidas em diferentes temperaturas e atividades de água estudadas.

Observa-se que os dados experimentais apresentam mesmo perfil e evoluem de forma exponencial em função do tempo de adsorção. Inicialmente, o teor de água aumenta rapidamente até alcançar um patamar em que a umidade atinge o equilíbrio. O tempo necessário para atingir o equilíbrio varia de acordo com o valor de atividade de água e temperatura do processo de adsorção. Botelho (2009) observou resultados semelhantes, porém, em processo de absorção de água para grãos de milho em diferentes temperaturas e níveis de danificação mecânica, argumentando que o fato pode ser atribuído ao alto gradiente de teor de água existente entre a amostra e o meio; o que pode ter ocorrido no presente estudo.

O teor de água de equilíbrio aumentou com o valor de atividade de água ao qual as amostras foram expostas, variando de um modo geral entre 2,9 e 36,2 dag Kg⁻¹. Em vista dessa grande variação houve necessidade de encontrar um modelo matemático que se ajuste às curvas de adsorção, por esse motivo se utilizou o modelo de Peleg Linearizado (Equação11).

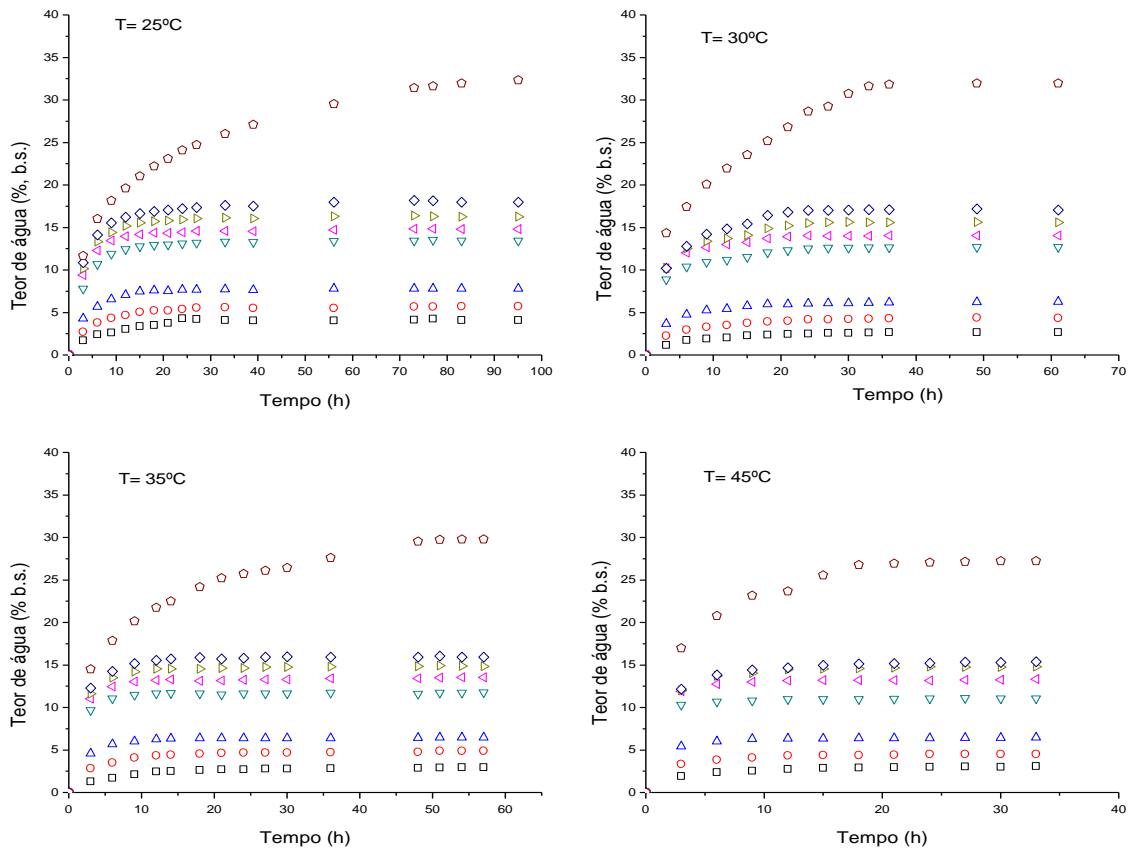


FIGURA 7. Valores observados do teor de água em função do tempo para as diferentes atividades de água, obtidas em diferentes temperaturas (T) e soluções saturadas de sais inorgânicos: \square LiCl; \circ CH₃COOK; \triangle MgCl₂, ∇ KI, \triangleleft NaCl; \triangleright (NH₄)₂SO₄; \diamond KCl; \boxtimes K₂SO₄.

Na Figura de 8 são apresentados os dados experimentais transformados e estimados pela Eq. (11). O modelo matemático testado apresenta uma forte correlação com valores estatísticos de R^2 de 0,994 – 1,000 (Tabela 3). Valores deste coeficiente acima de 99% são tidos como satisfatórios para o modelo de Peleg (CUNNINGHAM et al., 2007), no entanto, o emprego isolado do mesmo não deve ser usado como critério de avaliação de modelos não lineares. Entretanto, no presente trabalho, além do R^2 , também se verificou o bom ajuste do modelo de Peleg com as estatísticas P e SE (Tabela 3), obtendo-se valores satisfatórios entre 0,14 – 6,20% e 0,00 – 0,02, respectivamente.

