

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALINE FRANCIELLE FRACASSO

**CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DE SOJA: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SOJA
TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL**

**CURITIBA
2011**

ALINE FRANCIELLE FRACASSO

**CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DE SOJA: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SOJA
TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof. Dr^a. Regina Maria
Matos Jorge
Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Mário de
Matos Jorge

**CURITIBA
2011**

Fracasso, Aline Francielle

Cinética de hidratação de soja: estudo comparativo entre soja Transgênica e convencional / Aline Francielle Fracasso. – Curitiba, 2011.

124 f.: il.; graf., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Regina Maria Matos Jorge

Co-orientador: Luiz Mário de Matos Jorge

1. Soja - Cultivares. 2. Soja - Hidratação. I. Jorge, Regina Maria Matos. II. Jorge, Luiz Mário de Matos. III. Título.

CDD 664.805655

ALINE FRANCIELLE FRACASSO

**CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DE SOJA: ESTUDO COMPARATIVO
DA SOJA TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Orientadora:


Prof.^a Dr.^a REGINA MARIA MATOS JORGE
Setor de Tecnologia, UFPR


Prof.^a Dr.^a ADRIANE BIANCHI PEDRONI MEDEIROS
Setor de Tecnologia, UFPR


Prof.^a Dr.^a AGNES DE PAULA SCHEER
Setor de Tecnologia, UFPR

Curitiba, 01 de agosto de 2011.

Dedico este Trabalho

Aos meus exemplos de vida, minha família, meu pai Paulo Ricardo Fracasso e a minha mãe Ilda Pessini Fracasso que sempre me estimularam a dar este grande passo, minha fonte de inspiração e os amores de minha vida.

E a minha querida professora Regina Maria Matos Jorge pela orientação, apoio e amizade.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me proporcionado a oportunidade de realizar este mestrado, ter me abençoado todos os dias de minha vida e por estar sempre ao meu lado nos momentos difíceis e alegres.

A minha família que amo muito, pelo incentivo e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida. Vocês meus queridos e amados pais são meus exemplos de vida e meu porto seguro.

A minha orientadora, professora Regina Maria de Matos Jorge, pelo apoio, amizade, dedicação, paciência, pela confiança depositada em mim, pela excelente orientação do meu trabalho e por ser exemplo de profissional e a qual sempre fará parte da minha vida.

As professoras Dr^{as}. Adriane Bianchi Pedroni Medeiros e Agnes de Paula Scheer pela participação na defesa de dissertação e pelas contribuições no trabalho.

Ao secretário do Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos, Paulo Roberto Krainski, pelas conversas, pela amizade, dedicação e boa vontade indispensáveis em todos os momentos.

Aos amigos (as) do PPGTA, Bogdan Júnior, Cátia Frizon, Camila Perusselo, Daniele Carpiné, Diego Fávero, Érika de Castro Vasques, Felipe Reis, João Dagostin, Marlene Bampi, Priscila Gaschi, Priscila Muller e Valesca Kotovicz que foram sempre verdadeiras (os) amigas (os) e me incentivaram, apoiaram, ajudaram sempre nesta trajetória do mestrado e quero tê-los sempre em minha vida.

A minha grande amiga Cátia Frizon, obrigada por tudo e pela sua amizade linda e verdadeira.

A Érika Vasques que foi por ela que tudo começou a minha trajetória no mestrado, dedico a você isso tudo amiga. Obrigada por tudo de coração.

Aos alunos de Iniciação Científica, Ana Letícia D'Oliveira Fonseca, Eliasar Bissoli, Haline Bachmann Pinto, Johara Ferreira Pereira, Liara Martelli, Murilo Stygar,

Nayara Fontan, por estarem sempre prontos a me ajudar não medindo esforços para isso, meu muito obrigada.

A Bárbara Celuppi Marques, aluna de doutorado do PPGTA, pela ajuda e apoio constante neste trabalho e pela sua amizade.

A Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos (PPGTA), Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela oportunidade de realizar este trabalho e pela bolsa concedida durante os anos do curso.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos pelo incentivo, em especial a professora Agnes de Paula Scheer, obrigada por tudo.

A todos meus amigos e amigas que sempre estiveram presentes me aconselhando e incentivando com carinho e dedicação, em especial Clarice Marchese, Luciane Prado e Paula Carvalho as quais prezo muito e as amo.

E a todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, meu muito obrigada!

"O sucesso é a soma de pequenos esforços -
repetidos dia sim, e no outro dia também."

Robert Collier

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo cinético comparativo do processo de hidratação de grãos para três cultivares de soja convencional (CD 215, CD 206 e BRS 232) e três cultivares transgênicas (A7321, CD 231 e D. Mario). O Brasil é o segundo maior produtor, com produção de 72,23 milhões de toneladas na safra de 2010/2011. A hidratação mostra-se importante uma vez que modifica a textura dos grãos, favorecendo a moagem e extração de seus constituintes, como a proteína, presente em grande quantidade na soja. Foram utilizados neste estudo o modelo empírico de Peleg e o modelo fenomenológico de Parâmetros Concentrados para estimar a concentração de água em grãos de soja durante sua hidratação, os quais foram obtidos a partir de um balanço de massa da água contida no grão de soja em regime transiente, considerando-se volume constante e geometria esférica. Para validar os dois modelos, foram realizadas medidas do teor de umidade de grãos de soja ao longo do tempo, por meio de imersão das cultivares em água em cinco níveis de temperatura 25°, 35°, 45°, 55° e 65°C. Posteriormente, estes dois modelos foram comparados entre si e com os parâmetros obtidos a partir de modelos publicados na literatura. Os modelos testados foram capazes de representar as principais tendências experimentais. O modelo de Peleg representou satisfatoriamente o processo de hidratação em todas as temperaturas estudadas utilizando ajustes individuais dos seus parâmetros K_1 e K_2 . Para o modelo de parâmetros concentrados verificou-se que a concentração de equilíbrio praticamente não teve influência da temperatura, enquanto K_S variou exponencialmente com o aumento da temperatura. Em média os três cultivares transgênicos apresentaram um coeficiente de difusividade aparente (K_S) 28,85% maior em comparação com o coeficiente de difusividade aparente médio para as três cultivares convencionais.

Palavras-chave: Cultivares de soja, hidratação, cinética, coeficiente de difusividade.

ABSTRACT

This work presents a comparative kinetic study of the hydration process of soybeans. Three conventional soybean cultivars (CD 215, CD 206 and BRS 232) and three transgenic soybean cultivars (A7321, CD 231 and D. Mario) were used as raw material. Brazil is the second greater soybean world producer. During the 2010/2011 harvest, 72.23 million soybean tons were produced in this country. The hydration process is crucial for texture modifications which favor the grinding and extraction of soybeans proteins. For modeling the hydration process, the Peleg empirical model and the concentrated parameters phenomenological model were used. The concentration of water in the soybeans was predicted by using a mass balance in transient regime, where the volume was considered constant and the soybeans geometry was considered spherical. In order to validate the mathematical models, the soybeans moisture content was evaluated during the immersion in water at five different temperatures: 25°, 35°, 45°, 55° and 65°C. On a second stage, the fit of the models was compared on the basis of data previously reported in the literature. Results suggest that both models were successful in representing the experimental results. After evaluating the values of the parameters K_1 and K_2 , the Peleg model was found to be able to provide a proper representation of the hydration process at all of the studied temperatures. When evaluating the fit provided by the concentrated parameters model, the equilibrium concentration was found to be not affected by temperature, while K_S varied exponentially with an increase in temperature. The three transgenic cultivars presented apparent diffusion coefficients (K_S) that were 28.85% higher than those observed for the conventional soybeans.

Keywords: soybean cultivars, hydration, kinetics, diffusion coefficient.

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE SOJA EM GRÃOS (EM MILHÕES DE TONELADAS)	20
TABELA 2.2 – CULTIVARES DE SOJA NOS ANOS DE 2008 À 2010	23
TABELA 2.3 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SOJA	25
TABELA 2.4 – VALORES DAS CONSTANTES K_1 E K_2 DO MODELO DE PELEG ENCONTRADOS NA LITERATURA	30
TABELA 2.5 – INFLUÊNCIA DOS GRÃOS SOBRE O K_S	32
TABELA 3.1 – CULTIVARES DE SOJA UTILIZADAS	40
TABELA 4.1 – SOMATÓRIA DOS DESVIOS QUADRÁTICOS PARA A CULTIVAR A7321	48
TABELA 4.2 – VALORES DAS DENSIDADES DE EQUILÍBRIO ρ_{Aeq} ($g\ cm^{-3}$) PARA TODOS OS CULTIVARES E TEMPERATURAS ESTUDADAS	52
TABELA 5.1 – VALORES DAS CONSTANTES DE PELEG E RESPECTIVO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO PARA AS SEIS CULTIVARES DE SOJA	56
TABELA 5.2 – VALORES DAS CONSTANTES K_1 E K_2 NA TEMPERATURA DE 25°C PARA OS SEIS CULTIVARES ESTUDADOS	57
TABELA 5.3 – VALORES DOS DESVIOS QUADRÁTICOS MÉDIOS DO MODELO DE PELEG PARA TODOS OS CULTIVARES E TEMPERATURAS ESTUDADAS.....	58
TABELA 5.4 – COEFICIENTES LINEARES E ANGULARES DA DEPENDÊNCIA EXPONENCIAL DE K_1 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA ENCONTRADOS.....	60
TABELA 5.5 – VALOR MÉDIO DE K_2 PARA TODOS OS CULTIVARES E TEMPERATURAS ESTUDADAS	61
TABELA 6.1 – VALORES DOS PARÂMETROS K_S E CORRESPONDENTES COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO R^2 PARA AS TEMPERATURAS E CULTIVARES EXPERIMENTADAS.....	64
TABELA 6.2 – VALORES DOS DESVIOS QUADRÁTICOS MÉDIO DO MODELO DE PARÂMETROS CONCENTRADOS PARA TODOS OS CULTIVARES E TEMPERATURAS ESTUDADAS.....	65

TABELA 6.3 – PARÂMETROS DA EQUAÇÃO 6.4 COM RESPECTIVO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	67
TABELA 6.4 – TEMPO DE EQUILÍBRIO EM TODAS AS TEMPERATURAS E CULTIVARES EXPERIMENTADAS	69

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – GRÃOS DE SOJA ANTES E DEPOIS DA HIDRATAÇÃO.....	41
FIGURA 4.1 – UMIDADE BASE ÚMIDA DOS CULTIVARES TRANSGÊNICOS EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 45° E 65°C	45
FIGURA 4.2 – UMIDADE BASE ÚMIDA DOS CULTIVARES CONVENCIONAIS EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 35° E 65°C	46
FIGURA 4.3 – DADOS DE HIDRATAÇÃO ORIGINAIS E REPLICATA DO CULTIVAR TRANSGÊNICO A7321 PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 45° E 65°	47
FIGURA 4.4 – DADOS DE HIDRATAÇÃO ORIGINAIS E REPLICATAS DO CULTIVAR CONVENCIONAL CD 206 PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 45° E 65°	47
FIGURA 4.5 – INFLUÊNCIA DA UMIDADE (X_{bu}) NA DENSIDADE DO GRÃO PARA O CULTIVAR TRANSGÊNICO A7321.....	49
FIGURA 4.6 – VALORES EXPERIMENTAIS DE CONCENTRAÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO TEMPO DOS CULTIVARES TRANSGÊNICOS E CONVENCIONAIS NA TEMPERATURA DE 25°C	50
FIGURA 4.7 – DADOS DE CONCENTRAÇÃO NA REGIÃO DE REGIME TRANSIENTE (I).	51
FIGURA 4.8 – DADOS DE CONCENTRAÇÃO NA REGIÃO DE REGIME PERMANENTE (III)	51
FIGURA 4.9 – CONCENTRAÇÃO DE EQUILÍBRIO MÉDIO ENTRE TODOS OS CULTIVARES EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	53
FIGURA 5.1 – QUALIDADE DO AJUSTE DOS PARÂMETROS DO MODELO DE PELEG OBTIDOS NA TEMPERATURA DE 25°C DO CULTIVAR TRANSGÊNICO A7321	55
FIGURA 5.2 – DEPENDÊNCIA DECRESCENTE DE K_1 COM A TEMPERATURA..	58
FIGURA 5.3 – DEPENDÊNCIA EXPONENCIAL DE K_1 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO CULTIVAR CD 231	59
FIGURA 5.4 – COMPORTAMENTO DE K_2 COM A TEMPERATURA	60
FIGURA 5.5 – DEPENDÊNCIA DE K_2 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA A CULTIVAR CD 231.....	61

FIGURA 6.1 – AJUSTE LINEARIZADO DO MODELO EMPREGANDO-SE AOS DADOS OBTIDOS À 25°C PARA O CULTIVAR TRANSGÊNICO A7321	64
FIGURA 6.2 – INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE K_s PARA TODOS OS CULTIVARES.....	66
FIGURA 6.3 – OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO 6.5 PARA A CULTIVAR CD 231.....	67
FIGURA 6.4 – TEMPO DE EQUILÍBRIO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA A CULTIVAR TRANSGÊNICA CD 231.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área
K	Taxa de umidade para absorção de água
K_1	Constante de Peleg
K_2	Constante de Peleg
K_s	coeficiente de transferência de massa aparente
M	Teor de umidade em qualquer instante
m	massa do grão
MU	massa úmida
MS	massa seca
N_a	fluxo mássico de água
t	tempo
T	temperatura
t_{eq}	Tempo de equilíbrio
V	volume do grão
X_{eq}	umidade de equilíbrio
X_{bs}	umidade em base seca
X_{bs0}	umidade inicial em base seca
X_u	umidade em base seca do grão após a umidificação
X_{bu}	Umidade em base úmida
ρ_A	Concentração mássica de água
ρ_{A0}	Concentração de água no grão inicial
ρ_{Aeq}	Concentração mássica de água no equilíbrio
ρ_{soja}	Densidade do grão de soja
r	Coordenada radial
Φ^2	Desvio quadrático
eq	Referente ao equilíbrio e ao início da hidratação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 A soja	19
2.1.1 Cultivo da Soja Convencional e Transgênica	20
2.1.2 Aplicações da Soja	24
2.2 Hidratação de Grãos	26
2.2.1 Modelagem do Processo de Hidratação por imersão	28
2.3 Modelos Matemáticos para Estudo da Cinética da Hidratação	32
2.3.1 Modelos Empíricos	33
2.3.1.1 Modelo de Singh e Kulshrestha	33
2.3.1.2 Modelo de Peleg	34
2.3.1.3 Modelo de Pilosof, Boquet e Batholomai	35
2.3.1.4 Modelo Cinético de 1ª Ordem	36
2.3.2 Modelos Fenomenológicos	36
2.3.2.1 Modelos de Parâmetros Concentrados	37
2.3.2.2 Modelos de Parâmetros Distribuídos	38
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 Materiais	40
3.1.1 Matéria-prima/Reagentes	40
3.1.2 Equipamentos	41
3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	42
3.2.1 Determinação do Teor de Umidade em Base Úmida	43
3.2.2 Determinação da Densidade, Volume e Raio Médio do Grão	43
3.3 MODELAGEM MATEMÁTICA	43
4 ANÁLISE DE DADOS EXPERIMENTAIS DE HIDRATAÇÃO	45
4.1 Análise da Variação da Umidade em Base Úmida	45

4.2 Análise da Qualidade dos Dados de Hidratação utilizando replicatas	46
4.3 Cálculo da Densidade do Grão.....	48
4.4 Análise dos Dados Experimentais em Regime Transiente e Permanente.....	49
4.5 Estimativa da Concentração de Equilíbrio	52
5 MODELO EMPÍRICO	54
5.1 Modelo Peleg.....	54
5.2 Obtenção dos Parâmetros do Modelo de Peleg	54
5.3 Desvio Quadrático de Peleg Frente aos Dados Experimentais	57
5.4 Influência da Temperatura Sobre os Parâmetros do Modelo de Peleg	58
6 MODELO FENOMENOLÓGICO	62
6.1 Modelo de Parâmetros Concentrados	62
6.2 Obtenção dos Parâmetros do Modelo de Parâmetros Concentrados.....	63
6.3 Desvio Quadrático Médio do Modelo de Parâmetros Concentrados Frente aos Dados Experimentais.....	65
6.4 Influência da Temperatura Sobre o K_s do Modelo de Parâmetros Concentrados....	66
6.5 Influência da Temperatura Sobre o Tempo de Equilíbrio	68
7 CONCLUSÃO.....	71
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	73
REFERÊNCIAS	74
ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é atualmente a mais importante oleaginosa em produção sob cultivo extensivo. Entre os produtos agrícolas que atualmente alimentam o mundo, este grão vem ocupando uma posição de crescente destaque e extraordinária expansão. A produção nacional de soja no Brasil na safra 2010/2011 está prevendo 72,23 milhões de toneladas, este volume são 5% ou 3,54 milhões de toneladas superiores à safra 2009/2010 (CONAB, 2011).

Os maiores produtores mundiais da soja são os Estados Unidos, Brasil, Argentina, China, Índia, Paraguai e Canadá (HUBNER, 2010). A soja ganha grande destaque como principal produto do agro negócio mundial, sendo que o Brasil ocupa a posição de maior exportador desse grão e como segundo maior produtor (CONAB, 2011).

A soja produz mais proteína por hectare do que qualquer outro grão. Esta leguminosa pode ser usada como alimento básico no combate da fome mundial, devido a sua elevada fonte de calorías. Esta hipótese também é reforçada pela produção e pela difusão do consumo de produtos a base de soja, o que pode ser fundamental para o suprimento alimentar diário de grande parte da população nas diferentes latitudes (MIYASAKA e MEDINA, 1981).

A soja também é considerada um alimento funcional porque além de funções nutricionais básicas, produz efeitos benéficos à saúde, reduzindo os riscos de algumas doenças crônicas e degenerativas. É rica em proteínas com aminoácidos essenciais, ácidos graxos poliinsaturados e compostos fitoquímicos como: isoflavonas, saponinas, fitatos, vitaminas do complexo B, entre outros. Por último, ela é uma excelente fonte de componentes inorgânicos como: cobre, ferro, fósforo, potássio, magnésio, manganês (EMBRAPA, 2010).

O plantio de soja transgênica tem sido crescente desde a sua permissão pelo governo em 2003. Assim, o conhecimento das propriedades do grão natural em comparação com a transgênica passa a ter grande importância devido sua crescente produção (EMBRAPA, 2010).

O processamento da soja frequentemente requer que os grãos sejam hidratados antes de serem submetidos ao cozimento ou à extração (BARROZO *et al.*, 1991). A velocidade de absorção de água em grãos depende tanto da temperatura do processo e do tipo de grão, logo o estudo do comportamento

dinâmico do processo de hidratação é importante para vários processos industriais (COUTINHO, 2006).