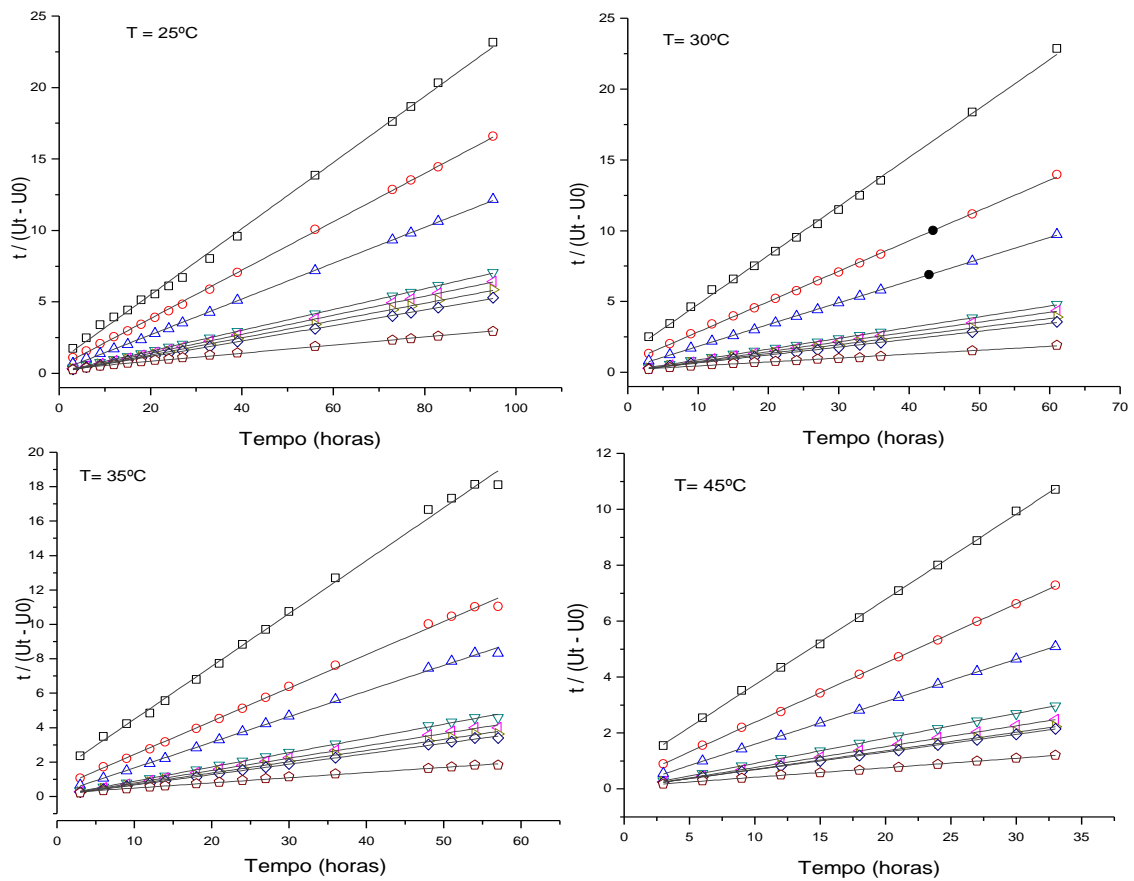


FIGURA 8: Valores do teor de água observados e estimados pelo modelo de Peleg linearizado em função do tempo para as diferentes atividades de água, obtidas em diferentes temperaturas (T) e soluções saturadas de sais inorgânicos: \square LiCl; \circ CH₃COOK; Δ MgCl₂, ∇ KI, \triangleleft NaCl; \triangleright (NH₄)₂SO₄; \diamond KCl; \times K₂SO₄.

Tabela 3: Valores do coeficiente de determinação (R^2), erro médio relativo (P), desvio padrão da estimativa (SE) e coeficientes (C_1 e C_2) do modelo de Peleg obtidos pelo ajuste aos dados experimentais.

TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)	A_w	Parâmetros		Ue	R^2	P(%)	SE
		C_1	C_2				
25	0,11	0,87	0,23	4,32	0,990	4,43	0,29
	0,23	0,45	0,17	5,91	0,990	2,81	0,11
	0,33	0,19	0,13	7,98	1,000	3,05	0,07
	0,69	0,10	0,07	13,73	1,000	1,98	0,03
	0,75	0,07	0,07	15,03	1,000	1,65	0,02
	0,81	0,07	0,06	16,55	1,000	1,85	0,02
	0,84	0,09	0,05	18,45	1,000	0,95	0,02
	0,97	0,28	0,03	35,30	0,997	6,20	0,05
30	0,11	1,35	0,35	2,89	0,998	2,10	0,22
	0,22	0,71	0,21	4,66	0,999	1,37	0,08
	0,32	0,30	0,15	6,50	1,000	1,43	0,04
	0,68	0,12	0,08	13,14	0,999	1,46	0,03
	0,75	0,07	0,07	14,39	1,000	1,48	0,02
	0,81	0,10	0,06	16,20	0,999	1,74	0,03
	0,84	0,11	0,06	17,89	0,999	2,56	0,03
	0,97	0,18	0,03	36,15	0,994	4,79	0,04
35	0,11	1,41	0,31	3,25	0,997	2,26	0,31
	0,21	0,50	0,19	5,17	0,998	1,72	0,16
	0,32	0,17	0,15	6,71	0,998	1,73	0,12
	0,67	0,06	0,08	12,08	0,998	1,62	0,07
	0,75	0,07	0,07	13,93	0,998	2,00	0,06
	0,80	0,06	0,07	15,35	0,999	1,30	0,05
	0,83	0,06	0,06	16,49	0,999	1,21	0,04
	0,97	0,19	0,03	33,33	0,995	4,80	0,04
45	0,11	0,68	0,31	3,28	1,000	0,97	0,06
	0,20	0,27	0,21	4,72	1,000	0,65	0,03
	0,31	0,08	0,15	6,57	1,000	0,71	0,01
	0,65	0,02	0,09	11,19	1,000	0,14	0,00
	0,75	0,02	0,07	13,42	1,000	0,46	0,01
	0,80	0,04	0,07	15,11	1,000	0,67	0,01
	0,82	0,05	0,06	15,80	1,000	0,26	0,00
	0,96	0,08	0,03	29,48	0,999	1,50	0,01

Os perfis da constante C_1 da Equação 11 em função da atividade de água e temperaturas estudadas estão desenhadas na Figura 9.

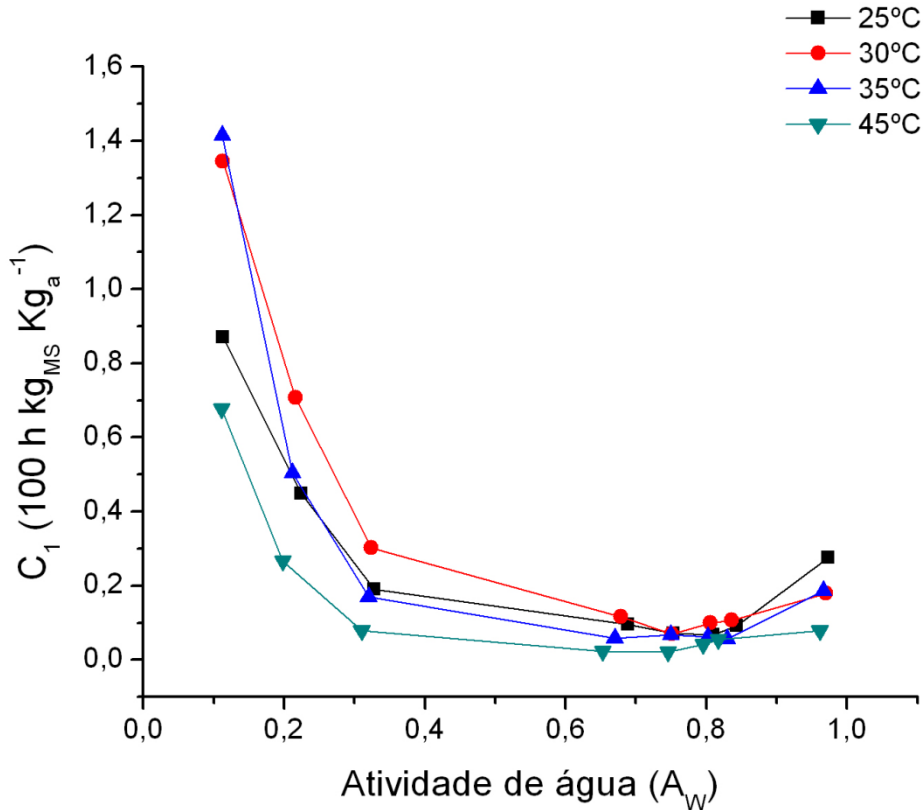


FIGURA 9: Constante C_1 do modelo matemático de peleg em função da atividade de água e temperatura.

O valor de C_1 decresceu à medida que a atividade de água aumentava até um valor de 0,8 e, posteriormente, apresentou ligeiro acréscimo em valores acima de 0,8, para todas as temperaturas estudadas. Este comportamento sugere que a farinha adsorve inicialmente grande quantidade de água quando submetida às atividades de água entre 0,6 e 0,9.

Entretanto, o perfil de C_1 em função da temperatura para atividades de água abaixo de 0,8 têm um comportamento aleatório, com exceção da temperatura de 45°C que apresenta menores valores de C_1 em todas as atividades de água estudadas, sugerindo uma maior taxa inicial de adsorção, logo nesta temperatura a farinha extrusada atinge o ponto de equilíbrio em um intervalo de tempo menor que para as demais temperaturas. Contudo observa-se que em atividades de água acima de 0,8 a constante C_1 decresce com o aumento da temperatura, comportamento este verificado por Botelho (2009) quando estudou absorção de água por grãos de milho em diferentes níveis de danificação mecânica, mostrando que o comportamento da constante C_1 de Peleg se aproxima ao ocorrido no fenômeno de absorção.