A hidratação de grãos de soja é uma operação importante para a produção de alimentos derivados de soja como, por exemplo, extrato de soja e a obtenção do tofu. O processo de umidificação modifica a textura característica dos grãos e a extração de proteína. As mudanças na textura ocorrem devido à absorção de água durante a umidificação auxiliando a subsequente moagem e o processo de extração (LO *et al.*, 1968; LIU 1997; PAN e TANGRATANAVALEE, 2003).

O processo de hidratação de grãos está presente na caracterização da qualidade fisiológica do grão, na extração de algum constituinte de interesse, no cozimento, na redução ou eliminação de fatores antinutricionais existentes nos grãos e na melhora da digestibilidade (OMOTO *et al.*, 2009).

Dados de umidade em função do tempo tem sido usados para descrever o comportamento dos dados de hidratação e interpretados por dois tipos básicos de modelos: empíricos e fenomenológicos. Os modelos empíricos geralmente são obtidos por simples correlações matemáticas de dados experimentais (SINGH e KULSHRESTHA, 1987; PELEG, 1988; PAN e TANGRATANAVALEE, 2003; OMOTO, 2006; OMOTO *et al.*, 2009), enquanto que os modelos fenomenológicos consideram as etapas elementares de transferência de massa por difusão ou convecção (HSU, 1983a, b; COUTINHO *et al.*, 2004, OMOTO, 2006). Estes últimos podendo ser de parâmetros concentrados ou distribuídos e, geralmente, representam as principais tendências do processo, mesmo fora das condições experimentais em que foram validados o que os torna bastante atrativos.

Assim, um estudo comparativo da cinética do processo de hidratação de soja convencional e transgênica, foram realizados mediante a utilização de uma abordagem de engenharia, com a finalidade de identificar os efeitos da alteração transgênica vegetal sobre o processo de hidratação dos grãos.

1. 1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar a cinética do processo de hidratação de grãos de soja convencional e transgênica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar o processo de hidratação dos grãos de soja;
- Delinear um conjunto de experimentos a serem realizados a fim de se obter um conjunto de dados experimentais suficientes para o estudo cinético proposto;
- Estudar os modelos cinéticos descritos na literatura a serem empregados no estudo de cinética da hidratação;
- Ajustar os parâmetros dos modelos selecionados e avaliar o seu desempenho de previsão frente aos dados experimentais obtidos;
- Comparar os resultados obtidos com os demais apresentados na literatura;
- Identificar possíveis diferenças no comportamento durante o processo de hidratação dos grãos transgênicos e convencionais;
- Selecionar o melhor modelo e determinar seus limites de aplicabilidade técnica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão aborda: A soja, o cultivo da soja convencional e transgênica, aplicações da soja, modelagem por imersão de grãos da soja, hidratação de grãos, modelos matemáticos de hidratação de grãos, abordando-se os modelos fenomenológicos e empíricos.

2.1 A Soja

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma planta herbácea pertencente a família das Leguminosas, subfamília das Papilionáceas e à tribo das Faseoláseas. Geralmente o cultivo é anual e raramente perene (GOMES, 1986). O grão é composto por: cotilédone, cerca de 90%, hipocotilédone de 2 a 3% e casca cerca de 6% da massa total (TSUKAMOTO *et al.*, 2001).

É originária da Ásia, ela chegou na Europa no início do século XVIII, na América do Norte no início do Século XIX e no final deste mesmo século, na América do Sul (BONETI, 1981).

Os maiores produtores mundiais da soja como mostra a Tabela 2.1 são os Estados Unidos, Brasil, Argentina, China, Índia, Paraguai e Canadá (HUBNER, 2010). A soja ganha grande destaque como principal produto do agro negócio mundial, sendo que o Brasil ocupa a posição de maior exportador desse grão e como segundo maior produtor (CONAB, 2011). Os principais estados brasileiros produtores são Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul.

Desde o início do seu cultivo no Brasil, motivada pela crescente demanda de óleos comestíveis e pelo apoio governamental, passou a ter importância, ficando definitivamente estabelecida no país em meados de 1960. Entretanto seu cultivo somente alcançou uma larga escala na década de 70, quando no período de 1970 a 1977, a produção teve um crescimento anual de 32% (GONÇALVES, 2002).

A soja é uma leguminosa de grande importância, sendo que no aspecto nutricional, destaca-se pela quantidade de proteína nos grãos que segundo Nielsen (1991) apresenta cerca de 35 - 45%, valor maior do que o encontrado em outras leguminosas com 20 - 30%, e muito maior que a de cereais que é de 8-15%. Isso juntamente com boa variedade qualitativa, aumenta seu valor como alimento, e é uma das razões para a importância econômica da cultura da soja (BAYRAM *et al.*,

2004a). Além de ser um alimento de alto teor protéico, possui um alto conteúdo de lipídeos caracterizando-se como fonte energética, possuindo ainda várias vitaminas e minerais importantes para a alimentação (CAMACHO *et al.*, 1981).

Os grãos de soja possuem fatores antinutricionais que interferem negativamente no uso da soja “in natura” na alimentação humana e animal devido aos inibidores de proteases que conferem baixa digestibilidade da proteína e presença de outros fatores que conferem textura, odores desagradáveis e sabor adstringente (MENEGUCE *et al.*, 2005). Segundo Friedman e Brandon (2001), esses fatores são ativos em grãos crus, portanto, existe a necessidade de se realizar tratamento térmico para inativar esses antinutrientes e aumentar o valor nutricional dos grãos e de seus produtos.

A grande maioria dos processos tecnológicos de industrialização de soja tem como etapa inicial a hidratação seguido pelo cozimento. Com o aumento do consumo da soja na alimentação humana existe a necessidade de se estudar a genética de características físicas e químicas e suas correlações (MORAIS, 2001).

TABELA 2.1 – PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE SOJA EM GRÃO (EM MILHÕES DE TONELADAS)

Países	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11
EUA	87,00	72,86	80,75	91,42	92,76
Brasil	59,00	61,00	57,80	69,00	72,00
Argentina	48,80	46,20	32,00	54,50	50,00
China	15,97	14,00	15,54	14,70	14,40
Índia	7,69	9,47	9,10	8,75	9,20
Paraguai	5,86	6,90	4,00	7,20	6,50
Canadá	3,47	2,70	3,34	3,50	3,95

FONTE: HUBNER, 2010.

2.1.1 Cultivo da Soja Convencional e Transgênica

Segundo RIBANI (2008), a história do cultivo da soja geneticamente modificada no Brasil causou muita polêmica desde 1995, quando neste mesmo ano foi aprovado através da lei de biossegurança, o cultivo de plantas geneticamente modificadas em caráter experimental. Apenas em 1998 a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) autorizou o cultivo desta soja (Roundup Ready-RR) criada pela empresa Monsanto para venda ao público.

Os diversos sistemas de cultivo da soja apresentam para cada cultivar, características específicas de manejo e produção.

O cultivo da soja convencional em sistema de produção direta utiliza pouco revolvimento de solo na linha de plantação e não exige certificação. Para o controle de pragas e doenças, como inseticidas, fungicidas e nematocidas utiliza produtos químicos e para controle de ervas daninhas faz uso de herbicidas, isso visando à nutrição da planta. Já o cultivo da soja transgênica é semelhante ao cultivo da convencional, diferenciado pelo uso de sementes geneticamente modificadas e por alterações no manejo da produção (MEDEIROS, 2003).

Todos os seres vivos possuem um código genético que permite que um gene, parte do DNA que codifica uma proteína, possa ser retirado de um organismo e inserido no DNA de outro e venha a funcionar como se estivesse no organismo original. O gene modificado é chamado de transgene, resultando em um ser transgênico (PELAEZ *et al.*, 2004).

Segundo Pelaez *et al.* (2004), a modificação genética da soja objetivou o aumento da resistência da planta ao herbicida glifosato, comumente utilizado nesta cultura, que permite um menor número de aplicações do herbicida, resultando em baixos custos de produção. Apesar do grande avanço da soja transgênica, os resultados econômicos são ainda controversos, vistos por dois aspectos: o pagamento de royalties à empresa que detém a patente das sementes, aumentando os custos de produção, e a perda de produtividade em comparação com as sementes convencionais. Segundo o mesmo autor, em seu estudo pode concluir que o consumo de herbicidas na soja transgênica foi superior ao da soja convencional, e que a soja transgênica apresenta custos de produção de 7% a 20% menores que o da soja convencional, já na produtividade a convencional apresentou 12% a mais que a transgênica.

Menegatti e Barros (2007) relataram que a soja transgênica promove a redução da quantidade de herbicidas e, conseqüentemente, o custo de produção.

A soja transgênica modificada geneticamente com um gene que codifica a enzima EPSPS (enol-piruvil-chiquimato-3-fosfato sintase) torna-se resistente à ação do glifosato. Isso significa que a soja transgênica continua produzindo compostos essenciais ao seu desenvolvimento e crescimento, não sendo afetados pelos efeitos do herbicida (FOLONI *et al.*, 2005).

O glifosato é um produto usualmente utilizado pelos agricultores no controle de plantas daninhas e limpeza de áreas antes do plantio (EMBRAPA, 2010). É um herbicida que participa da reação de síntese de aminoácidos aromáticos

(fenilalanina, tirosina e triptofano), inibindo a atividade da 5-enol-piruvil-chiquimato-3-fosfato sintase - EPSPS (FOLONI *et al.*, 2005).

A soja transgênica foi desenvolvida pela empresa Monsanto em 1980. O cultivo da soja transgênica tem ganhado área frente à convencional, principalmente após a aprovação da Lei de Biossegurança, em março de 2005, quando autoriza a produção e comercialização de produtos geneticamente modificados (MENEGATTI e BARROS, 2007).

Existem várias cultivares de soja transgênicas e convencionais adaptadas às diferentes condições brasileiras, a Tabela 2.2 mostra os cultivares desenvolvidos pela Embrapa nos anos de 2008 a 2010, sendo que tanto em 2008 como em 2009 existiam 16 cultivares convencionais e em 2008 existiam 8 e em 2009, 9 cultivares.

TABELA 2.2 – CULTIVARES DE SOJA NOS ANOS DE 2008 à 2010.

Cultivares de Soja Convencionais e Transgênica – 2009/2010	Cultivares de Soja Convencionais e Transgênica 2008/2009
Embrapa 48	BRS 133
BRS 133	BRS 185
BRS 184	BRS 213
BRS 185	BRS 230
BRS 213	BRS 232
BRS 230	BRS 242 RR
BRS 232	BRS 243 RR
BRS 257	BRS 245 RR
BRS 258	BRS 246 RR
BRS 259	BRS 255 RR
BRS 262	BRS 256 RR
BRS 268	BRS 257
BRS 282	BRS 258
BRS 283	BRS 259
BRS 284	BRS 260
BRS 317	BRS 262
BRS 242 RR	BRS 267
BRS 243 RR	BRS 268
BRS 245 RR	BRS 282
BRS 246 RR	BRS 283
BRS 255 RR	BRS 284
BRS 256 RR	BRS 294 RR
BRS 294 RR	BRS 295 RR
BRS 295 RR	Embrapa 48
BRS 316 RR	

FONTE: EMBRAPA, 2010.

Nota: RR - Cultivar de soja transgênica

2.1.2 Aplicações da soja

A soja é um grão com grande versatilidade, tem várias finalidades e importantes aplicações na indústria. As sementes são usadas na preparação de vários alimentos frescos, fermentados e secos (GOMES, 1986).

A composição da soja é influenciada por uma série de fatores, tais como: variedade, condições de cultivo, condições climáticas como época de plantio e armazenamento (HOU e CHANG, 1998). A semente de soja, ao contrário do que ocorre com as sementes das outras leguminosas, não possui amido ou o possui em pequenas quantidades, ela é muito rica em substâncias protéicas e lipídicas e sua composição química é mostrada na Tabela 2.3.

Segundo Wilson *et al.* (1992), o consumo de soja é tradicionalmente voltado à população ocidental, e a produção de seus derivados é dividida em dois grupos: O grupo dos não fermentados, que incluem grãos de soja, leite de soja e farinhas protéicas de soja, e o grupo dos fermentados de soja, que são o miso, natto, shoyu, tofu e tempeh. Quando fermentadas servem para produção de molhos, germinadas substituem os legumes frescos, muito ricos em vitaminas, moídas, no estado seco, dão origem à farinha de soja. E moídas, depois de maceradas em água, é extraído o leite de soja que, coalhado, produz o apreciado queijo de soja ou tofu (GOMES, 1986).

A soja apresenta alto valor econômico e agrícola devido a vários fatores, entre eles, sua adaptação em solos e climas diversos, efeitos benéficos à saúde e ampla diversidade de uso, seja na alimentação humana, na alimentação animal e como matéria-prima industrial de produtos não alimentícios (LIU, 1999).

TABELA 2.3 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SOJA.

Água	9,50%
Caseína solúvel	30 %
Caseína insolúvel	7,50%
Albumina	7,50%
Óleo	18,50%
Lecitina	1,50%
Colesterina, resina e cera	0,50%
Dextrina	10%
Amido	4%
Celulose	6%
Cinzas	5%

FONTE: GOMES, 1986.

A proteína de soja é usada como nutriente e como produto funcional em produtos de panificação, derivados de carne, misturas com cereais, formulações preparadas, bebidas, alimentação para bebês e alimentos dietéticos. A soja também é muito usada para alimentação animal, pela indústria de adesivos, adubos, formulador de espumas, fabricação de fibra, revestimento, papel e emulsão de água para tintas. Um dos produtos mais conhecidos que derivam dessa leguminosa é o óleo refinado, obtido a partir do óleo bruto. Nesse processo também é produzida a lecitina, um agente emulsificante, muito usada na fabricação de salsichas, maioneses, achocolatados, entre outros produtos. (EMBRAPA, 2010).

A soja traz muitos benefícios para a saúde humana, o que contribui para o aumento do consumo dessa leguminosa. Segundo Rosenthal *et al.* (2003), o leite de soja tem sido utilizado nos países do ocidente principalmente como substituto ao leite de vaca para pessoas intolerantes à lactose e alérgicas, pois é uma fonte de baixo custo, possui alta qualidade protéica e energética. Outros benefícios têm contribuído para o aumento do consumo do leite de soja, vários estudos tem demonstrado vantagens na utilização de produtos de soja na prevenção de várias doenças, tais como: doença cardíaca, colesterol, câncer, obesidade, diabetes, osteoporose, doenças renais e regulação da pressão arterial. Segundo Garcia *et al.* (1998), o consumo da soja aumentou nos últimos tempos por ter se comprovado em estudos os benefícios que traz à saúde humana, como fonte dietética preventiva de doenças crônico-degenerativas.

As proteínas e isoflavonas presentes no grão de soja são os principais componentes utilizados como compostos funcionais na alimentação humana. Vale ressaltar que a soja é o único vegetal que contém uma proteína completa em sua composição química (MORAIS, 2000).

2.2 Hidratação de grãos

Muitos pesquisadores estudaram a transferência de massa de água em alimentos, na forma líquida ou gasosa, na hidratação, e na secagem devido à importância deste fenômeno de sorção na manipulação, processamento e embalamento de alimentos (ABU-GANNAM e MCKENNA, 1997; GARCIA-PASCUAL *et al.*, 2005; JOVANOVIĆ *et al.*, 2003; PAN e TANGRAVALEE, 2003, SOPADE *et al.*, 2007).

A hidratação tem sido entendida como um processo físico diretamente relacionado com as características de permeabilidade do envoltório (casca) e as propriedades dos colóides constituintes dos grãos (WOODSTOCK 1988; BEWLEY e BLANCK, 1994). A cinética de hidratação tem sido amplamente caracterizada por produtos como grãos de cereais e leguminosas (ABU-GHANNAM & MCKENNA, 1997; LUCAS *et al.*, 2007).

Segundo Beckert e Silva (2002), a hidratação tem início na embebição e sua velocidade de absorção de água depende da composição química da semente, da permeabilidade do tegumento e da presença de água nas formas líquida ou gasosa no meio em que o processo está ocorrendo. Segundo o mesmo autor, tem-se buscado associar a qualidade fisiológica do grão com a velocidade de absorção de água pelas leguminosas, porém os resultados alcançados até o momento não são conclusivos.

Em seu estudo Cavariani *et al.* (2009) argumentam que a velocidade de hidratação de sementes de soja pode ser afetada pela permeabilidade do tegumento, devido a variações de espessura e composição. Os autores concluíram que a velocidade de hidratação de sementes de soja é afetada pela cultivar e local de produção.

Uma das principais razões da hidratação é gelatinizar o amido do grão, isto pode ser conseguido através do condicionamento, em baixas temperaturas de gelatinização (etapa de condicionamento), isto faz com que aumente o teor de água para a gelatinização, e em seguida, cozinhar em água ou vapor acima da temperatura de gelatinização (etapa de cozimento), ou através do cozimento direto do grão acima da temperatura de gelatinização (TURHAN *et al.* 2002a; TURHAN *et al.*, 2004b). Segundo Sayar *et al.* (2001), a temperatura de gelatinização de grãos é acima de 55°C, já para Rosenthal e Silva (1997), a temperatura de gelatinização fica em torno de 60°C.

ABU-GHANNAM *et al.* (1998), em seu estudo da cinética de hidratação do feijão, observaram que as curvas de deformação mostraram que apesar da força de cisalhamento nos grãos reduzir em função do aumento de umidade, a dureza do grão atinge um certo equilíbrio após a umidade atingir um certo nível, mesmo que o grão continue a absorver água do meio.

O processo de hidratação de grãos de soja é muito importante e frequentemente utilizado em diversos processos tais como o cozimento e a extração de algum constituinte de interesse e também na produção de alimentos tradicionais derivados de soja, como o extrato de soja e o tofu. O processo de umidificação modifica a textura característica dos grãos e a extração de proteína. As mudanças na textura são devido à absorção de água durante a umidificação afetando a subsequente moagem e o processo de extração (LO *et al.*, 1968; LIU, 1997). Uma operação de hidratação na fase inicial do processamento da soja diminui o tempo de cozimento e melhora a aparência e o grau de desnaturação da proteína (BAYRAM *et al.*, 2004a). A hidratação em temperaturas acima da temperatura ambiente é recomendada para melhorar a digestibilidade da proteína (BAYRAM *et al.*, 2004b). Compreender a absorção de água em leguminosas durante o processo de hidratação é de extrema importância, é deste processo que depende a qualidade final do produto (TURHAN *et al.*, 2002; JIDEANI e MPOTOKWANA, 2009).