Entretanto no intervalo de atividade de água de 0,6 a 0,9 os valores de C_1 têm comportamento semelhante para todas as temperaturas em estudo.

Os perfis da constante C_2 da Equação 11 em relação à atividade de água e a temperatura esta apresentado na Figura 10.

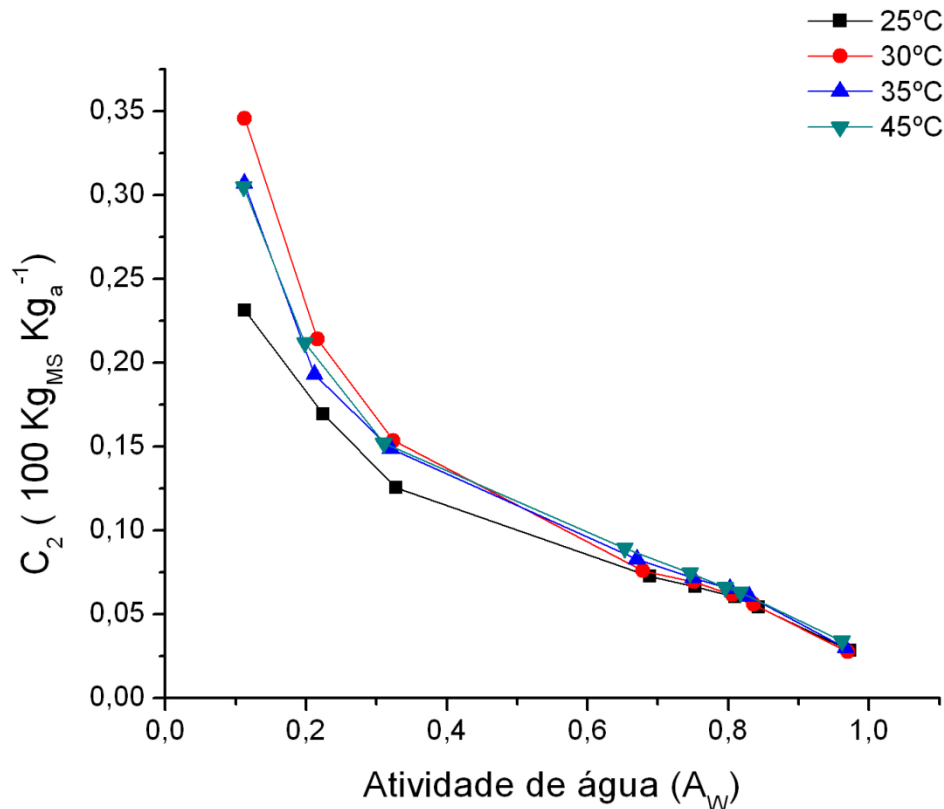


Figura 10: Variação da constante de Peleg (C_2) em relação à Atividade de água (A_w) para as quatro temperaturas estudadas.

Constata-se que, de modo geral a constante C_2 de Peleg decresceu com o aumento da atividade de água, este comportamento pode ser atribuído ao aumento do teor de água de equilíbrio do produto com o aumento da atividade de água de adsorção. Concordando com o proposto por Maskan (2002), que expõe que a capacidade constante de Peleg C_2 está relacionada com a capacidade máxima de adsorção de água, e quanto menor o seu valor, maior será a absorção de água pelo produto.

Esta constante apresenta comportamento aleatório frente à temperatura, porém para a atividade de água próxima de 1,0 existe tendência de apresentar um comportamento proporcional a temperatura, indicando maior capacidade de adsorção, o que representa maiores umidades de equilíbrio, para as temperaturas menores.

Os valores encontrados neste trabalho estão variando de 0,03 a 0,35 x 100 $\text{kg}_{\text{ms}}.\text{kg}_a^{-1}$ e são comparáveis aos resultados encontrados por Botelho et al. (2010), quando estudaram

hidratação do arroz na parboilização, que os valores para essa constante variaram de 0,013 e 0,020 x 100 kg_{ms}.kg_a⁻¹ para as temperaturas de 45 e 35°C respectivamente, porém com um comportamento inverso em relação a temperatura ao encontrado neste trabalho.

4.2 ISOTERMAS DE EQUILÍBRIO

Os resultados experimentais médios da umidade de equilíbrio para a amostra analisada em diferentes atividades de água e temperaturas de 25, 30, 35 e 45 °C, podem ser conferidos na Tabela 4.

TABELA 4. Valores experimentais da umidade de equilíbrio (X_e) para as diferentes atividades de água (A_w) da farinha estudada, nas temperaturas de 25 a 45 °C.

25°C		30°C		35°C		45°C	
A_w	X_e	A_w	X_e	A_w	X_e	A_w	X_e
0,113	4,134	0,113	2,582	0,112	2,899	0,112	3,036
0,225	5,729	0,216	4,344	0,212	4,815	0,198	4,508
0,328	7,830	0,324	6,221	0,320	6,483	0,310	6,444
0,689	13,490	0,679	12,660	0,670	11,759	0,653	11,119
0,753	14,813	0,751	14,002	0,750	13,459	0,746	13,258
0,810	16,318	0,806	15,650	0,802	14,862	0,796	14,749
0,843	18,065	0,836	17,099	0,830	15,966	0,817	15,364
0,973	32,356	0,970	31,925	0,967	29,797	0,961	27,211

Verificam-se na Tabela 4 que em baixas A_w a farinha adsorve pequenas quantidades de água, e em altas A_w existe um aumento acentuado da quantidade de água adsorvida.

Observa-se ainda que quando aumenta a temperatura de adsorção de 25 a 30 °C diminui a umidade de equilíbrio para todas as atividades de água estudadas. No entanto, pode-se notar que entre as temperaturas de 30 a 35 °C e atividades de água menores de 0,68 e a 45 °C e A_w de 0,112, a umidade de equilíbrio apresenta um ligeiro aumento, porém, considerado estatisticamente constante. Nas demais atividades de água para as temperaturas referidas a umidade de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura.

Uma vez que a farinha mista de arroz e bagaço de malte tem um teor elevado de carboidratos e proteínas (macromoléculas), que têm grupos polares tais como -OH e -H, que se comportam como centros ativos da sorção, de acordo com Erbas, Ertugay e Certel (2005), normalmente neste tipo de alimento em uma dada atividade de água diminui a umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura.

Foi possível ainda observar que quando exposta ao ambiente com atividade de água elevada, a farinha em estudo apresentou um valor máximo de 32,4 % bs, este valor pode ser considerado baixo quando comparado a valores encontrados para a pitanga em pó, que chega a apresentar uma umidade de equilíbrio de 88,95%, determinado por Alexandre, Figueirêdo e Queiroz (2007), podendo a farinha então ser equiparada ao arroz vermelho que apresenta uma umidade de equilíbrio máxima de 22,9%, determinado por Bastos (2009). Podemos considerar a farinha em estudo um produto pouco higroscópico, sendo fator interessante e determinante para o armazenamento deste tipo de produto.

Na Tabela 5 são apresentados os valores dos parâmetros estimados, obtidos por regressão não-linear, dos modelos de SMITH, OSWIN e PELEG, para o ajuste das isotermas de adsorção da farinha extrusada mista de arroz e bagaço de malte, para cada temperatura estudada, assim como os coeficientes de determinação R^2 ajustado (R_{aj}^2) e qui-quadrado (χ^2).

TABELA 5. Parâmetros estimados dos modelos e estatísticas de adequação para estimar a umidade de equilíbrio da farinha extrusada.

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros				χ^2	R_{aj}^2
		a	b				
SMITH	25	3,820	7,854			0,309	0,996
	30	2,285	8,422			0,324	0,996
	35	2,638	7,869			0,360	0,995
	45	2,907	7,486			0,218	0,996
OSWIN	Temperatura (°C)	a	b			χ^2	R_{aj}^2
	25	9,993	0,331			0,434	0,995
	30	8,922	0,372			1,060	0,988
	35	8,711	0,369			0,396	0,995
	45	8,698	0,361			0,451	0,992
PELEG	Temperatura (°C)	k1	k2	n1	n2	χ^2	R_{aj}^2
	25	16,980	21,669	0,690	11,786	0,074	0,999
	30	22,183	17,612	13,297	0,907	0,019	1,000
	35	21,576	15,909	12,157	0,779	0,006	1,000
	45	18,635	14,934	9,719	0,730	0,017	1,000

As estatísticas R_{aj}^2 e χ^2 demonstraram que o modelo de PELEG foi aquele que melhor se adequou aos dados experimentais obtidas nas diferentes temperaturas. Os valores de R_{aj}^2 variaram entre 0,999 e 1,000, apesar dos modelos de SMITH e OSWIN apresentarem valores de R_{aj}^2 próximos aos valores encontrados por PELEG, este apresenta valores de χ^2 muito próximos de zero, o que não ocorre com os demais.

Pacheco et al.(2009) também constataram que o modelo de PELEG, em decorrência dos melhores parâmetros de ajuste, foi considerado o mais adequado para prever a umidade de equilíbrio para a ração de peixe extrusada.

Nas figuras de 11 a 13 são apresentados os gráficos de dispersão dos resíduos para os valores ajustados dos modelos matemáticos de SMITH, OSWIN e PELEG, respectivamente.

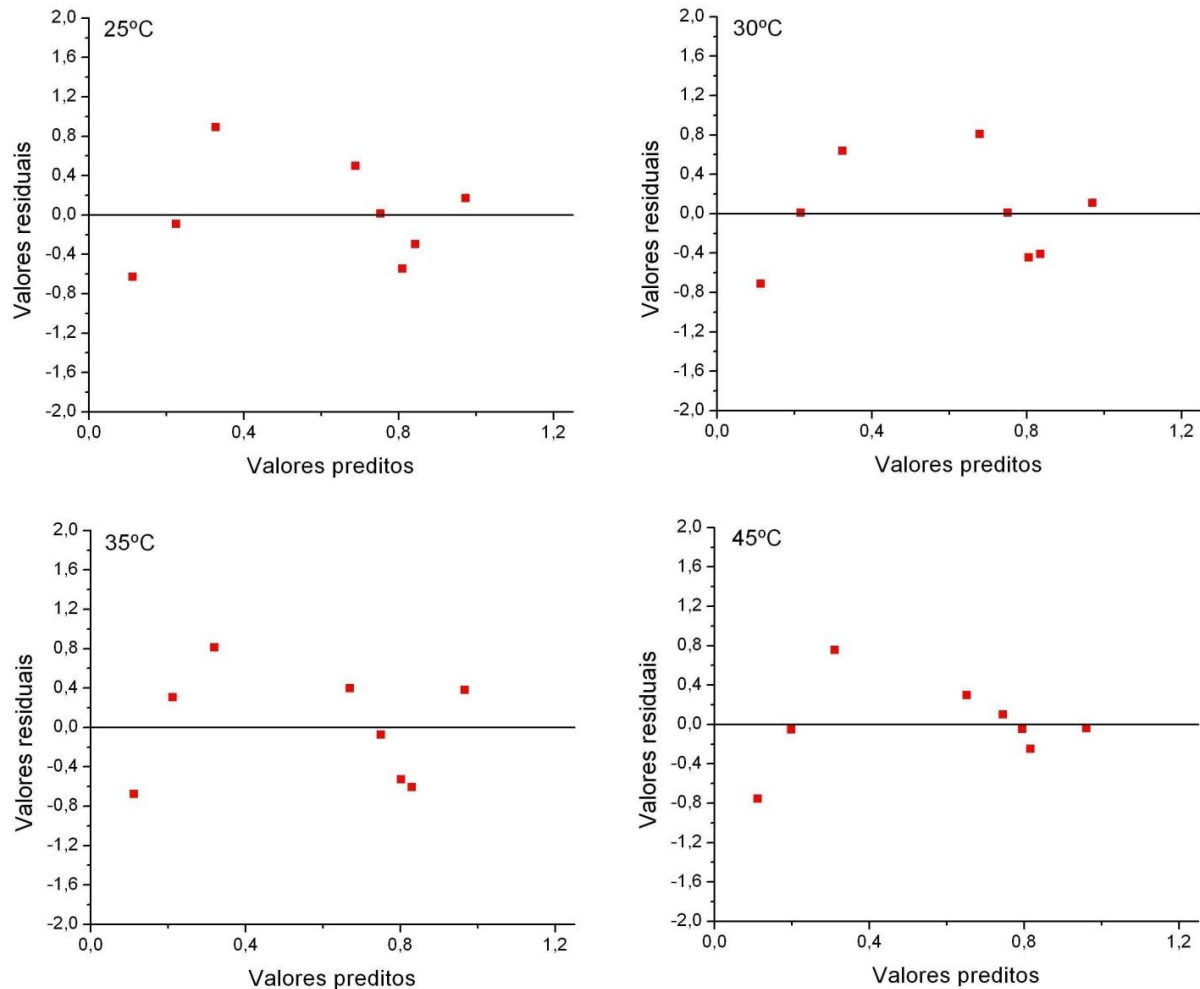


FIGURA 11: Gráficos de resíduos versus valores ajustados do modelo matemático de SMITH para isotermas de adsorção de água em farinha mista de arroz e bagaço de malte, obtidas para as diferentes temperaturas em estudo (25°, 30°, 35° e 45°C).