No caso de sementes como a soja os principais componentes químicos responsáveis pela embebição e aumento de tamanho, são as proteínas, e, em menor intensidade, a celulose e substâncias pécicas, o amido e os lipídios apresentam intervenção reduzida no processo (BECKER *et al.*, 2000).

A umidificação também está presente como etapa importante em estudos de secagem de cereais em escala de bancada (CALADO, 1993 *apud* COUTINHO, 2006; BARROZO *et al.*, 1991 *apud* COUTINHO, 2006) assim como em estudo da capacidade germinativa dos grãos em função do teor de umidade inicial (BECKERT *et al.*, 2000).

O processo de imersão é importante durante o processamento de outros alimentos como na parboilização do arroz (AHROMRIT *et al.*, 2006; COUTINHO *et al.*, 2010), na preparação da farinha de sorgo, e na produção de grãos enlatados, como ervilhas e milho (COUTINHO *et al.*, 2010). Além disso, a hidratação de grãos reduz o tempo de cozimento, minimiza as perdas, e melhora a qualidade dos produtos obtidos.

2.2.1 Modelagem do processo de hidratação por imersão.

Hsu (1983a) propôs um modelo fenomenológico de parâmetros distribuídos, obtido a partir de um balanço de massa diferencial em um grão de soja, admitindo forma esférica de diâmetro constante, e representado por uma equação diferencial parcial resolvida numericamente, este mesmo autor (HSU 1983b), também estudou a influência da temperatura na difusão de água em grãos de soja, o modelo fenomenológico de parâmetros distribuídos, revelou uma boa concordância com os dados experimentais da hidratação.

Abu-Ghannam (1998) estudou a cinética de hidratação do feijão vermelho nas temperaturas de 20°, 30°, 40° e 60°C. O tempo de maceração e a temperatura foram os principais parâmetros que afetaram o grau de absorção de água e as alterações da textura dos grãos durante a hidratação.

Thanos (1998), em seu estudo de hidratação de feijões e ervilhas, observou que o tempo embebição pode ser reduzido através do aumento da temperatura de hidratação; quanto maior for a temperatura, maior será a taxa de absorção de água. Verificou também que em altas temperaturas, acima de 60°C, o teor de água final é menor do que no intervalo de 40 a 60°C, porém o tempo para atingir o equilíbrio é menor.

Segundo Pan e Tangratavalee (2003), a embebição da soja pode ser benéfica na redução dos grãos durante o processo de moagem. A redução do tamanho dos grãos está relacionada com o teor de umidade final e não com as condições de imersão.

Coutinho *et al.* (2005), em seu estudo sobre modelagem e validação do modelo de hidratação de grãos de soja, estudaram e desenvolveram um modelo fenomenológico de parâmetros concentrados que levou em conta o aumento do diâmetro ao longo do processo de hidratação, foi obtida experimentalmente esta variação do diâmetro e é independente da temperatura de hidratação. Os mesmos autores (Coutinho *et al.*, 2007) apresentaram um novo modelo fenomenológico de parâmetros concentrados para hidratação de grãos de soja, obtido a partir de um balanço de massa em regime transiente, com apenas dois parâmetros a serem ajustados a partir do ajuste do modelo aos pontos experimentais. O novo modelo proposto é adequado aos resultados, enquanto que o coeficiente de transferência de massa aparente depende da temperatura e apresenta variações significativas ao longo da hidratação.

RESIO *et al.* (2006) realizaram um estudo sobre a cinética de hidratação de grãos de amaranto abrangendo uma faixa de temperatura de 30° a 60°C, o modelo utilizado neste trabalho foi o modelo de Peleg onde os valores de K_1 variou de 50,8 e 21,3 e os valores de K_2 variou de 1,87 e 1,17. Os valores de R^2 variaram de 0,976 a 0,999, de acordo com a temperatura utilizada.

Resende e Corrêa (2007) realizaram um trabalho que buscou estimar e avaliar as curvas de hidratação de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), ajustar o modelo de Peleg aos valores experimentais e determinar o coeficiente de difusão na hidratação em diversas temperaturas. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 2.4. Os autores concluíram que a taxa de absorção de água do feijão aumenta com a elevação da temperatura de embebição, sendo o modelo de Peleg capaz de representar a cinética do fenômeno. A relação entre o coeficiente de difusão e a temperatura pôde ser descrita pela expressão de Arrhenius, que apresenta energia de ativação de 6,748 kJ mol⁻¹.

TABELA 2.4 – VALORES DAS CONSTANTES K_1 e K_2 DO MODELO DE PELEG ENCONTRADOS NA LITERATURA.

Referência	Grão	T°C	K_1	K_2	R^2
Sopade <i>et al.</i> (1992)	Milho	10	9.08×10^{-2}	2.97×10^{-2}	0.9843
		30	5.05×10^{-2}	1.97×10^{-2}	0.9822
		50	3.89×10^{-2}	1.69×10^{-2}	0.9861
Sopade <i>et al.</i> (1992)	Sorgo	10	7.78×10^{-3}	1.15×10^{-2}	0.9989
		30	6.94×10^{-3}	1.02×10^{-2}	0.9969
		50	3.68×10^{-3}	1.05×10^{-2}	0.9905
Pan e Tangratanavalee (2003)	Soja	10	6.6×10^{-3}	7.9×10^{-3}	0.9720
		20	4.9×10^{-3}	6.9×10^{-3}	0.9855
		30	3.8×10^{-3}	6.3×10^{-3}	0.9920
		40	2.0×10^{-3}	6.2×10^{-3}	0.9978
Resio <i>et al.</i> (2006)	Amaranto	30	50.8 +/- 2.0	1.87 +/- .03	0.976
		40	35.8 +/- 1.5	1.40 +/- .05	0.998
		50	26.3 +/- 1.3	1.33 +/- .06	0.999
		60	21.3 +/- 0.9	1.17 +/- .05	0.997
Resende e Côrrea (2007)	Feijão	20	0,5304	0,7867	99,97
		30	0,4121	0,7793	99,85
		40	0,3349	0,7600	99,83
		50	0,3722	0,7359	99,90
Prasad <i>et al.</i> (2010)	Grão de bico	40	0,3988	0,7557	0,995
		50	0,2316	0,8354	0,994
		60	0,1913	0,8661	0,991
Ferraz <i>et al.</i> (2008)	Ervilha	05	3,972	1,005	0,983
		25	1,656	0,887	0,995
		45	70,813	0,821	0,970
		65	41,314	1,199	0,966
		85	40,328	0,903	0,981
Fracasso <i>et al.</i> (2010)	Soja	25	56,35	0,80	0,877
		35	65,56	0,675	0,784
		45	35,64	0,58	0,912
		65	22,73	0,566	0,956

Fracasso *et al.* (2010), estudaram a cinética de hidratação de soja transgênica (BRS 225 RR), em quatro níveis de temperatura (25°, 35°, 45°, 65°C), neste estudo foram empregados dois modelos, o empírico desenvolvido por Peleg (1988) e o modelo fenomenológico de parâmetros concentrados desenvolvido por Omoto *et al.* (2009). A Tabela 2.4 mostra as constantes encontradas do modelo de Peleg K_1 e K_2 , e seus respectivos coeficientes de correlação R^2 . Concluiu-se que os dois modelos representaram o processo de hidratação, sendo que o modelo de parâmetros concentrados representou melhor os dados experimentais obtidos na hidratação com desvio quadrático médio de 0,002709, enquanto o modelo de Peleg apresentou um desvio de 0,005199.

O principal componente de absorção de água são as proteínas, embora outros componentes, como mucilagens, celulose, amido e substâncias pécicas contribuem para este fenômeno. Acredita-se que a composição química influencia na

capacidade de absorção, mas a relação é possivelmente complexa ou, pelo menos, não linear (SOPADE *et al.* 1992).

Ferraz (2008) estudou a cinética de hidratação de ervilhas desidratadas, onde utilizou para os experimentos de hidratação 100 g de ervilhas em água destilada, nas temperaturas de 05°C á 85°C, para estabelecer a cinética de hidratação e determinar a temperatura ideal de hidratação. Pode concluir que a temperatura mais adequada foi de 25°C, onde o modelo de Peleg apresentou um melhor ajuste com R^2 de 0,99.

Omoto *et. al.* (2009) desenvolveram um modelo matemático transiente de parâmetros concentrados para estimar a concentração de água em grãos de ervilha durante sua hidratação, o qual foi obtido a partir de um balanço de massa, considerando-se volume constante e geometria esférica. Para todas as temperaturas estudadas, o modelo representou as principais tendências do processo de hidratação com desvios inferiores a 5%. O parâmetro K (coeficiente efetivo de transferência de massa K_s (cm.min⁻¹)) apresentou um comportamento segundo a equação de Arrhenius frente à temperatura, $K_s = 182,8 \exp(-3521/T)$, enquanto ρ_w permaneceu praticamente constante, obtendo-se um valor médio de 0,53 g.mL⁻¹.

Os mesmos autores utilizaram a correlação de K e assumiram o valor de ρ_w médio, obtendo um modelo generalizado, o qual apresentou para todos os dados um desvio ligeiramente superior a 7%. Adicionalmente, constataram que a densidade dos grãos de ervilha permaneceu praticamente constante ao longo da hidratação independentemente da temperatura. A Tabela 2.5 mostra os valores de K_s encontrados por Coutinho (2006) para hidratação de grãos de soja e valores de K_s encontrados por Omoto *et al.* (2009) para hidratação de grãos de ervilhas. Pode-se observar que os valores encontrados por Coutinho (2006) são superiores aos encontrados por Omoto *et al.* (2009) e os valores de K_s nos dois tipos de grãos aumentam com a elevação da temperatura.

TABELA 2.5 – INFLUÊNCIA DOS GRÃOS SOBRE O K_s .

	ERVILHA	SOJA
T (°C)	$K_s \times 10^3$ (cm/min)	$K_s \times 10^3$ (cm/min)
20	1,11	9,60
30	1,79	11,70
50	3,14	13,90

FONTE: COUTINHO (2006) e OMOTO *et al.* (2009)

Coutinho *et al.* (2010), desenvolveram uma análise comparativa do estudo feito por Hsu (1983a) sobre hidratação de grãos de soja. Os resultados mostraram que o tempo requerido para os grãos de soja atingir o equilíbrio é influenciado pela temperatura, mas a umidade de equilíbrio independe da temperatura e foi superior à encontrada por Hsu(1983a), percebeu-se ainda que o cultivar de soja exerce influência sobre a umidade de equilíbrio.

A absorção de água pelos grãos de soja durante a embebição depende principalmente de duas variáveis: tempo e temperatura. Conforme o tempo de hidratação aumenta, a quantidade de água absorvida aumenta (ABU-GHANNAM e MCKENNA, 1997; SOPADE E OBEKPA, 1990; WANG *et al.*, 1979; MASKAN, 2002; JIDEANI e MPOTOKWANA, 2009; COUTINHO *et al.*, 2010). Diversos pesquisadores observaram também que a taxa de absorção de água em leguminosas aumenta com o aumento da temperatura da água (QUAST e DA SILVA, 1977; KON, 1979; SOPADE e OBEKPA, 1990; ABU-GHANNAM e MCKENNA, 1997; TANG *et al.* 1994; HUNG *et al.*, 1993, HSU *et al.*, 1983a e SEYHAN-GÜRTAS *et al.*, 2001; BELLO *et al.*, 2004; AHROMRIT *et al.*, 2006; KASHANINEJAD *et al.*, 2007; JIDEANI e MPOTOKWANA, 2009).

Embora haja contradições nas afirmações apresentadas na literatura, como é o caso do estudo de hidratação apresentado por Thanos (1998) que observou uma redução na taxa de absorção de água com o aumento da temperatura acima de 60°C, todos os estudos apresentados na literatura concordam que o tempo requerido para atingir o equilíbrio é reduzido com o aumento da temperatura.

2.3 Modelos Matemáticos para Estudo da Cinética da Hidratação

Na literatura, existem diversos modelos matemáticos que expressam o fenômeno de hidratação de produtos agrícolas. Estes modelos podem ser basicamente empíricos ou fenomenológicos.

2.3.1 Modelos empíricos

Os modelos empíricos geralmente são obtidos a partir de simples correlações matemáticas dos dados experimentais, não se baseando em processos físicos fundamentais. Estes modelos são freqüentemente preferidos frente aos modelos fundamentais devido à facilidade nos cálculos e na interpretação. Entre os modelos empíricos, o modelo assintótico de primeira ordem e o modelo de Peleg são os mais populares para a descrição empírica da incorporação da água em legumes (GOWEN *et al.*, 2007).

Os modelos de Pilosof-Bouquet-Batholomai, Singh e Kulshrestha e de Peleg são modelos empíricos não exponenciais muito utilizados e alguns de seus parâmetros como, por exemplo, umidade de equilíbrio, M_e , a taxa constante, são de primordial importância na cinética de hidratação (PELEG, 1988; PILOSOFF, BOQUET & BATHOLOMAI, 1985; SINGH & KULSHRESTHA, 1987; SOPADE *et al.*, 2007). Estes três modelos podem ser utilizados de modo independente (SOPADE *et al.*, 2007).

Peleg (1988); Singh e Kulshrestha (1987); Sopade e Obkpa (1990); e Pan e Tangratanavalee (2003) são exemplos de pesquisadores que utilizaram modelos empíricos.

2.3.1.1 Modelo de Singh e Kulshrestha

Singh e Kulshrestha (1987), propuseram um modelo empírico, dado pela Equação 2.1 que melhor mostrava o comportamento de hidratação de grãos de soja e feijão guandu (*Cajanus cajan*), obtendo um ótimo ajuste aos dados experimentais utilizados ($R^2 = 0,99$).

$$\frac{X_{eq} - X(t)}{X_{eq} - X_0} = \frac{1}{Kt + 1} \quad (2.1)$$

Onde:

X – Umidade em base seca

X_0 – Umidade inicial em base seca

X_{eq} – Umidade de equilíbrio

K – Taxa de umidade para absorção de água

t - Tempo

Índices eq e 0 – Referentes ao equilíbrio e ao início da hidratação, respectivamente.

2.3.1.2 Modelo de Peleg

Peleg (1988) propôs um modelo empírico e não exponencial, apresentado na Equação 2.2, na tentativa de simplificar a descrição da absorção da água nos grãos e cereais. Este modelo foi introduzido pela primeira vez para descrever a sorção de umidade pelo arroz e leite em pó, obtendo coeficientes de correlação da ordem de 0,95 a 0,99. Esse modelo tem sido utilizado, satisfatoriamente, por diversos pesquisadores para representação desse fenômeno (HUNG, LIU, BLACK e TREWHELLA, 1993; ABU-GHANNAM e MCKENNA, 1997b; TURHAN, SAYAR e GUNASEKARAN, 2002 *apud* GOWEN *et al* 2007). Segundo Ferraz (2008), o modelo de Peleg avalia os dados através da relação entre o inverso da razão da umidade em relação ao tempo, em horas.

$$X(t) = X_0 + \frac{t}{(K_1 + K_2 t)} \quad (2.2)$$

Onde:

$X(t)$ – Umidade em base seca

X_0 – Umidade inicial

t – Tempo de hidratação

K_1 e K_2 – Constantes do modelo

Este é um modelo a três parâmetros, onde k_2 é inversamente relacionado à umidade de equilíbrio e k_1 é inversamente relacionado à taxa inicial de absorção de água (GOWEN *et al.*, 2007). A equação é uma soma quando o processo envolve absorção, e uma subtração quando o processo envolve dessorção (FERRAZ, 2008).

Segundo Turhan *et al.* (2002), o modelo de Peleg pode prever a cinética dos grãos em imersão até o equilíbrio com base nos dados de hidratação e nas condições dadas. PAN e TANGRATANAVALEE (2003) utilizaram o modelo de Peleg em seu estudo de absorção de água em grãos de soja com sucesso. Sopade e Obekpa (1990) relataram que o modelo de Peleg pode descrever o comportamento de absorção de água em algumas leguminosas como o feijão, soja, amendoim e feijão-caupi nas temperaturas de 2° a 42°C. Segundo os autores, inverso da

constante k_2 define o conteúdo de umidade de equilíbrio, uma propriedade que não é sensível à temperatura. Esses aspectos também foram estudados por Resende e Corrêa (2007). Esta informação pode ser importante na caracterização da absorção de umidade de produtos alimentícios.

Devido à sua simplicidade, o modelo de Peleg (1988) tem sido o modelo empírico mais utilizado nos últimos anos para modelar o comportamento de diferentes grãos e alimentos, durante a hidratação (SOPADE e OBEKPA, 1990; SOPADE *et al.*, 1992, HUNG *et al.*, 1993; ABU-GHANNAM e MCKENNA, 1997b; PAN e TANGRATANAVALEE, 2003; MASKAN, 2002; TURHAN, 2002; BILBAO-SÁINZ *et al.*, 2005; JIDEANI e MPOTOKWANA, 2009; SCHMIDT *et al.*, 2009).

Nestes estudos a variedade do meio foi investigada principalmente em temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização do amido, ao invés de temperaturas acima da necessária para gelatinização de grãos amilosos. A vantagem desse modelo é que ele pode ser aplicado com sucesso em hidratações de longo prazo, mesmo com dados experimentais de duração curta uma vez que é possível estabelecer taxas de ganho de umidade, variando de acordo com o tempo, devido as constantes que modulam a equação. Este modelo, no entanto, não leva em consideração teorias sobre difusão, nem características específicas dos substratos em questão (FERRAZ, 2008).

2.3.1.3 Modelo de Pilosof, Boquet e Batholomai

O modelo desenvolvido por PILOSOF, BOQUET e BATHOLOMAI (1985) é representado pela Equação 3:

$$X(t) = X_0 + \frac{c_3 t}{c_4 + t} \quad (2.3)$$

Onde:

$X(t)$ – Umidade em base seca

X_0 – Umidade inicial

c_3 e c_4 – Constantes do modelo

Apesar de na forma original estes três modelos serem diferentes, recentemente SOPADE *et al.* (2007) mostraram que estes três modelos empíricos são matematicamente equivalentes.

2.3.1.4 Modelo cinético de 1ª ordem

O modelo assintótico de primeira ordem (Chhinnan 1984; Del Valle *et al.*, 1992; Abu-Ghannam e McKenna 1997; Machado *et al.*, 1998; Pappas *et al.*, 1999; Maskan 2001; Haladjian *et al.*, 2003; Krokida & Marinos-Kouris 2003; Gowen *et al.*, 2007, é representado pela Equação 2.4:

$$X = X_{eq} + (X_0 - X_{eq})e^{-c_6 t} \quad (2.4)$$

Este é um modelo de três parâmetros (X_{eq} , X_0 e c_6), onde c_6 é a constante da cinética de hidratação e representa a velocidade de incorporação de água pelo grão.