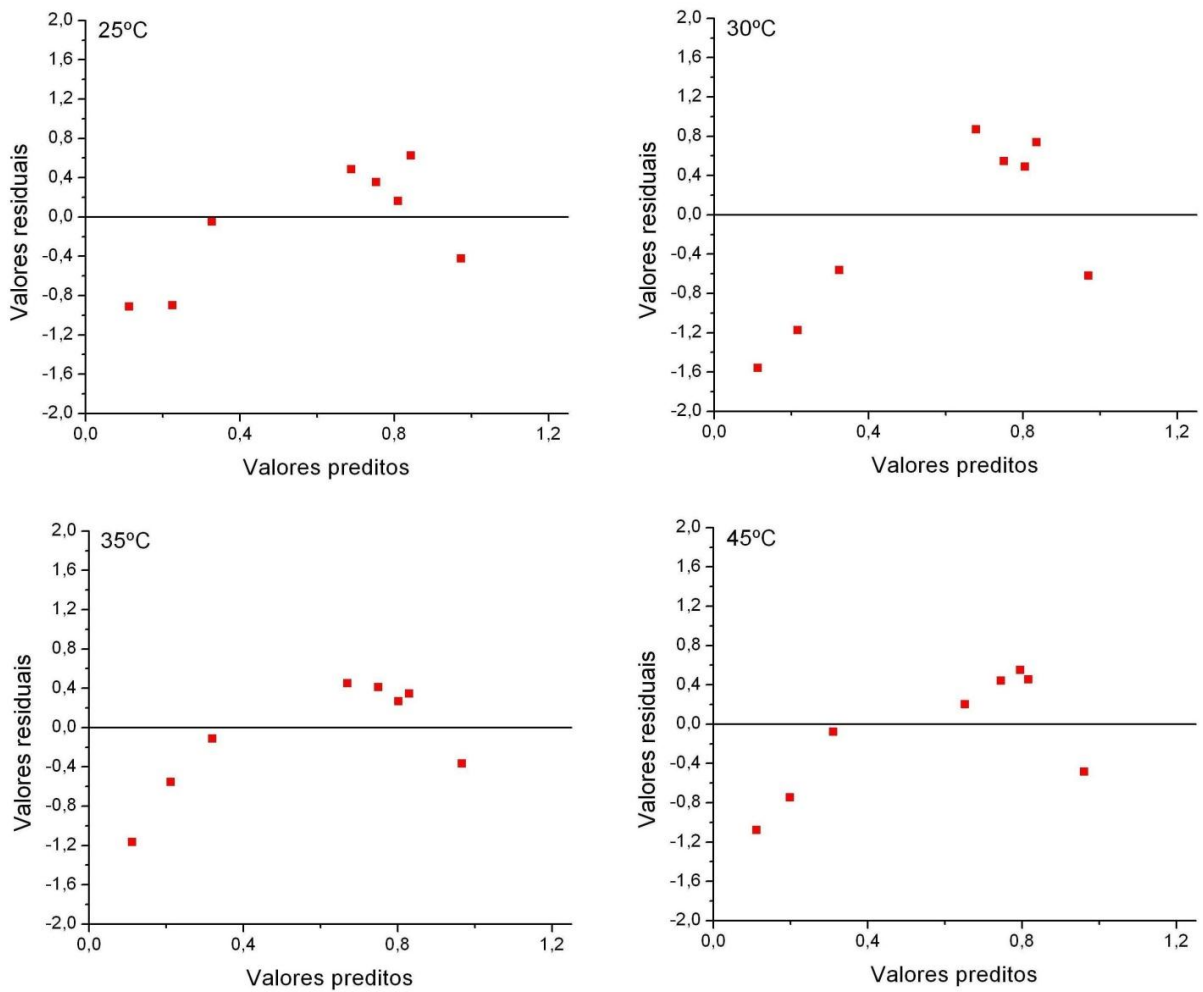


FIGURA 12: Gráficos de resíduos versus valores ajustados do modelo matemático de OSWIN para isotermas de adsorção de água em farinha mista de arroz e bagaço de malte, obtidas para as diferentes temperaturas em estudo (25°, 30°, 35° e 45°C).

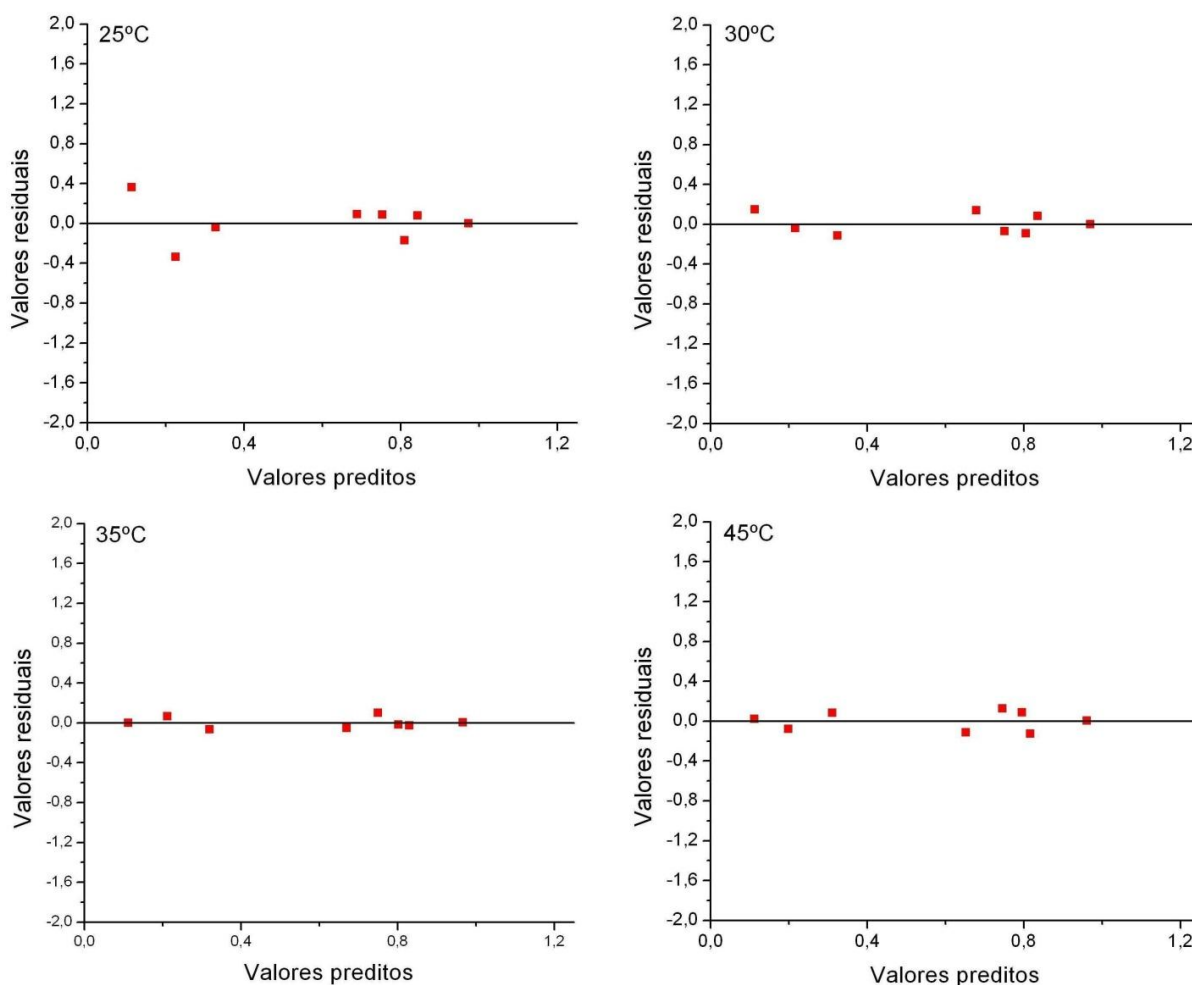


Figura 13: Gráficos de resíduos versus valores ajustados do modelo matemático de PELEG para isotermas de adsorção de água em farinha mista de arroz e bagaço de malte, obtidas para as diferentes temperaturas em estudo (25°, 30°, 35° e 45°C).

Pela análise residual da Figura 11, referente ao modelo matemático de SMITH, se pode verificar que a distribuição dos resíduos é tendenciosa com pontos em torno da média apresentando variação de até -0,7 a 0,7, para todas as temperaturas estudadas. Da mesma maneira pode-se notar para o modelo de OSWIN (Figura 12) que a distribuição dos resíduos também se apresenta de forma tendenciosa com pontos em torno da média apresentando variação de 0,7 a 1, para todas as temperaturas de 25 a 45°C.

Já na figura 13, de dispersão de resíduos para o modelo de PELEG, nota-se que estes se distribuem aleatoriamente em torno da media zero não apresentando tendência e possuem variações bem inferiores às mostradas pelos modelos de SMITH E OSWIN, sendo a maior variação de -0,3 a 0,3 apresentada para a temperatura de 25°C e valores bem próximos de zero para as demais temperaturas sendo assim o que apresenta menor valor de erro médio relativo.

Com base nesta análise estatística, nos valores da dispersão, e para os coeficientes de determinação de cada ajuste, a equação de PELEG foi escolhida para representar as isotermas de adsorção da farinha, mista de arroz e bagaço de malte, pré-gelatinizada, sendo o mais adequado para a predição do equilíbrio higroscópico nos intervalos de temperaturas e atividades de água utilizadas neste trabalho.

A Figura 14 demonstra que o modelo de PELEG ajustou-se de forma semelhante à curva média dos dados experimentais de umidade de equilíbrio.

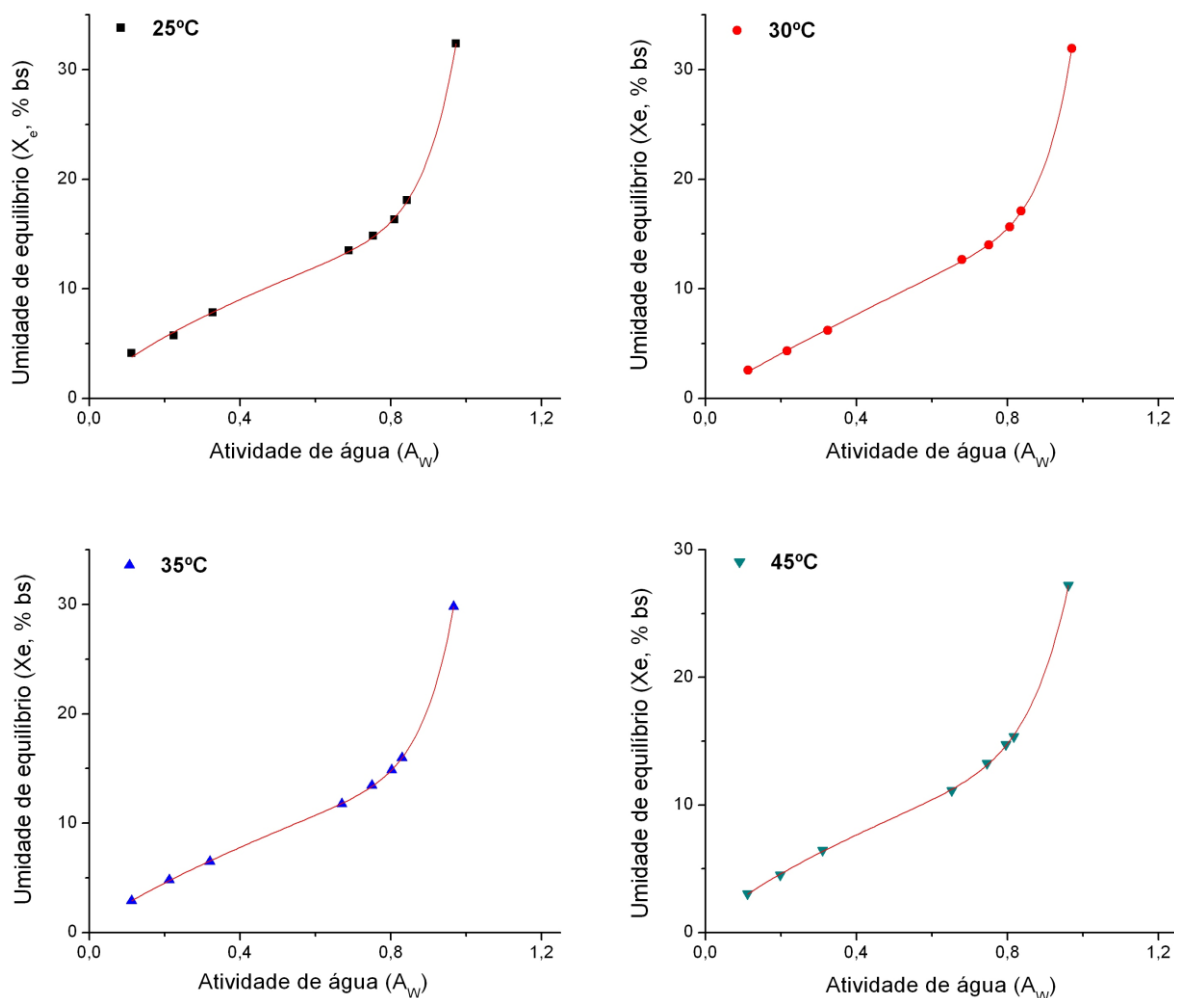


FIGURA 14: Gráficos das isotermas de adsorção de água ajustadas ao modelo matemático de PELEG, na farinha mista de arroz e bagaço de malte, obtidas em diferentes temperaturas.

As isotermas apresentam forma sigmóide podendo ser classificadas como isotermas do tipo II, observa-se, ainda nesta figura, que as isotermas de adsorção da farinha, assim como a maioria dos produtos farináceos, apresentam em sua porção final, correspondente as atividades de água mais elevadas, comportamento mais higroscópico que se caracteriza por

ascensão pronunciada da curva. Este mesmo comportamento foi evidenciado por Santos et al. (2004) ao estudarem a adsorção de água em farinhas de mandioca temperadas.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados encontrados neste estudo, conclui-se que:

Foi possível estudar a farinha pré-gelatinizada mista de arroz e bagaço de malte, no que se refere às propriedades de adsorção de água.

O modelo de Peleg ajustou-se adequadamente aos dados experimentais, sendo satisfatório para determinar a umidade de equilíbrio, a taxa inicial de água adsorvida e a capacidade constante de adsorção de água.

As curvas de isoterma de adsorção de água da farinha apresentaram estrutura sigmoide tipo II.

O modelo de Peleg resultou nos melhores ajustes aos dados experimentais, seguido pelos modelos de Smith e Oswin, ambos também podendo representar as isotermas de adsorção de umidade da farinha pré-gelatinizada.

Valores de umidades menores associados a temperaturas mais elevadas contribuíram para o aumento da estabilidade da farinha, uma vez que proporcionaram redução na umidade de equilíbrio. No entanto pode-se considerar a farinha um produto pouco higroscópico mesmo quando submetida a atividades de água elevada, o que favorece seu armazenamento.

6 REFERÊNCIAS

- AL-MUHTASEB, A.H., MCMINN, W.A.M., MAGEE, T.R.A. 2002, Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. **Transactions of the Institute of Chemical Engineers**, 80, 118–128.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.de; QUEIROZ, A. J. de M. . Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.7, n.1, p.11-20, 2007.
- ALMEIDA, F. A. C.; FONSECA, K. S.; GOUVEIA, J. P. G. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas: secagem natural de gergelim e determinação da umidade de equilíbrio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n° 3, p. 343-348, 1999.
- AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHIMIDELL, W.; LIMA, U. A. **Biotecnologia industrial**. São Paulo. Editora Blücher Ltda.v. 4. 2001.
- AREAS, J.A. Extrusion of food proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 32, n. 4, p. 365-392, 1992.
- ASCHERI, D. P. R.; NASCIMENTO, G. C.; ASCHERI, J. L. R. Características de adsorción de agua de la harina de arroz soluble a varias temperaturas. **Alimentaria**, v. 40, n. 349, p.111-119, 2003.
- ASCHERI, D. P. R.; RIBEIRO, M. M.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Isotermas de adsorción de Agua y estabilidad de Harinas extruídas de Amarantho, arroz y maíz: Estudio comparativo. **Alimentaria Artículos Originales Harinas**. v. 363, n. 5, p. 100-107. 2005.
- ASCHERI, J. L. R. **Efeito das variáveis de Extrusão nas características físicas e químicas de produtos intermediários (half-products)**. Tese (Doutorado)- Campinas, SP 1994. Universidade estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.
- ASCHERI, D. P. R.; Burger, M. C. DE M.; Malheiros, L. V.; Oliveira, V. N. (UNUCET/UEG) (2007): **Curvas de secagem e caracterização de hidrolisados de bagaço de cevada**. <http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/10/10-380-261.htm/>. Acesso 20 setembro 2011.
- BARROZO, M. A. S.; Oliveira, D. T., Sancinetti, G. P., Rodrigues, M. V. A study of the desorption isotherms of lentils. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.17, p.105-109, 2000.
- BASTOS, S. M. C. **Propriedades termodinâmicas de adsorção de água de dois genótipos de arroz-vermelho**. Dissertação (Mestrado) – Anápolis – GO, 2009. Universidade Estadual de Goiás, Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, 2009. 327p

BELLAVER, C; FIALHO, E.T.; PROTAS, J.F.S.; GOMES, P.C. Radícula de malte na alimentação de suínos em crescimento e terminação, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 20, n. 8, p. 969 - 974, 1985.