2.3.2 Modelos Fenomenológicos

Os modelos fenomenológicos consideram as etapas elementares de transferência de massa por difusão em meio poroso e/ou convecção (BECKER e SALLANS, 1955; FAN *et al.*, 1963; HSU, 1983a). Os modelos podem ser de parâmetros concentrados ou distribuídos e, geralmente, representam as principais tendências do processo, mesmo fora das condições experimentais em que foram validados.

Dentro dos estudos notáveis feitos sobre hidratação de grãos utilizando modelos fenomenológicos, citam-se os de parâmetros concentrados de COUTINHO *et al.* (2005, 2007), e os de parâmetros distribuídos de HSU (1983a,b).

2.3.2.1 Modelos de Parâmetros Concentrados

Os modelos de parâmetros concentrados não contemplam variações espaciais das propriedades físicas no sistema, enquanto que os de parâmetros distribuídos normalmente as representam, podendo ambos serem utilizados para simular o comportamento do grão durante a hidratação (COUTINHO *et al.*, 2007). Estes modelos geralmente representam as principais tendências do processo, mesmo fora das condições experimentais em que foram validados. Entretanto a validação dos modelos de parâmetros distribuídos tem certa dificuldade em medir os perfis de umidade no interior dos grãos e isso limita a sua aplicação.

Partindo-se de um balanço de massa em regime transiente para a água contida no grão e, considerando-se a concentração de água uniforme dentro do grão, obtém-se a Equação 2.5 (OMOTO *et al.*, 2009). Esta equação representa a variação da massa de água no grão ($\rho_A V$) com o tempo (t).

$$\frac{d(\rho_A V)}{dt} = -N_A \cdot A \quad (2.5)$$

Sendo (A) a área externa do grão; (V) o volume do grão e (N_A) o fluxo mássico de água ($\text{g.cm}^{-2}\text{min}^{-1}$).

Considerando-se o volume constante, a geometria esférica do grão com raio r_0 , definindo-se o fluxo mássico como sendo $N_A = K_s(\rho_{\text{ef}} - \rho_A)$ e fazendo-se essas substituições na Equação 2.5, chega-se à forma final do modelo descrita pela Equação 2.6.

$$\frac{d(\rho_A)}{dt} = -\frac{3K_s}{r_0}(\rho_{\text{Aeq}} - \rho_A) \quad (2.6)$$

Considerando-se que tanto ρ_{eq} como K_s são constantes para uma dada temperatura de hidratação, pode-se integrar a Equação 2.6, obtendo-se a Equação 2.7.

$$\ln\left(\frac{\rho_{Aeq} - \rho_A}{\rho_{Aeq} - \rho_{Ao}}\right) = -\frac{3K_s}{r_0} t \quad (2.7)$$

Definindo-se o tempo para os grãos alcançarem a condição de equilíbrio (t_{eq}) como sendo aquele para o qual a umidade em que os grãos atingem 99% da umidade de equilíbrio ($\rho_A = 0,99 \rho_{Aeq}$), pode-se reescrever a Equação 2.7 na forma da Equação 2.8.

$$t_{eq} = \frac{r_0}{3K_s} \ln\left(\frac{100(\rho_{Aeq} - \rho_{Ao})}{\rho_{Aeq}}\right) \quad (2.8)$$

Este modelo possui dois parâmetros: o coeficiente de transferência de massa K_s ($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$) e a concentração de água no interior do grão no equilíbrio, ρ_{eq} ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) e pode ser resolvido admitindo-se como condição inicial que, em $t=0$, a concentração de água no grão é uniforme e conhecida, $\rho_A = \rho_{Ao}$.

2.3.2.2 Modelos de Parâmetros Distribuídos

A difusão de água em uma partícula esférica pode ser representada pela seguinte Equação 2.9 (Crank, 1976 *apud* GOWEN *et al*, 2007).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right) \quad (2.9)$$

Onde:

M - teor de umidade em qualquer instante

R – coordenada radial

t – tempo

Este modelo considera um grão de soja através do qual moléculas de água se difundem. Uma solução analítica da Equação 9 pode ser obtida considerando-se as seguintes hipóteses:

- 1 – Grão de soja tem formato esférico;
- 2 – Variação de volume desprezível durante a hidratação;
- 3 – Coeficiente de difusão (D) é independente da concentração;
- 4 – Resistência de transporte de água no filme (convectivo) desprezível comparada à resistência ao transporte de água por difusão no interior do grão.

A umidade no grão em qualquer instante de tempo (Equação 2.11) é então calculado usando a Equação 2.9 com as seguintes condições iniciais e de contorno:

$$M|_{t=0} = M_0, \quad \left. \frac{\partial M}{\partial t} \right|_{r=0} = 0, \quad M_{r=a} = M_s \quad (2.10)$$

$$M_t = M_s + (M_0 - M_s) \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp\left(\frac{-\pi^2 n^2 D_{ef} t}{a^2}\right)}{n^2} \quad (2.11)$$

Onde:

M_s – Umidade de equilíbrio

D_{ef} – Difusividade efetiva

r – Raio do grão

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para proporcionar uma melhor compreensão, dividiu-se este tópico em subitens, tanto para os aspectos instrumentais como metodológicos.

3.1 Materiais

3.1.1 Matéria – Prima/ Reagentes

- Soja (Glycine Max): Foram utilizados para este trabalho cerca de 6 kilos de grãos de soja convencional e transgênico, sendo selecionados 3 cultivares de cada, doadas pela empresa Coopagrícola de Ponta Grossa-PR e pela CLASPAR/PR, a Tabela 3.1 mostra os cultivares de soja que foram utilizados. Os grãos foram produzidos no Estado do Paraná e oriundos da colheita de 2009. As amostras foram armazenadas em temperatura ambiente, em local escuro, acondicionados em pacotes hermeticamente selados. Na Figura 3.1 é ilustrada os grãos de soja antes e depois da hidratação.

- Conservante: na água de hidratação dos cultivares de soja foi adicionado o benzoato de sódio para evitar a fermentação durante o processo de hidratação;

- Água Destilada.

TABELA 3.1 – CULTIVARES DE SOJA UTILIZADAS.

TRANSGÊNICOS	CONVENCIONAIS
Don Mario 5.8i	CD 215
A7321	CD 206
CD 231 RR	BRS 232



FIGURA 3.1 - GRÃOS DE SOJA ANTES E DEPOIS DA HIDRATAÇÃO.

3.1.2 Equipamentos

Os ensaios de hidratação dos grãos de soja foram realizados no Laboratório de Analítica do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná-UFPR, onde foram utilizados os equipamentos a seguir:

- Banho termostático da marca Dubnoff com controle de temperatura, modelo Q226M2 da marca Quimis;
- Estufa modelo SOC FABBE TH856, regulada para temperatura de 105° a 110°C;
- Balança analítica da marca Shimadzu, modelo Ay220, com capacidade limite de 400 gramas e precisão na casa de medida de 1 mg.

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os grãos de soja foram manualmente selecionados para remoção de materiais estranhos e de grãos quebrados.

Os ensaios foram realizados em banho termostático com temperatura controlada. As amostras de 200 g cada foram colocadas em béckers de 400 mL submersas em uma solução de benzoato de sódio 1 g/L, em água destilada.

Os experimentos foram realizados em duplicatas para cada temperatura de hidratação conforme detalhado a seguir:

- As temperaturas pré-definidas para os ensaios foram: 25°, 35°, 45°, 55° e 65°C, esta foi a faixa de temperatura selecionada pelo fato de que em temperaturas superiores a 65°C pode ocorrer a gelatinização do amido;
- Foram colocados os béckers no banho, contendo solução de benzoato de sódio na mesma temperatura do banho;
 - A massa de grão utilizada em cada ensaio foi de aproximadamente 200g;
 - Amostras de aproximadamente 15g eram retiradas nos tempos pré-determinados. Nos ensaios as amostras de grãos foram retiradas nos seguintes instantes de tempo (minutos): 0, 5, 10, 20, 30, 50, 70, 100, 120, 180, 270, 360, 450, 1380, 1500, 1620, 1740, 1800, 1860. O tempo de 1860 minutos é suficiente para que o processo de hidratação atinja o equilíbrio em todas as temperaturas;
 - Cada amostra de grãos foram secas sobre papel toalha para retirar a água superficial;
 - Uma parte da amostra foi utilizada para avaliar a densidade do grão de soja, enquanto a outra parte foi destinada à determinação da umidade em base úmida (X_{bu}).

Os dados experimentais para os diferentes cultivares foram coletados e registrados com o auxílio da planilha eletrônica Microsoft Excel.

3.2.1 – Determinação do teor de umidade em base úmida

A umidade média da massa em base úmida foi avaliada de acordo com a Equação 3.1, medindo-se a massa da amostra dos grãos de soja antes (Massa Úmida – X_{bu}) e depois da secagem (Massa Seca – X_{bs}) pelo método clássico de secagem em estufa a 105°C durante 24 horas ou até massa constante (ADOLFO LUTZ, 1985).

$$\%X_{bu} = \frac{X_{bu} - X_{bs}}{X_{bu}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

A concentração mássica de água na soja (ρ_A) foi estimada a partir da Equação 3.2, conhecendo-se X_{bu} e a densidade do grão de soja.

$$\rho_A = X_{bu} \cdot \rho_{soj} \quad (3.2)$$

3.2.2 Determinação da densidade, volume e raio médio do grão

Para determinação da densidade do grão foram retiradas, em cada instante de amostragem, amostras com aproximadamente 30 unidades de grãos de soja. Foram pesados 20 grãos e depois avaliado o seu volume, utilizando uma proveta graduada de 25 mL contendo 15 mL de água destilada, na qual foi medido o volume deslocado após a introdução dos grãos. A densidade foi calculada dividindo-se a massa pelo volume de água deslocado pelos grãos. O volume médio do grão foi avaliado dividindo-se o volume de água deslocado pelo número de grãos utilizados. Finalmente o raio médio foi avaliado aproximando-se o volume de um grão ao volume de uma esfera.

3.3 MODELAGEM MATEMÁTICA

Foi empregado um Modelo Empírico e um Modelo Fenomenológico, com finalidade de se verificar a aplicabilidade destes modelos ao processo de hidratação dos diferentes cultivares de grãos e buscou-se principalmente, em virtude dos

resultados já encontrados e publicados na AUGM/2009, nos EVINCI 2009 E 2010, no COBEQ 2010 e no COBEQ IC 2011.

Foram empregados os modelos matemáticos de Peleg (1988), e o modelo fenomenológico de parâmetros concentrados desenvolvido por Omoto *et al* (2009), cuja fundamentação teórica já foi apresentada na introdução desta dissertação.

4 ANÁLISE DE DADOS EXPERIMENTAIS DE HIDRATAÇÃO

Todos os dados experimentais obtidos são apresentados no Anexo A e B.

4.1 Análise da variação da umidade em base úmida

Ao longo da hidratação foi possível avaliar a variação de umidade em função do tempo dos grãos de soja transgênicos e convencionais. Nas Figuras 4.1 e 4.2 é mostrada a evolução com o tempo da umidade em base úmida, X_{bu} , para três das temperaturas estudadas. O grão possui uma umidade inicial de 10%, que após o processo de hidratação, atinge o equilíbrio com uma umidade aproximada de 0,65 g/mL. A curva de hidratação apresenta um comportamento assintótico horizontal na condição de equilíbrio, indicando a umidade máxima atingida.

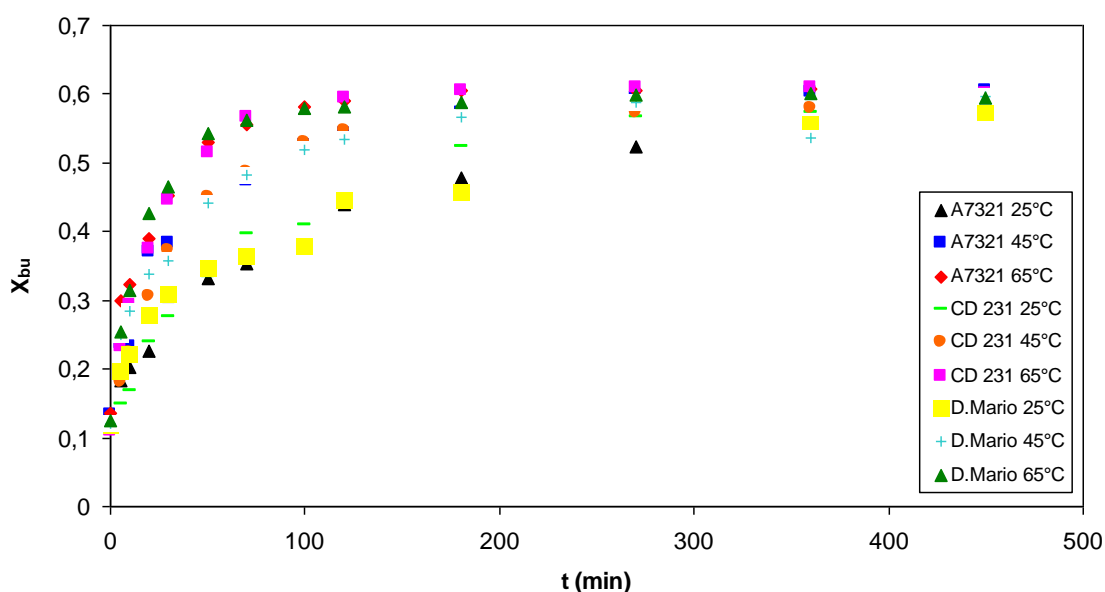


FIGURA 4.1 – UMIDADE BASE ÚMIDA DOS CULTIVARES TRANSGÊNICOS EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 45° e 65°C.

As Figura 4.1 e 4.2 mostram que numa mesma temperatura, os seis cultivares apresentaram comportamento semelhante da variação de umidade X_{bu} em função do tempo. Além disso, foi possível analisar a influência da temperatura no processo de hidratação. À temperaturas mais elevadas, a umidade de equilíbrio é atingida mais rapidamente, ou seja, qualitativamente, sabe-se que quanto maior a temperatura, maior a velocidade com que o grão absorve água, embora a umidade de equilíbrio não seja sensível as variações de temperatura.

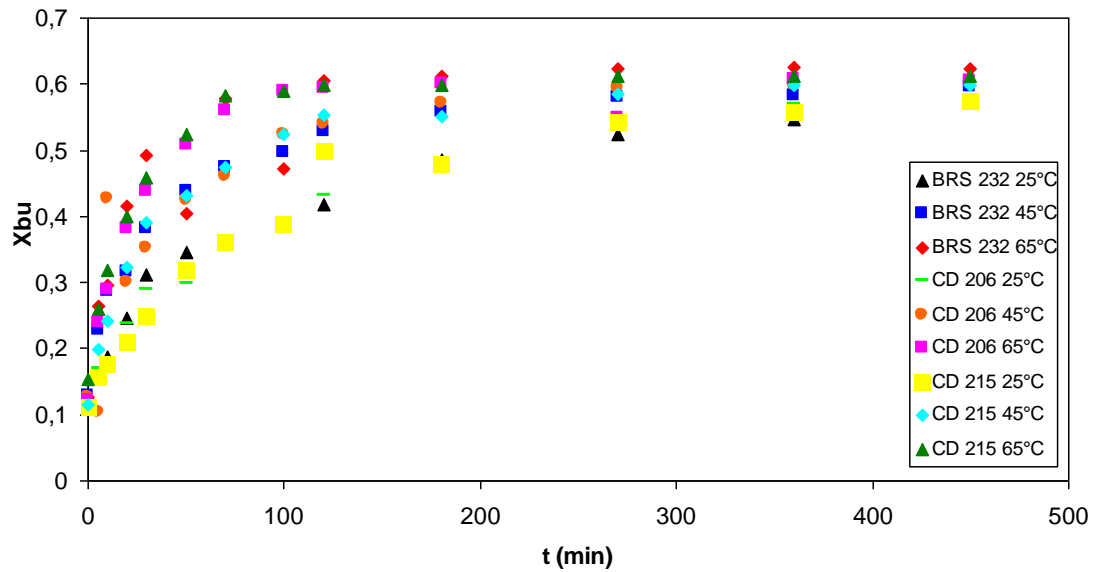


FIGURA 4.2 – UMIDADE BASE ÚMIDA DOS CULTIVARES CONVENCIONAIS EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 45° e 65°C.

4.2 Análise da qualidade dos dados de hidratação utilizando replicatas

A precisão do método empregado na obtenção de dados foi avaliado utilizando-se um conjunto de dados obtidos por ensaios de hidratação em duplicatas.

As Figuras 4.3 e 4.4 representam dados de hidratação do cultivar transgênico A7321 e do cultivar convencional CD 206 obtidos nas temperaturas de 25°, 45° e 65°C. Observa-se que em todas as temperaturas analisadas as réplicas apresentaram o mesmo comportamento dos dados originais de hidratação.

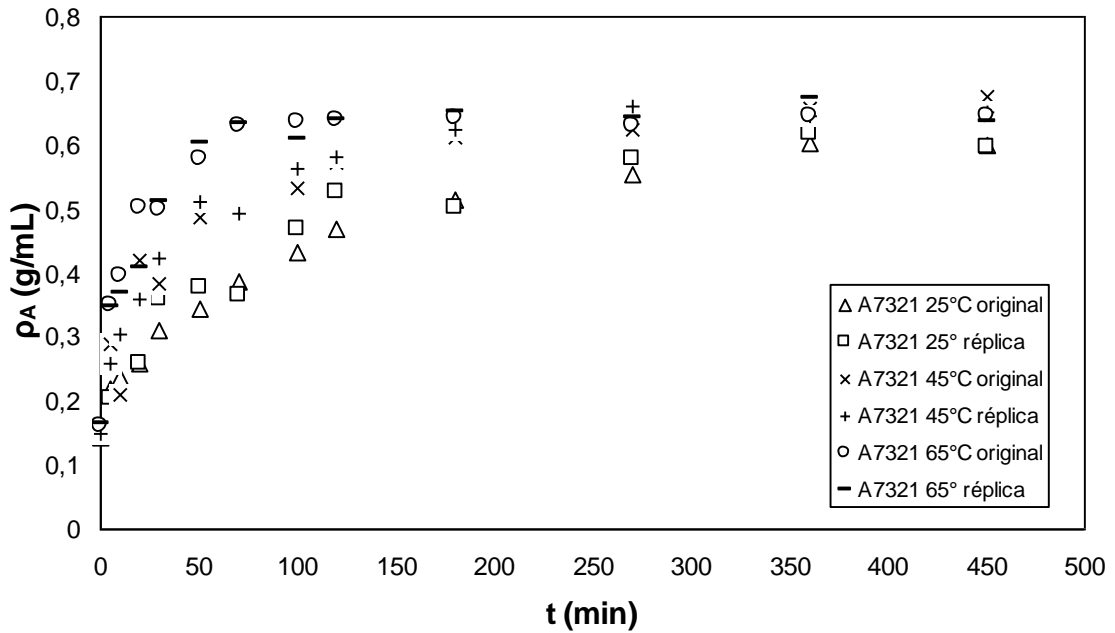


FIGURA 4.3 – DADOS DE HIDRATAÇÃO ORIGINAL E REPLICATA DO CULTIVAR TRANSGÊNICO A7321 PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 45° E 65°C.

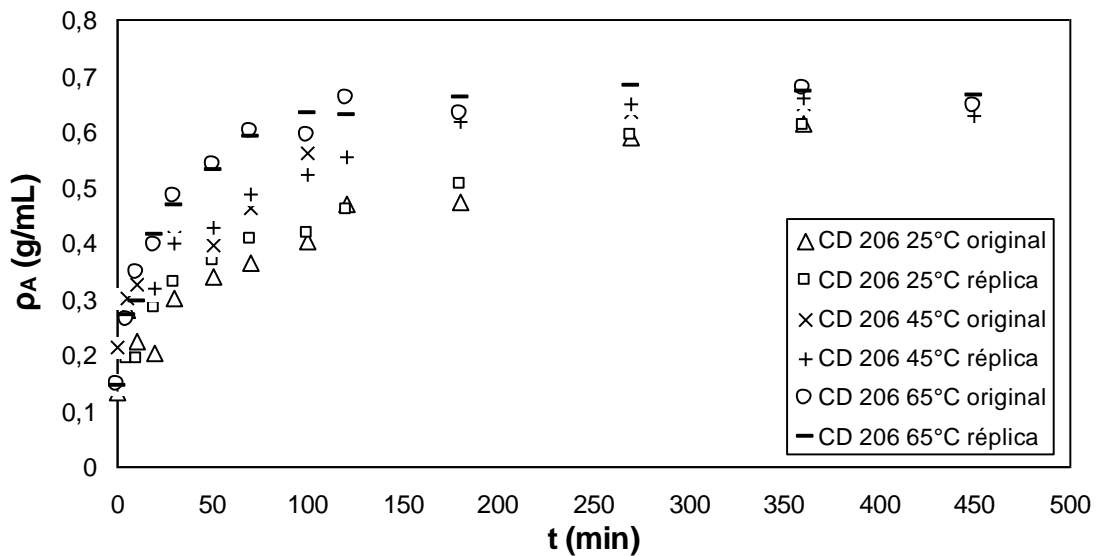


FIGURA 4.4 – DADOS DE HIDRATAÇÃO ORIGINAL E REPLICATA DO CULTIVAR CONVENCIONAL CD 206 PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 45° E 65°C.

Os valores das concentrações médias foram calculadas a partir de um conjunto de dados originais e réplicas para o cultivar transgênico A7321, calculando-se valores médios de concentração em cada ponto de coleta obteve-se um conjunto de dados de concentração média ao longo do tempo.

Utilizando-se esses dados, calculou-se a soma dos resíduos quadráticos dos valores médios em relação aos valores originais e replicatas, de acordo com a Equação 4.1, a qual define a função objetivo (Φ^2).

$$\Phi^2 = \sum_1^n (\rho^i_{Amed} - \rho^i_{AOR})^2 \quad (4.1)$$

A Tabela 4.1 apresenta a somatória dos desvios quadráticos para três das temperaturas estudadas para o cultivar A7321 e (n) é o número de pontos coletados. Observa-se o maior desvio foi de $4,88 \times 10^{-3}$, encontrado no ensaio à temperatura de 45°C . Demonstrando assim que o método empregado na obtenção dos dados dos ensaios de hidratação tem precisão e confiabilidade.

TABELA 4.1 – SOMATÓRIA DOS DESVIOS QUADRÁTICOS PARA O CULTIVAR A7321.

T (°C)	$\Phi_{450} \cdot 10^3$ (g/mL)	n (adm)
25	2,75	13
45	4,88	13
65	3,05	13
Soma	10,68	39

4.3 Cálculo da densidade do grão.

Apartir dos pontos experimentais obtidos da hidratação dos grãos de soja pode-se constatar pela análise da Figura 4.5, que a medida que o teor de umidade (X_{bu}) aumenta durante o processo de hidratação a densidade do grão (ρ_{soja}) permanece praticamente constante, correspondendo a um valor médio de $1,10 \text{ g/cm}^3$. Este resultado ficou próximo ao de Vieira, Cabral e Paula (1997) que encontraram valores para a densidade dos grãos de soja de $1,15 \text{ g/cm}^3$. Como o valor da densidade do grão, quer seja transgênico ou convencional, é próximo ao valor da densidade da água com isso verificou-se que durante o processo de hidratação o valor da densidade do grão não sofre alteração significativa. Nos cálculos dos valores de ρ_A (concentração mássica de água) utilizou-se a Equação 3.2 admitindo $\rho_{soj} = 1,10 \text{ g/cm}^3$.

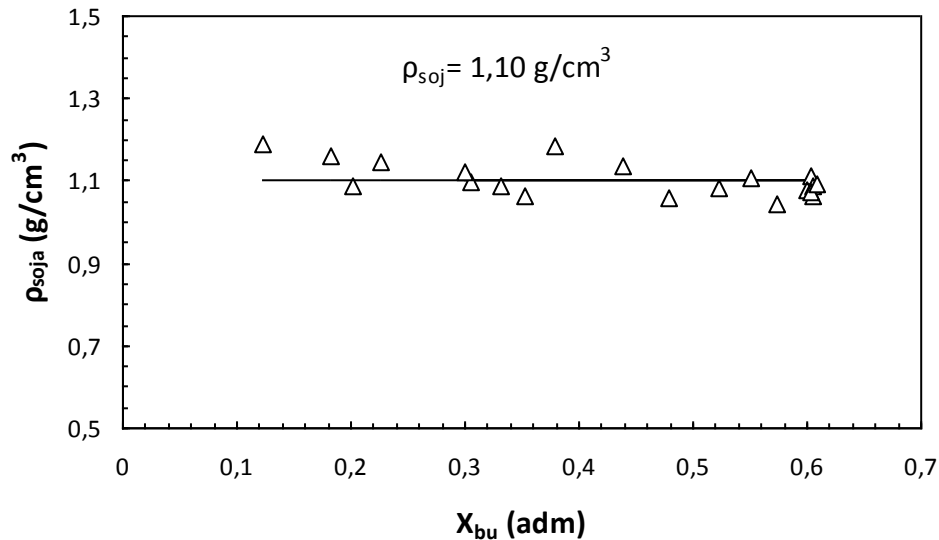


FIGURA 4.5 – INFLUÊNCIA DA UMIDADE (X_{bu}) NA DENSIDADE DO GRÃO PARA O CULTIVAR TRANSGÊNICO A7321.

4.4 Análise dos dados experimentais em regime transiente e permanente.

A Figura 4.6 apresenta os valores experimentais de concentração de água em função do tempo dos cultivares transgênicos e convencionais na temperatura de 25°C obtidos em experimentos com duração de 1860 minutos. A partir da inspeção dessa figura identificam-se três regiões, sendo a primeira correspondente ao regime transiente (I) presente no intervalo de 0 a 450 minutos. A segunda denominada região de transição (II) mostrada no intervalo aproximado de 450 a 1410 minutos. A partir de 1410 minutos principia a região de regime permanente (III) onde as condições de equilíbrio são alcançadas.

Essa região de transição (II) caracteriza-se por apresentar uma dinâmica lenta na incorporação de água nos grãos. A região (III) caracteriza-se por não apresentar incorporação significativa de água, considerando-se portanto que nesta região o sistema já atingiu o equilíbrio mássico.

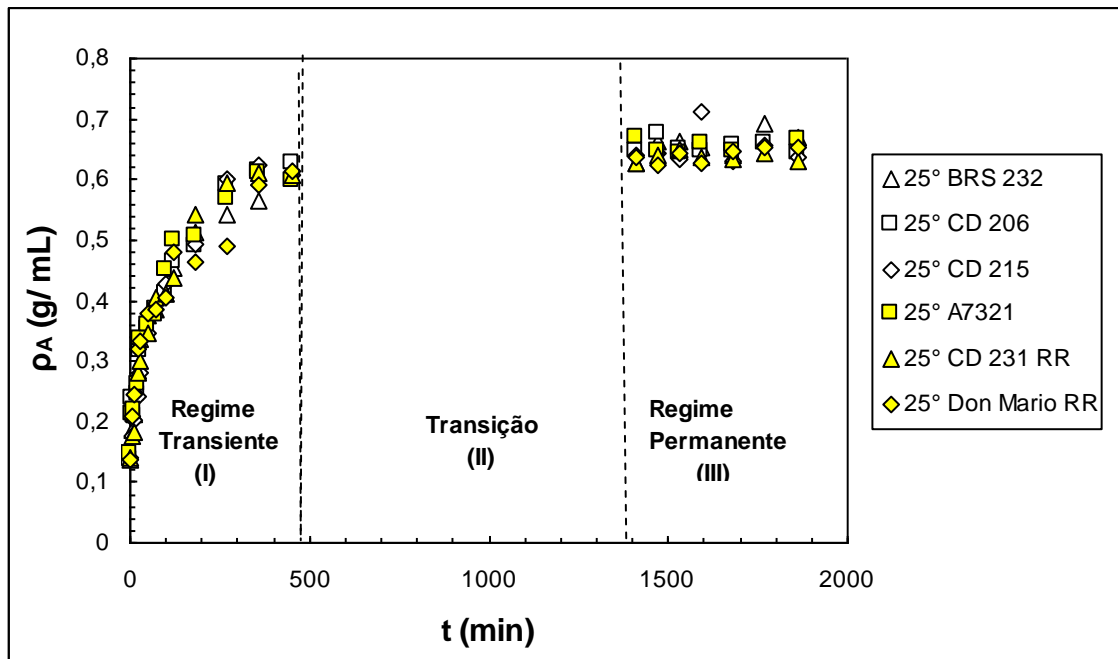


FIGURA 4.6 – VALORES EXPERIMENTAIS DE CONCENTRAÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO TEMPO DOS CULTIVARES TRANSGÊNICOS E CONVENCIONAIS NA TEMPERATURA DE 25°C.

O aumento médio da umidade na faixa de 450 minutos a 1410 minutos para todos os seis cultivares transgênicos e convencionais foi de 5,40%, sendo considerado pequeno e assim fixando o tempo dos ensaios em 450 minutos para o ajuste dos modelos.

A Figura 4.7 mostra a faixa de regime transiente (I) do ensaio realizado a 25°C, observa-se que no final do intervalo os grãos já obtiveram concentrações acima de 0,5, após este período de 450 minutos é iniciado uma região de transição, onde percebe-se pouca variação de umidade.

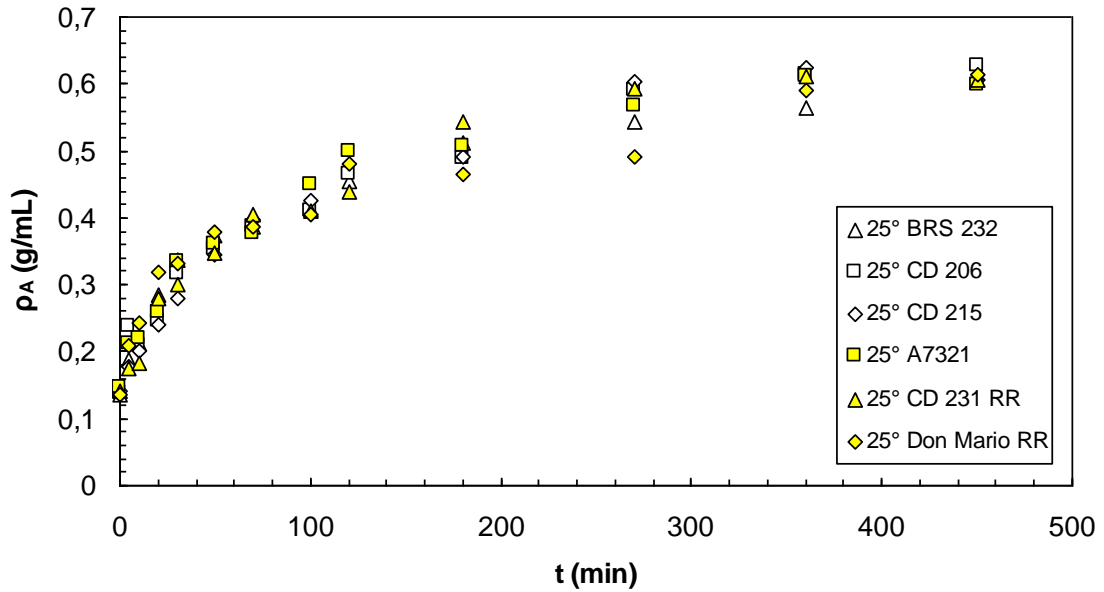


FIGURA 4.7 – DADOS DE CONCENTRAÇÃO NA REGIÃO DE REGIME TRANSIENTE (I).

A Figura 4.8 mostra a região III – regime permanente. Os dados experimentais mostram que a condição de equilíbrio é atingida a partir de um período de 1410 minutos de hidratação. O valor da densidade de água nas condições de equilíbrio ficou em torno de 0,6 e 0,7 g/mL para temperatura de 25°C para todas as cultivares analisadas.

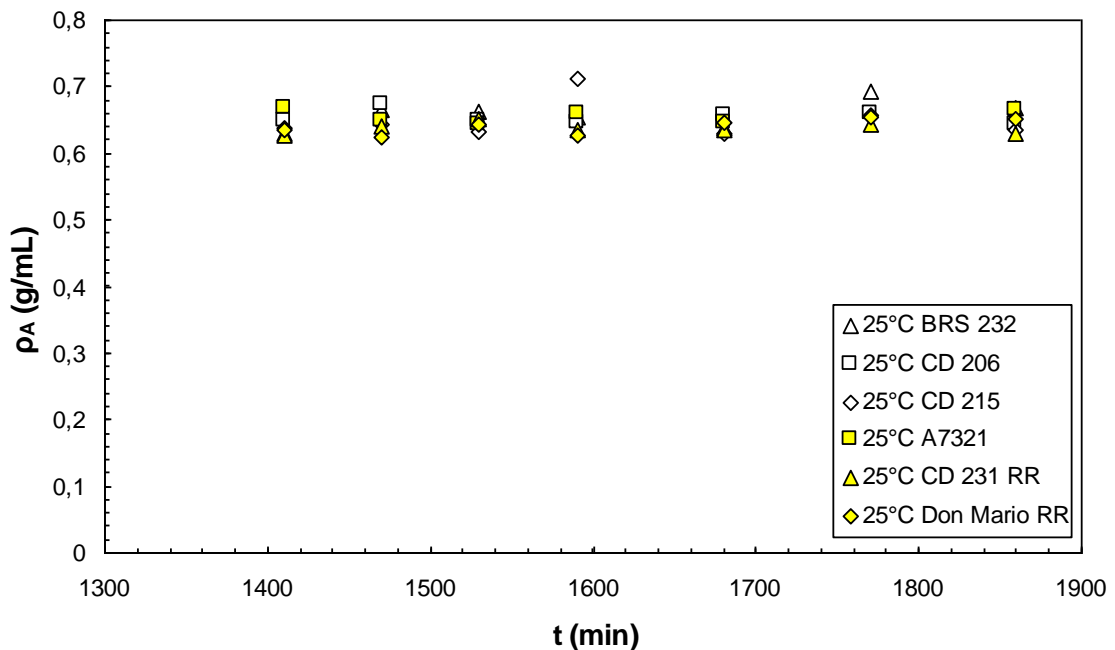


FIGURA 4.8 – DADOS DE CONCENTRAÇÃO NA REGIÃO DE REGIME PERMANENTE (III).

4.5 Estimativa da Concentração de Equilíbrio

Um dos modelos a ser empregado neste estudo, o modelo de Parâmetros Concentrados, requer conhecimento prévio da concentração de equilíbrio. A Figura 4.9 mostra o comportamento típico da variação da concentração de equilíbrio em função da temperatura, para um dos cultivares o transgênico A7321, observando-se um comportamento constante com um valor médio de 0,65 g/mL para este parâmetro. O valor médio foi estimado fazendo-se uma média de ρ_{Aeq} na faixa de regime permanente (1410 a 1860 minutos).

A Tabela 4.2 apresenta os valores das densidades de equilíbrio (ρ_{Aeq}) para todos os cultivares estudados. Os valores foram obtidos nas diversas temperaturas experimentadas calculados por meio de uma média entre as concentrações de equilíbrio experimentais obtidas em todos os ensaios realizados a uma mesma temperatura. .

TABELA 4.2 – VALORES DAS DENSIDADES DE EQUILÍBRIO ρ_{Aeq} (g cm⁻³) PARA TODOS OS CULTIVARES E TEMPERATURAS ESTUDADAS.

T (°C)/Cultivar	ρ_{Aeq} A7321	ρ_{Aeq} D.Mario	ρ_{Aeq} CD 231	ρ_{Aeq} CD 206	ρ_{Aeq} CD 215	ρ_{Aeq} BRS 232
25	0,653	0,643	0,637	0,653	0,639	0,659
35	0,664	0,657	0,655	0,680	0,657	0,651
45	0,662	0,640	0,693	0,655	0,656	0,669
55	0,657	0,646	0,675	0,673	0,677	0,673
65	0,647	0,643	0,652	0,658	0,706	0,676
ρ_{Aeq} médio	0,657	0,643	0,655	0,658	0,657	0,669

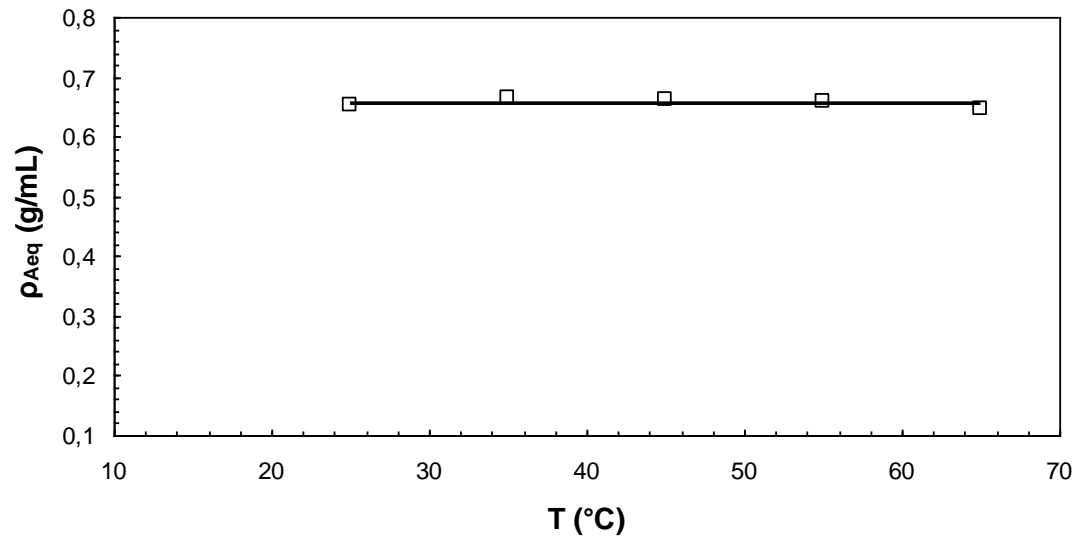


FIGURA 4.9 – CONCENTRAÇÃO DE EQUILÍBRIO MÉDIO ENTRE TODOS OS CULTIVARES EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.