BROOKER, D. B.; ARKEMA, F. W. B.; HALL, C. W. **Drying cereal grains**. Connecticut: The AVI Publishing, 1974. 265 p.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001, 252p.

BORBA, A. M. **Efeito de alguns parâmetros operacionais nas características físicas, físico-químicas e funcionais de extrusados da farinha de batata-doce** (Ipomoea batatas). Piracicaba, 2005. 98p. Dissertação - (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo – USP.

BORGES, A. M. **Utilização do resíduo do processamento de camarão na adsorção de anions**. 2002. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Meio Metalúrgica e de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

BOTELHO, F. M. et al . Análise da hidratação do arroz na parboilização. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 30, n. 3, Set. 2010 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010120612010000300023&lng=en&nrm=iso>. access on 19 jan. 2012.

BOTELHO, F. M., **Absorção de água por grãos de milho com diferentes níveis de danificação mecânica**. 2009. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução nº 263 de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução nº12, de 1978. Normas Técnicas Especiais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 de Julho de 1978.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; TROLLER, E. On the theory of Van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, Easton, v. 62, n. 7, p. 1723-1732, 1940.

CABRAL FILHO, S.L.S. **Avaliação do resíduo de cervejaria em dietas de ruminantes através de técnicas nucleares e correlatas**. Piracicaba, 1999. 68p. Dissertação (Mestrado) – Univesidade de São Paulo.

CLAUDINO, Andréia. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Dissertação (Mestrado).

CHETANA, R.; SRINIVASA, P. C.; REDDY, S. R. Y. Moisture sorption characteristics of milk burfi, an traditional Indian sweet, using sugar substitutes. **European Food Research and Technology**, v. 220, n. 2, p. 136-141, 2005.

CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 a review. **Journal of Food Technology**, v. 13, p. 159-174, 1978.

CORREA, P. C.; MOURE, J. Higroscopicidad y propiedades térmicas de semillas de sorgo. **Alimentacion Equipos y Tecnologia**, Madri, v. 29, n. 1, p. 149 – 153, 2000.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, setembro 2011 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília, 2011.

COSTA, A.D.; MATTOS, E.S.; LIMA, C.A.R.; VIEIRA, A.A.; MATTOS, M.A.; FERREIRA, R.A.D.; SARINHO, V.C.; RAMALHO, H.F. Composição e energia digestível do bagaço de malte em suínos machos nas fases de crescimento e terminação. In: Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ, Seropédica-RJ, **Anais...**, Seropédica, 2006.

COSTA, J. M. C.; SCHER, J. ; HARD, J. Influência do nível de hidratação na distribuição granulométrica de farinhas de trigo: uso da técnica de difração laser. **Revista Ciência Agrônômica**, v.34, n.2, p.173-177, 2003.

COULTATE, T. P. **Food: The Chemistry of its components**. Series fo the Royal Society of Chemistry Paperbacks, 3rd edition, London, Royal Society of Chemistry, 1996. p.321-339.

COUTINHO, M. R. **Modelagem, simulação e análise da hidratação de grãos de soja**. Maringá, PR, 2006. 178 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM.

CUNNINGHAM, S. E.; MCMINN, W. A. M.; RICHARDSON, P. S. Modelling water absoption of pasta during soaking. **Journal of food Engineering**, v. 82, p. 600-607, 2007.

DEOBALD, H.J. Rice flours. Ch.10. In: Rice: Chemistry and Technology. **American Association of Cereal Chemists**, D.F. HOUSTON (ed), v.4, p.264-269, Saint Paul, 1972.

EL-DASH, A. A. Molecular structure of glúten and viscoelastic properties of dough: a new concept. **Proceedings of the First Brazilian Congress Proteins**. Ed. Unicamp, 1990, p.513-530.

EL-DASH, A. 1981. Application and control of termoplastic extrusion of cereal for food and industrial uses. In: **Cereals: a Renewable Resource: Theory and Practice**, POMMERANZ, Y. e MUNCH, L (eds.). Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, p.165-216.

ERBAS, M.; ERTUGAY, M. F.; CERTEL, M. Moisture adsorption behaviour of semolina and farina. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 2, p. 191-198, 2005.

FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C.; SEIB, P.A. Functionality of grain components in extrusion. **Cereal Foods World**. v. 27, n. 5, p. 212-216. 1982.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2a ed., Porto Alegre: Artmed, 2006, 602p.

FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos**, 2ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 1258p.

FERRAZ, M. B. M. **Determinação de cinética de hidratação de ervilhas *Pisium sativum* desidratadas**. Campinas, SP, 2008. Tese (mestrado) Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S.; Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n° 2, p. 251-255, 2003.

GARCÍA, F. P.; MARTÍNEZ, A. J. G. Evaluación de las isotermas de sorción en cereales para desayuno. **Superficies y Vacío**, v. 19, n. 1, p. 12-19, 2006.

GILES C. H.; D' SILVA, A. P. D., TRIVEDI, A. S. **Surface area determination**. London: Butterworth; **135 - 47, 1970**.

GOMIDE, Reynaldo. Operações Unitárias: **Operações de transferência de massa**, vol. 4, São Paulo: R. Gomide, p.33-167, 1988.

GUERREIRO, L. Produtos Extrusados para Consumo Humano, Animal e Industrial. Rio de Janeiro. **Dossiê Técnico – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT**. 2007, 25 p.

HALSEY, G.; Physical adsorption on uniform surfaces. **Journal of Chemical Physics**, Woodbury, v. 16, n.10, p. 931-937, 1948.

HENDERSON, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.33, n.1, p.29-32, 1952.

HOUGH, J. S. **Biología de la cerveza y de la malta**. Espanha: Acribia, 1996. 194p.

HORNSEY, I. **Elaboración de cerveza: microbiología, bioquímica y tecnología**. Espanha: Acribia, 1999. 229p.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Pesquisa de Orçamentos Familiares - 2008-2009: aquisição alimentar domiciliar *per capita*, Brasil e grandes regiões. Rio de Janeiro; 2011.

JAIN S. K. et al. Studies on moisture sorption isotherms for osmotically dehydrated papaya cubes and verification of selected models. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 3, p. 343–346, ago. 2009.

JULIANO, B.O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. Capturado em 01 dez. 2006. Online. Disponível em : <http://www.fao.org>.

JULIANO, B.O.; BECHTEL, D.B. The rice grain and its gross composition. In: JULIANO, B.O. (Ed.). **Rice: chemistry and technology**. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985. Cap.2, p.17-57.

KADAN, R. S.; ROBINSON, M. G.; THIBODEUX, D.P.; PEPPERMAN, A. B. Jr. Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. **Journal Food Science**. 66(7):940-4. 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb08216.x>> Acesso em: 25 Nov. 2011.

KENNEDY, G. et al. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, v.51, p.33-42, 2002.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isotermas de dessorção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, Campinas, out/dez 2005.

LABUZA, T. P.; KAAANANE, A.; CHEN, J. Y. Effect of temperature on the moisture sorption isotherm and water activity shift of two dehydrated food. **Journal Food Science**, v. 50, n. 2, p. 392-396, 1985.

LABUZA, T. P. Interpretation of sorption data in relation to the state of constituent water. In DUCKWORTH, R. B. **Water relations of foods**. London, Academic Press Inc., 1975. P. 155-173.

LEMOS, M.R.B.; SOARES, L.A.de S. Farelo de arroz: um subproduto em estudo. **Óleos & Grãos**, v. 7, n. 51, p.40-48, 1999.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part II: Milk, coffee, tea, nuts, oilseeds, spices and starchy foods. **Lebensmittel - Wissenschaft & Technologie**, London, v. 18, n. 1, p. 118-124, 1985.

LUMEN, B.O.; CHOW, H. Nutritional quality of rice endosperm. In: LUH, B. S. (Ed.). **Rice utilization**. 2.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995. V.2, cap.15, p.363-395.

MACHADO, C. M. M. Processamento de hortaliças em pequena escala. Brasília: **Embrapa Informação tecnológica**, 2008. P. 23-24.

MAHARAJ, V.; SANKAT, C. K.. The rehydration characteristics and quality of dehydrated dasheen leaves. **Canadian Agricultural Engineering**. Edição de abril/Maio/Junho v. 42(2), pp. 81-85. Faculty of Engineering, University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad, Trinidad and Tobago, 2000.

MARCINKOWSKI, E. A. **Estudo da cinética de secagem, curvas de sorção e predição e propriedades termodinâmicas da proteína texturizada de soja**. 2006, 127 p. (Mestrado em Engenharia) Departamento de Engenharia Química, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MASKAN, M.; Effect of processing on hydration kinetics of there wheat products of the same variety. **Journal of Food Engineering**, v. 52 p. 337-341, 2002.

MOURA, M.C.P.A. **Otimização do processo de recuperação do cromo de efluentes de curtumes por micro emulsões no extrator Morris**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.

NÓBREGA, G. A. S. **Determinação do teor de umidade do gás natural usando um dispositivo com adsorção**. 2001. Monografia, UFRN, Departamento de Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos – PRH 14/ANP. Áreas de Concentração: Engenharia de Processos e Processo de Separação, Natal/RN, Brasil.

OLIVEIRA E. R. Utilização de resíduos agroindustriais na alimentação de ruminantes. In: XI Congresso Latino-americano, V Congresso Brasileiro, III Congresso Nordeste de Buiatria, 02 a 05 de setembro de 2003. Salvador, Bahia. **Anais...** Bahia.

PACHECO, A. C. W. et al. ISOTERMAS DE ADSORÇÃO PARA RAÇÃO DE PEIXE. **III Simpósio de Engenharia Química DEQ/UEM**, 2009, Maringá-PR.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Processing Engineering**, v. 16, n. 1, p. 21-37, 1993.

PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 4, p. 1216-1217 e 1219, 1988.

PENA, R. S; RIBEIRO, C. C; GRANDI, J. G. Aplicação de modelos matemáticos bi e triparmétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 8-11, 2000.

PEREIRA, A. **Avaliação microestrutural de pós de suco de maracujá obtidos por spray drying**. Lavras: UFLA, 2000; 66p.:il Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos).

PEREIRA, J.C.; GONZÁLEZ, J.; OLIVEIRA, R.L.; QUEIROZ, A.C. Cinética de degradação ruminal do bagaço de cevada submetido a diferentes temperaturas de secagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**. V. 28, n. 5, p. 1125 – 1132, 1999.

PRADO, M. E. T. **Secagem de tâmaras (*Phoenix dactylifera* L.) para obtenção de tâmara passa**. Campinas-SP, 1998. 152p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

PRADO M. E. T., ALONSO, L. F. T.; SALES, A. F.; K. J. **Isotermas de sorção de tâmaras: determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.19, n. 1, Campinas, jan./abr. 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20611999000100026&script=sci_arttext> Acesso: 21 ago. 2011.

QUAST, D. G.; TEIXEIRA NETO, R. O. Moisture problems of foods in tropical climates. **Food Technology**, Chicago, v. 30, n. 5, p. 98-105, May, 1976.

RESENDE, O.; CORREA, P. C. Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, p. 373-378, 2007.

RESIO, A. C.; AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C. Hydration kinetics of amaranth grain. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 247-253, 2006.

RIBEIRO, Eliana P.; SERAVALLI, Elisena A. G. **Química de Alimentos**. 2 ed. São Paulo. Editora Blucher, 2008. 184 p.

ROMERO-PENA, L. M.; KIECKBUSCH, T.G. Influencia de Condições de Secagem na Qualidade de Fatias de Tomate. **Braz. J. Food Technology**. v.6, n.1, p.69-76, jan./jun., 2003.

SANTOS, F. S. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade de farinhas de mandioca temperadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.6, n.2, p.149-155, 2004.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. **Cervejas e Refrigerantes**. CETESB, São Paulo. 58p. 2005.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; CANAVESI, E. **Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis**. Campinas: CETEA/ITAL, 2001. 215p.

SILVA, F.; PARK, K. J.; MAGALHÃES, P. M. Isotermas de desorção de *Calendula officianalis* L.: determinação experimental e modelagem matemática. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 21-28, 2007.

SPIESS, W. E. L.; WOLF, W. R. Critical evaluation of methods to determine sorption isotherms. In: ROCHLAND, L. B.; BEUCHAT, L. R. **Water activity: Theory and Application to food**. New York: Marcel Dekker Inc., 1987. p. 215-233.

STANLEY, D. W. Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. **Food Technology**, v.40, n.3, p.65-68, 1986.

TEIXEIRA NETO, R. O., QUAST, D. G. Isotermas de adsorção de umidade em alimentos. **Manual Técnico ITAL**, v. 8, p. 141-197, 1993.

TORREZAN, R.; JARDINE, J. G.; VITALI, A. A. Preservação de alimentos com o uso dos métodos combinados: uma revisão. **B. SBCTA**, 31 (2): 214-228, jul./dez. 1997.

TOUJANI, Mohsen, et al. Drying characteristics and sorption isotherms of silverside fish (Atherina). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 594-600, 2011.

TURHAN, M.; SAYAR, S.; GUNASEKARAN, S. Application of peleg study water absorption in chickpea during soaking. **Journal of food engineering**, v. 53, p. 253-259, 2002.

VIANA, GILMAR. Presidente do Sindicerv. Brasil passa Alemanha e Rússia e é o 3º produtor mundial de cerveja. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, p. 1-1. 16 jan. 2011.

Disponível em:

<http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2011/01/16/internas_economia,203997/brasil-passa-alemanha-e-russia-e-e-o-3-produtor-mundial-de-cerveja.shtml>. Acesso em: 16 jan. 2011.

VIEIRA, M. S., **Determinação da composição química e do valor nutritivo do bagaço de cevada com suínos** – 2010. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

VIEIRA, A. F. C. **Análise da média e dispersão em experimentos fatoriais não replicados para otimização de processos industriais**. Rio de Janeiro, 2004. 204 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

VIEIRA, A. H.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em po. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 7, n. 1, p. 11-20, 1o semestre 2007.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**. 2008, vol.38, n.4, pp. 1184-1192. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S010384782008000400049>. Acesso em: 29 de agosto de 2011.

WOLF, W. R; SPIESS, W. E. L. Advances in water sorption characteristics, measurement and description. In: BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; WELTI-CHANES, J. W. **Food preservation by moisture control: fundamentals and applications**. Lancaster, Pennsylvania, U.S.A. 1995. p. 155-168.

ZHOU, Z. et al. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v.37, p.849-868, 2002.