5 MODELO EMPÍRICO

Os modelos empíricos são geralmente desenvolvidos a partir de simples correlações matemáticas dos dados experimentais. É aplicado devido a sua simplicidade, fácil resolução matemática e por muitas vezes representarem bem o processo de hidratação, porém não se baseiam em fundamentos físicos ou em teorias de transferência de massa. Desta forma Peleg propôs um modelo empírico na tentativa de simplificar a descrição da absorção de água em grãos e cereais.

O ajuste do modelo aos dados experimentais e os cálculos das constantes geralmente são feitos por simples regressão linear.

5.1 Modelo de Peleg

O modelo de Peleg (1988) possui dois parâmetros K_1 e K_2 e representado pela Equação 5.1 na forma de concentração em função do tempo. Este modelo foi testado por Sopade e Obekpa (1990) para absorção de água em soja e amendoim, conseguindo representar satisfatoriamente os dados experimentais.

$$X_{bs}(t) = X_{bs_0} + \frac{t}{(K_1 + K_2 t)} \quad (5.1)$$

Onde: ρ_A é a concentração de água, K_1 e K_2 são as constantes do modelo de Peleg.

5.2 Obtenção dos parâmetros do modelo de Peleg

O modelo de Peleg, Equação 5.1, linearizado, a partir do qual obtém-se a Equação 5.2, podendo desta forma determinar os parâmetros K_1 e K_2 , respectivamente, por meio do coeficiente angular e linear da reta $1/(X - X_{bs_0})$ versus $1/t$.

$$\frac{t}{X_{bs} - X_{bs_0}} = K_1 + K_2 \cdot t \quad (5.2)$$

Os parâmetros K_1 e K_2 da Equação 5.2 foram ajustados em um intervalo de tempo de 0 a 1860 minutos. A Figura 5.1 apresenta o ajuste do modelo de Peleg, neste caso ilustrado para o cultivar A7321 na temperatura de 25°C. Como é possível observar, obteve-se valores de 104,86 min^{-1} para K_1 e 0,6616 mL/g para K_2 e um coeficiente de correlação de 0,99. Em todas as temperaturas e cultivares estudados foram ajustados os parâmetros seguindo a mesma metodologia utilizada na temperatura de 25°C e obtiveram-se coeficientes de correlação entre 0,96 e 0,99. Os valores encontrados de K_1 e K_2 no ajuste em todas as temperaturas e cultivares estudadas estão demonstrados na Tabela 5.1.

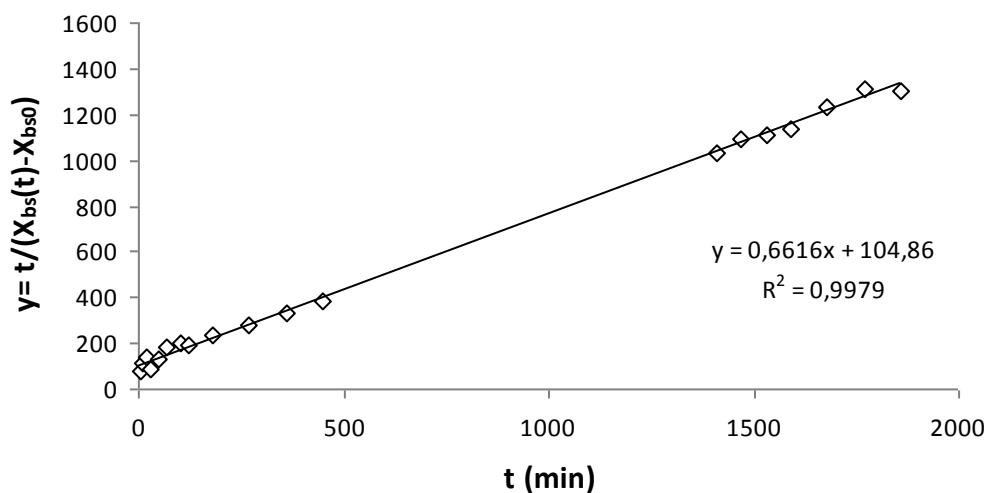


FIGURA 5.1 – QUALIDADE DE AJUSTE DOS PARÂMETROS DO MODELO DE PELEG OBTIDOS NA TEMPERATURA DE 25°C DO CULTIVAR TRANSGÊNICO A7321.

A Tabela 5.1 apresenta as constantes K_1 , K_2 e coeficiente de correlação (R^2) obtidos para um dos cultivares de soja transgênica e convencional nas cinco temperaturas estudadas.

Fracasso *et al.* (2010) estudaram a cinética de hidratação de soja para o cultivar transgênico BRS 225 RR na temperatura de 25°C, encontraram valores de K_1 e K_2 iguais a 56,35 e 0,80 respectivamente. Sendo que no presente trabalho nesta temperatura e para o cultivar transgênico A7321 foram obtidos valores de 102,5 e 0,65845 respectivamente.

A constante K_2 define o conteúdo de umidade de equilíbrio, uma propriedade que não é sensível à temperatura. Esta informação pode ser importante na caracterização da absorção de umidade de produtos alimentícios.

TABELA 5.1 – VALORES DAS CONSTANTES DE PELEG E RESPECTIVO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO PARA OS SEIS CULTIVARES DE SOJA.

A7321 ^(T)	25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	Média
R ²	0,998	0,996	0,998	0,992	0,995	0,996
K ₁	102,500	69,714	41,185	16,996	18,469	49,773
K ₂	0,658	0,596	0,648	0,716	0,675	0,659
D.Mario ^(T)						
R ²	0,997	0,998	0,995	0,999	0,997	0,997
K ₁	81,188	47,930	39,571	17,403	14,948	40,208
K ₂	0,722	0,683	0,640	0,715	0,724	0,697
CD 231 ^(T)						
R ²	0,998	0,999	0,993	0,998	0,993	0,996
K ₁	80,121	57,711	42,955	30,885	20,473	46,429
K ₂	0,694	0,640	0,666	0,584	0,645	0,646
CD 206						
R ²	0,995	0,996	0,996	0,998	0,995	0,996
K ₁	88,588	59,795	45,568	30,393	22,046	49,278
K ₂	0,681	0,627	0,635	0,750	0,678	0,674
CD 215						
R ²	0,996	0,987	0,999	0,998	0,995	0,995
K ₁	96,944	110,580	46,454	16,073	21,702	58,350
K ₂	0,687	0,592	0,603	0,666	0,657	0,641
BRS 232						
R ²	0,995	0,999	0,994	0,968	0,994	0,990
K ₁	97,802	63,201	42,618	21,754	20,919	49,258
K ₂	0,676	0,640	0,666	0,614	0,602	0,640

Nota: (T) – TRANSGÊNICO

(C) – CONVENCIONAL

A partir dos valores de K₁ identificados, verifica-se a seguinte ordem crescente para os diferentes cultivares, aonde a média K₁^(T)= 45,47 e K₁^(C)=52,29, portanto a velocidade inicial de absorção de água do cultivar transgênico^(T) é 15% maior que a velocidade inicial de absorção de água do cultivar convencional^(C).

$$D.Mario^{(T)} < CD 231^{(T)} < BRS 232^{(C)} < CD 206^{(C)} < A7321^{(T)} < CD 215^{(C)}$$

Os valores dos coeficientes de correlação (R²) apresentados na Tabela 5.1, indicam a qualidade do fenômeno de hidratação representada pelo modelo. As constantes K₁ apresentaram uma grande influência da temperatura, enquanto que K₂ não variou significativamente.

Segundo a análise apresentada por RESENDE & CORRÊA (2007), a constante K_2 do modelo de Peleg está relacionada à capacidade máxima de absorção de água e quanto menor o seu valor, maior será a absorção de água do produto.

SOPADE & OBEKPA (1990), encontraram valores para K_1 e K_2 iguais a 0,01 e 0,006, obtidos durante estudo de hidratação de soja na temperatura de 25°C, sendo que neste trabalho para os seis diferentes cultivares à 25°C são obtidos os valores apresentados na Tabela 5.2, com unidade adaptada ao trabalho de SOPADE & OBEKPA.

TABELA 5.2 – VALORES DAS CONSTANTES K_1 E K_2 NA TEMPERATURA DE 25°C PARA OS SEIS CULTIVARES ESTUDADOS

Cultivar	K_1 (25°)	K_2 (25°)
A7321 ^(T)	0,96350	0,658
D.Mario ^(T)	0,76317	0,722
CD 231 ^(T)	0,75314	0,694
CD 206	0,83273	0,681
CD 215	0,91127	0,687
BRS 232	0,91934	0,676
Média	0,85719	0,686

5.3 Desvio Quadrático de Peleg frente aos dados experimentais

A Tabela 5.2 apresenta os desvios quadráticos da umidade em base seca estimada pelo modelo de Peleg frente aos dados experimentais em cada temperatura e ainda os desvios quadráticos médios (Φ) na faixa de temperatura estudada para cada um dos cultivares.

TABELA 5.3 – VALORES DOS DESVIOS QUADRÁTICOS MÉDIOS DO MODELO DE PELEG PARA TODOS OS CULTIVARES E TEMPERATURAS ESTUDADAS.

T (°C) \ Cultivar	Φ^2	Φ^2	Φ^2	Φ^2	Φ^2	Φ^2
	A 7321	D.MARIO	CD 231	CD 215	CD 206	BRS 232
25	0,06133	0,03455	0,00490	0,01116	0,00412	0,00843
35	0,00653	0,00480	0,00313	0,01591	0,00433	0,00197
45	0,00272	0,06539	0,00908	0,00183	0,00670	0,01155
55	0,01468	0,00659	0,00597	0,02167	0,01551	0,01586
65	0,00532	0,00454	0,07094	0,00672	0,06837	0,07291
$\Sigma\Phi^2$	0,01811	0,02317	0,01881	0,01146	0,01981	0,02214

A partir dos desvios quadráticos médios apresentados na Tabela 5.2, estimados para cada um dos cultivares, foi avaliado o desvio quadrático médio global envolvendo todos os cultivares. O valor encontrado foi de $\Phi = 0,018918$.

5.4 Influência da temperatura sobre os parâmetros do modelo de Peleg

Observa-se na Figura 5.2 que o parâmetro K_1 , inversamente proporcional à taxa inicial de absorção de água, diminui com o aumento da temperatura para todos os cultivares estudados.

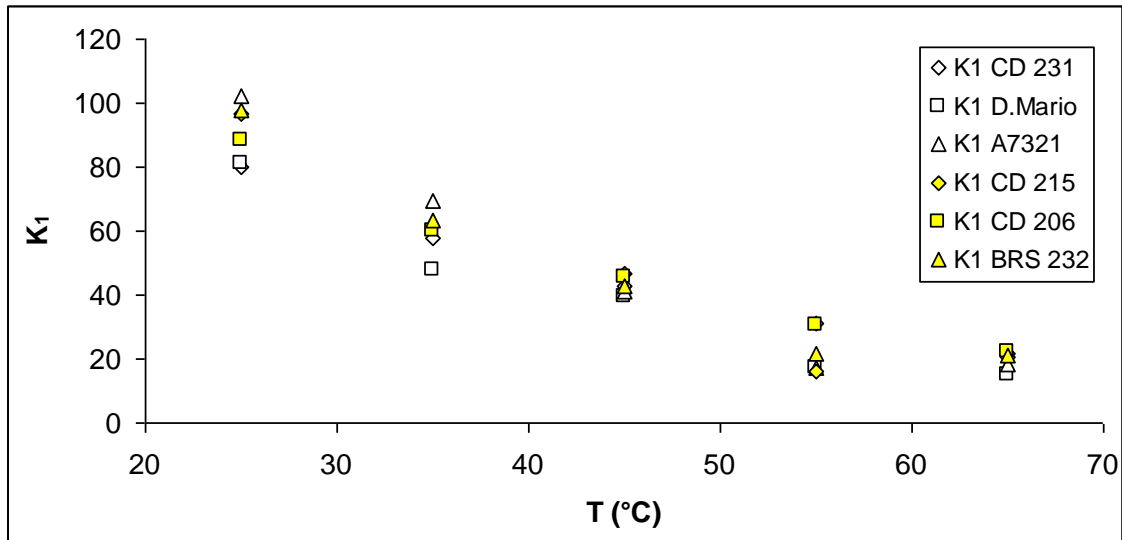


FIGURA 5.2 – DEPENDÊNCIA DECRESCENTE DE K_1 COM A TEMPERATURA.

A constante K_1 decresce com a temperatura de acordo com a Lei de Arrhenius, dada pela Equação 5.3.

$$K_1(T) = K_0 \cdot \exp^{-E/RT} \quad (5.3)$$

A Equação 5.3 na forma linearizada é dada pela Equação 5.4:

$$\ln K_1 = \ln K_0 - \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (5.4)$$

Chamando $E' = -E/R$, temos a Equação 5.5:

$$\ln K_1 = \ln K_0 + E' \cdot \frac{1}{T} \quad (5.5)$$

A Figura 5.3 ilustra a dependência exponencial de K_1 em função temperatura para o cultivar transgênico CD 231.

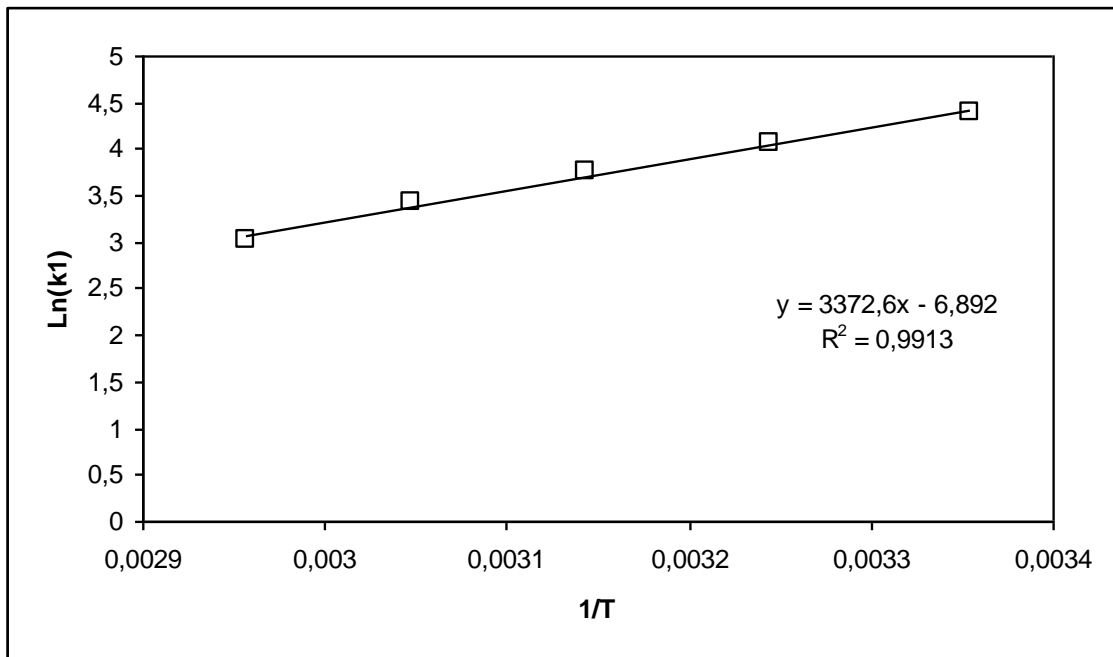


FIGURA 5.3 – DEPENDÊNCIA EXPONENCIAL DE K_1 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO CULTIVAR CD 231.

A Tabela 5.3 mostra os coeficientes lineares e angulares obtidos no ajuste de K_1 , para todos os cultivares em todas as temperaturas.

TABELA 5.4 – COEFICIENTES LINEARES E ANGULARES DA DEPENDÊNCIA EXPONENCIAL DE K_1 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA ENCONTRADOS.

Cultivar	K_0 (mL.min/g)	E' (K^{-1})	R^2
A7321	7,9845	4891,8	0,9334
D.Mario	2,8603	4433,5	0,9578
CD 231	0,0010158	3372,6	0,9913
CD 206	0,00075145	3484,4	0,9961
CD 215	7,3045	4960,2	0,8099
BRS 232	7,4904	4197,5	0,9638

Os valores dos coeficientes de correlação apresentados na Tabela 5.3 confirmam a dependência exponencial do parâmetro K_1 em função da temperatura.

A Figura 5.4 mostra que o parâmetro K_2 , inversamente relacionado à umidade de equilíbrio, é pouco sensível à temperatura para todos os cultivares.

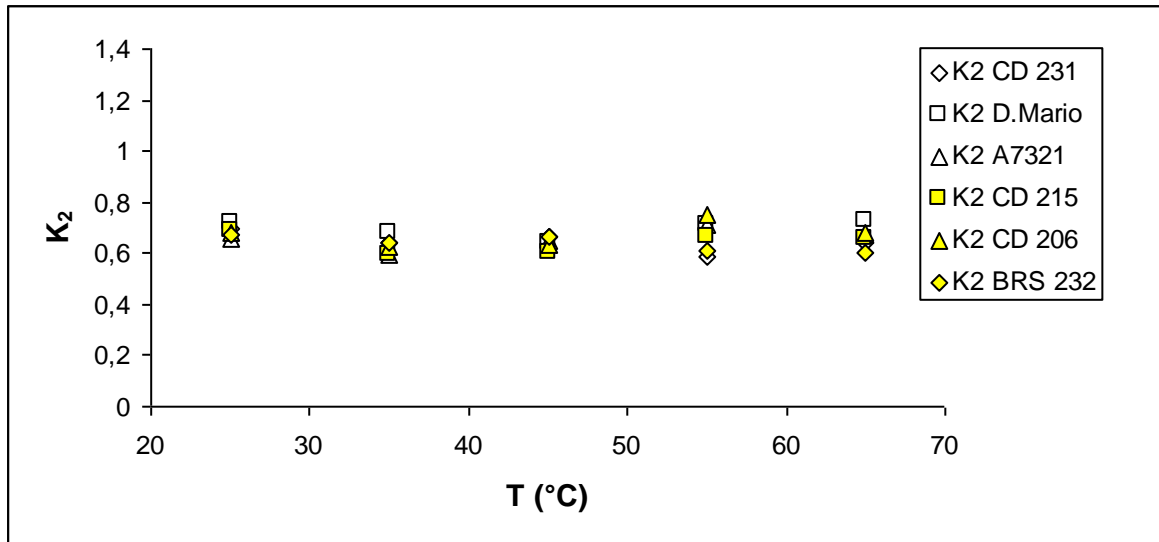


FIGURA 5.4 – COMPORTAMENTO DE K_2 COM A TEMPERATURA.

A Figura 5.5 ilustra a dependência da temperatura para o cultivar CD 231, mostrando que o valor deste parâmetro permanece constante ao ser variada a temperatura, apresentando um valor médio de $K_{2\text{médio}} = 0,6458$.

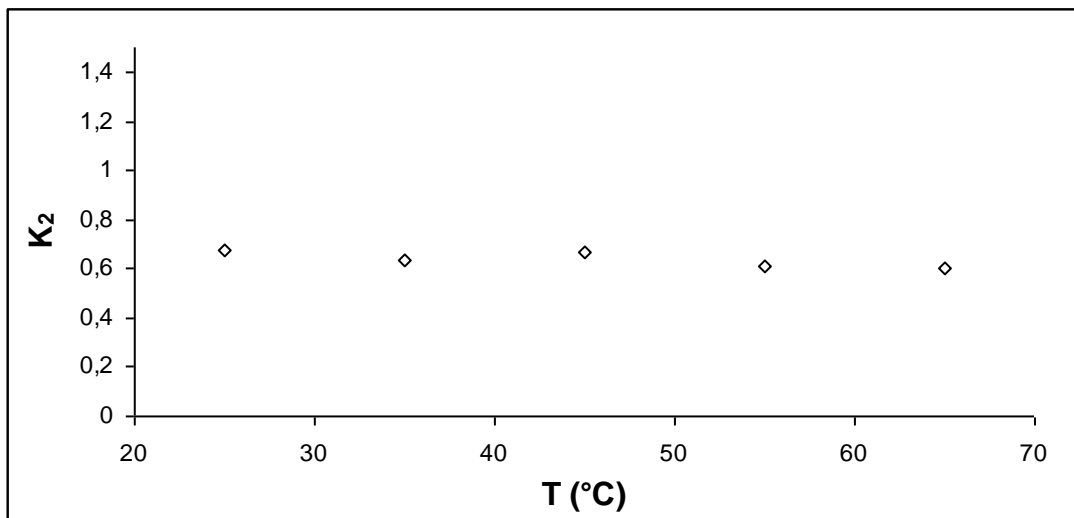


FIGURA 5.5 – DEPENDÊNCIA DE K_2 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA O CULTIVAR CD 231.

A Tabela 5.4 mostra o valor médio de K_2 para cada um dos cultivares. Observa-se que houve pouca variação em todas as temperaturas exploradas, mantendo-se praticamente constante.

TABELA 5.5 – VALOR MÉDIO K_2 PARA TODOS OS CULTIVARES E TEMPERATURAS ESTUDADAS.

Cultivar	Média K_2
A7321	0,658
D.Mario	0,697
CD 231	0,646
CD 206	0,674
CD 215	0,641
BRS 232	0,640

6 MODELO FENOMENOLÓGICO

No Capítulo 5 foi apresentado o modelo empírico de Peleg, o qual é obtido a partir de simples correlações matemáticas, não se baseando em leis físicas. Neste capítulo foi empregado o modelo fenomenológico aplicado ao processo de hidratação dos grãos de soja, considerando-se as etapas elementares de transferência de massa em sistema de parâmetros concentrados. A grande vantagem deste modelo é que geralmente representa as principais tendências do processo até mesmo quando empregado fora das condições experimentais em que foi validado.

6.1 Modelo de Parâmetros Concentrados

Os modelos de parâmetros concentrados não contemplam variações espaciais das propriedades físicas do sistema podendo assim, ser utilizados para simular o comportamento do grão durante a hidratação.

O modelo de Parâmetros Concentrados parte de um balanço de massa em regime transiente para a água contida no grão. Considerando uma concentração média de água no grão, mediante um balanço de massa obtém-se a Equação 6.1. Esta Equação representa a variação da massa de água no grão ($\rho_A V$) com o tempo (t).

$$\frac{d(\rho_A V)}{dt} = -N_A A \quad (6.1)$$

Neste modelo foi considerado volume constante, geometria esférica no grão com raio r_0 e foi definido o fluxo mássico como sendo $N_A = K_s (\rho_{Aeq} - \rho_A)$. A partir disso, chegou-se à Equação 6.2.

$$\frac{d(\rho_A)}{dt} = -\frac{3K_s}{r_0} (\rho_{Aeq} - \rho_A) \quad (6.2)$$

Este modelo apresenta dois parâmetros: o coeficiente de transferência de massa aparente, K_s ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$) e a concentração de água no grão no equilíbrio, ρ_{Aeq} ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$). O modelo pode ser resolvido admitindo-se que no tempo $t=0$, a concentração de água no grão é uniforme e conhecida, $\rho_A = \rho_{Ao}$. A concentração de água no grão no equilíbrio, ρ_{Aeq} pode ser estimada a partir dos dados experimentais.

A integração da Equação 6.2 considerando que tanto ρ_{Aeq} como K_s sejam constantes para uma dada temperatura de hidratação, resulta na Equação 6.3.

$$\ln \theta = \ln \left(\frac{\rho_{Aeq} - \rho_A}{\rho_{Aeq} - \rho_{Ao}} \right) = - \frac{3K_s}{r_o} t \quad (6.3)$$

Os parâmetros do modelo K_s e ρ_{Aeq} podem ser obtidos através do ajuste da Equação 6.3 aos dados experimentais por regressão linear.

6.2 Obtenção dos parâmetros do Modelo de Parâmetros Concentrados

O ajuste do modelo aos dados experimentais foi realizado mediante regressão linear, obtendo-se os parâmetros K_s e ρ_{Aeq} , para as diferentes temperaturas experimentadas. A Figura 6.1 apresenta o ajuste linearizado do modelo para os dados gerados experimentalmente a 25°C. Os valores encontrados para estes parâmetros para todas as temperaturas e cultivares experimentadas estão mostrados na Tabela 6.1.

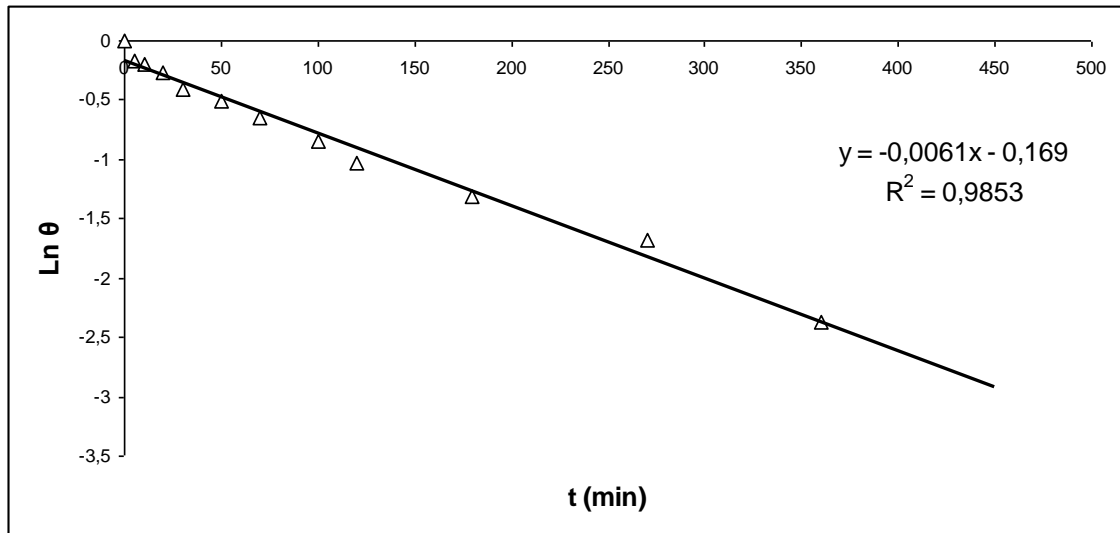


FIGURA 6.1 – AJUSTE LINEARIZADO DO MODELO EMPREGANDO-SE AOS DADOS OBTIDOS À 25°C PARA O CULTIVAR TRANSGÊNICO A7321.

TABELA 6.1 – VALORES DOS PARÂMETROS K_s E CORRESPONDENTES COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO R^2 PARA AS TEMPERATURAS E CULTIVARES EXPERIMENTADAS.

	25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	Média
A7321						
R^2	0,91340	0,85820	0,88200	0,69305	0,93980	0,88200
K_s	0,00127	0,00234	0,00334	0,00432	0,00668	0,00334
D.Mario						
R^2	0,93875	0,94405	0,98850	0,96350	0,93190	0,94405
K_s	0,00045	0,00054	0,00338	0,00131	0,00874	0,00131
CD 231						
R^2	0,92450	0,90925	0,81625	0,83570	0,82590	0,83570
K_s	0,00218	0,00259	0,00277	0,00470	0,00493	0,00277
CD 206						
R^2	0,97655	0,93925	0,98255	0,95810	0,93775	0,95810
K_s	0,00040	0,00050	0,00382	0,00096	0,00599	0,00096
CD 215						
R^2	0,89605	0,94375	0,92990	0,84165	0,93190	0,92990
K_s	0,00258	0,00231	0,00352	0,00370	0,00572	0,00352
BRS 232						
R^2	0,71910	0,91655	0,86605	0,89000	0,71600	0,86605
K_s	0,00218	0,00249	0,00260	0,00489	0,00545	0,00260

NOTA: (C) – CONVENCIONAL.
(T) – TRANSGÊNICO.

Verificou-se uma dependência do coeficiente de transferência de massa aparente (K_s) em função da temperatura, o que concorda com relatos anteriores apresentados na literatura (COUTINHO *et al* (2007), OMOTO *et al* (2009) e FRACASSO *et al*, (2010).

Segundo Omoto *et al.* (2009), além da temperatura, o tipo de grão também exerce influência significativa sobre o K_s , conforme a Tabela 2.5 apresentada pode-se observar que os valores encontrados por Coutinho (2006) para a hidratação de

soja são superiores aos valores encontrados no estudo de EDILSON (2009) com grãos de ervilha. Tanto o valor de K_s analisado individualmente para cada cultivar de grão com a diferença entre os valores de K_s da soja e da ervilha aumentam com o aumento da temperatura.

Comparando-se os coeficientes de transferência de massa aparente (K_s) das cultivares estudadas verifica-se a seguinte ordem crescente, aonde a média do $K_s^{(T)} = 0,001167$ e $K_s^{(C)} = 0,001073$, portanto o K_s do cultivar transgênico^(T) médio é 9% maior que o K_s do cultivar convencional^(C) médio.

$$CD\ 206^{(C)} \leq BRS\ 232^{(C)} < CD\ 231^{(T)} < A7321^{(T)} < D.Mario^{(T)} < CD\ 215^{(T)}$$

Os valores dos coeficientes de correlação apresentados na Tabela 6.1 mostram que houve um bom ajuste, o que reflete a capacidade do modelo representar o processo de hidratação em todas as temperaturas e as cultivares estudadas.

6.3 Desvio quadrático médio do modelo de parâmetros concentrados frente aos dados experimentais

A Tabela 6.2 apresenta os desvios quadráticos para cada um dos cultivares em função da temperatura e também o somatório dos desvios para um mesmo cultivar. O valor médio do somatório dos desvios encontrados para todas as cultivares foi 0,01506.

TABELA 6.2 – VALORES DOS DESVIOS QUADRÁTICOS MÉDIOS DO MODELO DE PARÂMETROS CONCENTRADOS PARA TODOS OS CULTIVARES E TEMPERATURAS ESTUDADAS.

T(°C)/Cultivar	ϕ^2 A 7321	ϕ^2 D.Mario	ϕ^2 CD 231	ϕ^2 CD 215	ϕ^2 CD 206	ϕ^2 BRS 232
25	0,03723	0,04212	0,00094	0,01258	0,00144	0,00377
35	0,00281	0,00488	0,00230	0,00189	0,00229	0,00320
45	0,01571	0,12864	0,02819	0,01345	0,00304	0,01646
55	0,00853	0,00281	0,06268	0,00598	0,00188	0,00294
65	0,00604	0,00814	0,00950	0,00968	0,00278	0,00988
$\Sigma\phi^2$	0,01406	0,03732	0,02072	0,00871	0,00229	0,00725

6.4 Influência da temperatura sobre K_s do modelo de Parâmetros Concentrados

Na Figura 6.2, pode-se observar tanto o comportamento do parâmetro K_s em função da temperatura como o comportamento da Equação 6.4 com os parâmetros ajustados, reafirmando que o modelo utilizado para representar K_s em função da temperatura é adequado. Em média os três cultivares transgênicos apresentaram um coeficiente de difusividade aparente 9% maior que o coeficiente de difusividade aparente médio para os três cultivares convencionais.

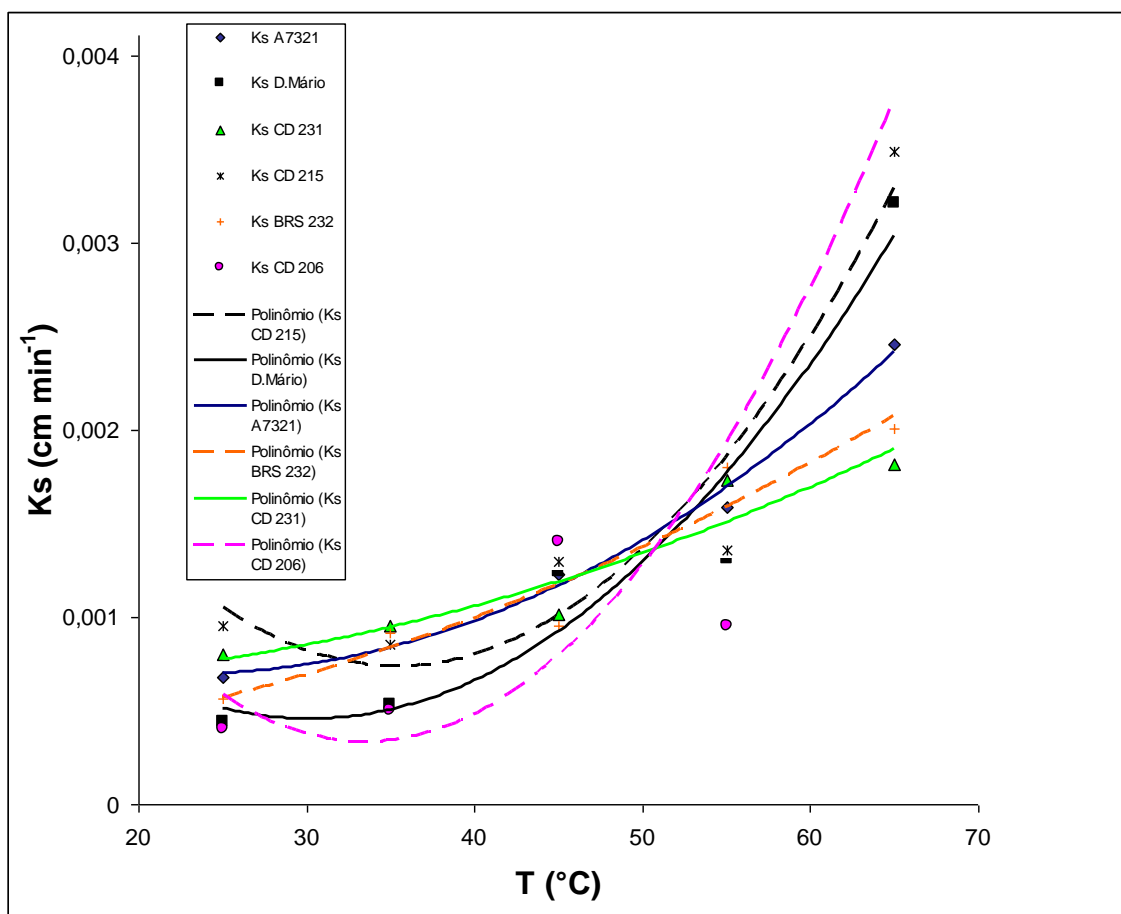


FIGURA 6.2 – INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE K_s PARA TODOS OS CULTIVARES.

Com o propósito de avaliar quantitativamente a influência da temperatura sobre o coeficiente de transferência de massa K_s , utilizou-se a Equação 6.4, similar à Lei de Arrhenius.

$$K_s(T) = K_{s0} \cdot e^{-\frac{E}{T}} \quad (6.4)$$

Linearizando a Equação 6.4, chega-se na Equação 6.5

$$\ln K_s(T) = \ln K_{s0} + (-E') \frac{1}{T} \quad (6.5)$$

Os parâmetros K_{s0} e E' para cada cultivar foram calculados por regressão linear da Equação 6.5, que corresponde à forma linearizada da Equação 6.4, obtendo-se valores de K_{s0} , E' e seus respectivos coeficientes de correlação, apresentados na Tabela 6.3 para todas as cultivares. Pode-se constatar pela Figura 6.3, criada a partir dos dados do cultivar transgênico CD 231, que o K_s apresenta um comportamento crescente em função da temperatura.

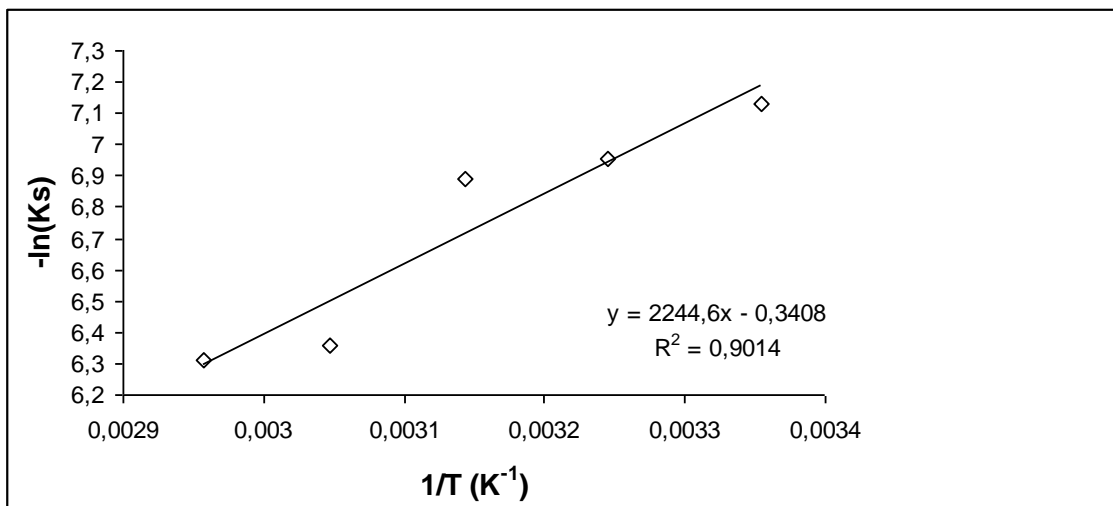


FIGURA 6.3 – OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO 6.5 PARA O CULTIVAR CD 231.

TABELA 6.3 – PARÂMETROS DA EQUAÇÃO 6.4 COM RESPECTIVO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO.

Cultivar	K_{s0}	$E' \text{ (K}^{-1}\text{)}$	R^2
A7321	0,0011995	3969,3	0,985
D.Mario	2,5373	6873,8	0,738
CD 231	0,26200	2244,6	0,901
CD 206	3,5237	6085,6	0,623
CD 215	0,46005	2052,7	0,824
BRS 232	0,11143	2513,8	0,867

6.5 Influência da temperatura sobre o tempo de equilíbrio

Definindo o tempo para os grãos de soja alcançarem a condição de equilíbrio (t_{eq}) como sendo aquele em que a umidade nos grãos atingem 99% da umidade de equilíbrio ($\rho_A = 0,99 \rho_{Aeq}$), pode-se reescrever a Equação 2.7 na forma da Equação 6.6.

$$t_{eq} = \frac{r_0}{3K_s} \ln \left(\frac{100(\rho_{Aeq} - \rho_{Ao})}{\rho_{Aeq}} \right) \quad (6.6)$$

Na Figura 6.4 pode-se observar o comportamento de t_{eq} em função da temperatura, obtido a partir da Equação 6.4, admitindo-se $\rho_{Aeq} = 0,65$ e $K_s(T) = 0,00021 \exp(-2244,6/T)$. Observa-se que o aumento da temperatura provoca uma queda exponencial no tempo de equilíbrio, o qual varia de 569 a 251 minutos para temperaturas entre 25 e 65°C.

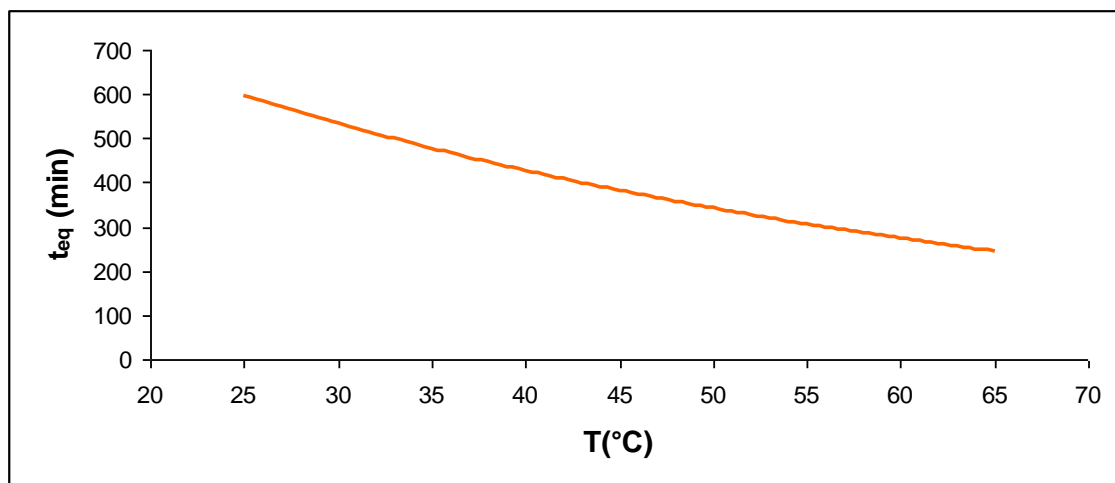


FIGURA 6.4 – TEMPO DE EQUILÍBRIO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA O CULTIVAR TRANSGÊNICO CD 231.

Na Tabela 6.4, observa-se que o tempo para o qual os grãos de soja transgênicos e convencionais atingem a condição de equilíbrio, t_{eq} , decresce acentuadamente com o aumento da temperatura, variando entre 1144,0 e 99,140 minutos na faixa de temperatura de 25 a 65°C, respectivamente.

Segundo Coutinho (2006), em seu estudo de hidratação de grãos de soja foram feitas simulações que revelaram que o tempo para atingir o equilíbrio na

superfície do grão varia de 5400s a 2700s e em todo grão varia de 45600s a 22000s na faixa de temperatura de 10° a 49°C.

Em seu estudo Coutinho *et al.* (2010), evidenciaram que o tempo necessário para o grão de soja alcançar a condição de equilíbrio (t_{eq}) é influenciada pela temperatura, mas que o teor de umidade de equilíbrio não depende da temperatura nas condições que foram estudadas de 10° a 50°C.

Na Tabela 6.4 observa-se que o cultivar convencional CD 206 atinge o equilíbrio primeiro, em seguida os três transgênicos D. Mario, A7321 e CD 231 e finalmente os outros convencionais CD 215 e BRS 232.

TABELA 6.4 – TEMPO DE EQUILÍBRIO EM TODAS AS TEMPERATURAS E CULTIVARES EXPERIMENTADAS.

T (°C)	$t_{eq}^{(C)}$ CD 206 ^(C)	$t_{eq}^{(T)}$ D.Mario ^(T)	$t_{eq}^{(T)}$ A7321 ^(T)	$t_{eq}^{(T)}$ CD 231 ^(T)	$t_{eq}^{(C)}$ CD 215 ^(C)	$t_{eq}^{(C)}$ BRS 232 ^(C)
25	1144,0	1010,9	707,88	569,37	543,49	351,34
35	924,34	842,33	559,89	479,09	485,90	216,67
45	485,17	362,52	391,76	450,12	357,29	208,11
55	329,34	343,86	303,12	264,26	340,49	110,46
65	111,51	140,28	195,83	251,36	132,74	99,140

BACHMANN *et al.* (2010), observaram que o tempo de equilíbrio (t_{eq}), quando a temperatura vai de 25° a 65°C varia de 100 a 800 minutos para o grão transgênico A7321 e de 150 a 1200 minutos para o grão convencional BRS 232, com isso concluíram que a soja convencional apresentou em média um tempo de equilíbrio (t_{eq}) 52% superior.

7 CONCLUSÃO

A densidade do grão de soja não variou com o teor de umidade, sendo calculado um valor próximo ao da densidade da água (1 g/cm^3).

Os dados de concentração de equilíbrio em função do tempo obtidos para os seis cultivares estudados foram precisos e adequados, apresentando resultados equivalentes entre ensaios originais e réplicas. A análise das curvas de hidratação geradas a partir de ensaios com diferentes cultivares e temperaturas indica que um aumento na temperatura implica numa maior velocidade da hidratação, o que é verificado por requerer um menor tempo necessário para ser atingida a umidade de equilíbrio.

Pode-se observar que a concentração de água na soja atingida condição de equilíbrio não sofreu influência da variação de temperatura do banho, obtendo-se um valor médio de $0,65 \text{ g/mL}$.

O modelo empírico de Peleg representou satisfatoriamente o processo de hidratação entre as temperaturas de 25 a 65°C , utilizando-se ajustes individuais dos seus parâmetros.

Foi ajustado no modelo de Peleg dois parâmetros K_1 e K_2 . O segundo apresentou um comportamento da equação da reta para todas as cultivares com a variação da temperatura. A constante K_1 foi correlacionado com a temperatura a partir do ajuste de uma equação similar à de Arrhenius, obtendo-se ($K_{0 \text{ A7321}} = 7,9845 \text{ mL.min/g}$ e $E' = 4891,8 \text{ K}^{-1}$), ($K_{0 \text{ D.Mario}} = 2,8603 \text{ mL.min/g}$ e $E' = 4433,5 \text{ K}^{-1}$), ($K_{0 \text{ CD 231}} = 0,0010158 \text{ mL.min/g}$ e $E' = 3372,6 \text{ K}^{-1}$), ($K_{0 \text{ CD 206}} = 0,00075145 \text{ mL.min/g}$ e $E' = 3484,4 \text{ K}^{-1}$), ($K_{0 \text{ CD 215}} = 7,3046 \text{ mL.min/g}$ e $E' = 4960,2 \text{ K}^{-1}$) e ($K_{0 \text{ BRS 232}} = 7,4904 \text{ mL.min/g}$ e $E' = +4197,5 \text{ K}^{-1}$).

Em níveis superiores de temperatura, observou-se no modelo de Peleg que a temperatura influenciou mais o parâmetro K_1 do que o parâmetro K_2 . E o K_2 não variou significativamente.

A velocidade inicial de absorção de água do cultivar transgênico é aproximadamente 15% maior que a velocidade inicial de absorção de água do cultivar convencional.

O parâmetro K_s do modelo de parâmetros concentrados, coeficiente de transferência de massa aparente, cresce com o aumento da temperatura. Verificou-se ainda que o K_s médio obtido para o cultivar transgênico é 9% maior do que o K_s médio do cultivar convencional.

O tempo para o qual os grãos de soja transgênicos e convencionais atingem a condição de equilíbrio, t_{eq} , decresce acentuadamente com o aumento da temperatura, variando entre 1144,090 e 99,140 minutos na faixa de temperatura de 25 a 65°C, respectivamente.

A análise das curvas de hidratação geradas a partir de ensaios com diferentes cultivares e temperaturas indica que um aumento na temperatura implica numa maior velocidade da hidratação, o que é verificado por requerer um menor tempo necessário para ser atingida a umidade de equilíbrio.

O modelo de Peleg e o modelo de Parâmetros Concentrados apresentados neste trabalho, foram capazes de representar as principais tendências do processo de hidratação de grãos de soja.

Os dois modelos estudados pode-se correlacionar o tempo no qual a soja alcança a condição de equilíbrio em função da temperatura. Constatou-se que os modelos aplicados a um intervalo de tempo pequeno de hidratação ou a uma pequena variação da concentração, são equivalentes.

Os dois modelos utilizados neste estudo podem ser utilizados para representar e prever o processo de hidratação de grãos de soja. O modelo a ser escolhido depende dos dados existentes, tempo de hidratação e do tipo de resultados desejados.

Comparando-se os desvios quadráticos médios obtidos para os dois modelos, verificou-se que o modelo de Peleg apresentou um desvio médio para todas as temperaturas de 0,018918 e todos os cultivares estudados, enquanto que o modelo de parâmetros concentrados apresentou um desvio médio de 0,01506. Assim conclui-se que o modelo de Parâmetros Concentrados mostrou-se mais apropriado para representar o processo de hidratação de grãos de soja.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para os futuros trabalhos, a serem desenvolvidos na área de hidratação de grãos de soja, recomenda-se:

- Trabalhar com maior número de cultivares de grãos de soja transgênicos e convencionais;
- Análise da composição química dos grãos de soja transgênicos e convencional;
- Empregar maior número de modelos matemáticos para o estudo do processo de hidratação de grãos.

REFERÊNCIAS

ABU-GHANNAM, N. Modelling textural changes during the hydration process of red beans. **Journal of Food Engineering**, v. 38, p. 341 – 352, 1998.

ABU-GHANNAM, N., E MCKENNA, B. Hydration kinetics of red kidney beans. **Journal of Food Science**, v.62, n.3, p. 520–523, 1997.

AHROMRIT, A.; LEDWARD, D. A.; NIRANJAN K. High pressure induced water uptake characteristics of thai glutinous rice. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 225-233, 2006.

BACHMANN, H.; MARTELLI, L.B.; FRACASSO, A. F.; JORGE, L.M.M.; JORGE, R.M.M. Estudo comparativo da cinética de hidratação de soja convencional BRS 232 e transgênica A7321, **IX COBEQ IC**, Maringá, PR, 2010.

BARROZO, M. A. S; CALADO, V.M.A.; CALÇADA, L. A.; MASSARANI, G. Secagem de soja em leito deslizante e recirculação pneumática: influência da umidificação artificial, v. I, p. 327-337, Campinas, SP, 1991.

BAYRAM, M.; KAYA, A.; ÖNER, M. D. Changes in properties of soaking water during production of soy-bulgur. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 221-230, fev.2004a.

BAYRAM, M.; ÖNER, M. D.; KAYA, A. Influence of soaking on the dimensions and colour of soybean for bulgur production. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 331-339, abr.2004b.

BECKER, H. A.; SALLANS, H. R. A study of diffusion in solids of arbitrary shape with application to the drying of the wheat kernel, **Cereal Chemistry**, v. 32, p. 212-226, 1955.

BECKERT, O. P.; MIGUEL, M. H.; MARCOS FILHO, J. Absorção de água e potencial fisiológico em sementes de soja de diferentes tamanhos. **Scientia Agrícola**, v. 57, n.4, p 671-675, 2000.

BECKERT, O. P.; SILVA, W. R. O uso da hidratação para estimar o desempenho das sementes de soja. *Bragantina*, Campinas, v. 61, n. 1, 2002.

BELLO, M.; TOLABA, M. P.; SUAREZ, C. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 37, p. 811 – 816, 2004.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2.ed. New York: Plenum Press, 445p. 1994.

BILBAO-SAINZ, C.; ANDRÉS, A.; FITO, P. Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 68, p. 369-376, 2005.

BONETTI, L. P. **Distribuição da soja no mundo**. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981.

CALADO, V. M. A. **Modelagem e simulação de secadores em leitos fixo e Deslizante**, 1993. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro.

CAMACHO, J. L.; BOURGEUS, R.; MORALES, J.; BANAFUNZI, N. Direct consumption of the soybean. **Journal of American Oil Chemistry Society**, Champaign, p. 362-366, Mar. 1981.

CAVARIANI, C.; TOLEDO, M. Z.; RODELLA, R. A.; NETO, J. B. F.; NAKAGAWA, J. Velocidade de hidratação em função de características do tegumento de sementes de soja de diferentes cultivares e localidades. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 030-039, 2009.

CHHINNAN, M. S. Evaluation of selected mathematical models for describing thin-layer drying of in-shell pecans. **Transactions of the ASAE**, v. 27, p. 610–615 1984.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da safra Brasileira. Grãos. Safra 2010/2011, sétimo levantamento, abril/2011. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_04_07_11_02_42_boletim_abril-2011..pdf. Acesso em: 06/04/2011.

COUTINHO, M. R, OMOTO, E. S, OLIVEIRA, U. G e JORGE, L.M.M. Modelagem e Validação da Hidratação de Grãos de Soja, **XV COBEQ**, Curitiba, PR, 2004.

COUTINHO, M. R. **Modelagem, Simulação e Análise da Hidratação de Grãos de Soja**. Maringá, PR, 2006. 178 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá – UEM.

COUTINHO, M. R.; CONCEIÇÃO, W. A. S.; OMOTO, E. S.; ANDRADE, C. M. G.; JORGE, L. M. M. Novo modelo de parâmetros concentrados aplicado à hidratação de grãos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n°. 3, Campinas, 2007.

COUTINHO, M. R.; CONCEIÇÃO, W. A. S.; PARAÍSO, P. R.; ANDRADE, C. M. G.; OMOTO, E. S.; JORGE, R. M. M.; FILHO, R. M.; JORGE, L. M. M. Application of the Hsu model to soybean grain hydration. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 2010.

COUTINHO, M. R.; OMOTO, E. S. ANDRADE, C. M. G. e JORGE, L. M. M. Modelagem e Validação da Hidratação de Grãos de Soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n°. 3, p. 603-610, Campinas, 2005.

DEL VALLE, J. M.; STANLEY, D. W. e BOURNE, M. C. Water absorption and swelling in dry bean seeds, **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 16, p. 75–98, 1992.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br>>. Acesso em: 20/11/2010.

FAN, L.T.; CHU, P.S.; SHELLENBERGER, J. A. Diffusion coefficient of water in kernels of corn and sorghum, **Cereal Chemistry**, v. 40, p. 303-313, 1963.

FERRAZ, M. B. M. **Determinação de cinética de hidratação de ervilhas pisum sativum desidratadas**. Campinas, SP, 2008. 125 p. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

FOLONI, L. L.; RODRIGUES, D.; FERREIRA, F.; MIRANDA, R.; ONO, E, O. Aplicação de glifosato em pós- emergência, em soja transgênica cultivada no cerrado. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Passo Fundo-RS, n° 3, p. 47-58, 2005.

FRACASSO, F. A.; MARQUES, B. C.; ZANONCINE, B.; PINTO, H.; MARTELLI, L. B.; RIBANI, R. H.; JORGE, L. M. M.; JORGE, R. M. M. Estudo da cinética da hidratação de soja transgênica. XVIII COBEQ – **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2010.

FRIEDMAN, M.; BRANDON, D. L. Nutritional and health benefits of soy proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 49, n. 3, p. 1069-1086, 2001.

GARCIA, M. C.; MARINA, M. L.; LABORDA, F.; TERRE, M. Chemical characterization of products commercial soybean. **Food Chemistry**, v. 62, n° 3, p. 325-331, 1998.

GARCÍA-PASCUAL, P., SANJUÁN, N., BON, J., CARRERES, J. E., & MULET, A. Rehydration process of *Boletus edulis* mushroom: Characteristics and modeling, **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 1397–1404, 2005.

GOMES, P. **A soja**. 5ª ed., São Paulo: Nobel, 1986.

GONÇALVES, C. A. **Influência da temperatura no acúmulo de proteínas de reserva em sementes de soja**. Viçosa, MG, 2002. 41 p. Tese (Magister Scientie em fisiologia vegetal) – Universidade Federal de Viçosa – MG.

GOWEN, A.; ABU-GHANNAM, N.; FRIAS, J. e OLIVEIRA, J. Influence of preblanching on the water absorption Kinetics of soybeans, **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 965–971, 2007.

HALADJIAN, N.; FAYAD, R.; TOUFEILI, I.; SHADAREVIAN, S.; SIDAHMED, M. e BAYDOUN, E. pH, temperature and hydration kinetics of faba beans, **Journal of Food Processing and Preservation**, v.27, p. 9–20, 2003.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Yield and quality of soft tofu as affected by soybean physical damage and storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.116, p.4798-4805, 1998.

HSU, K. H. A diffusion model with a concentration-dependent diffusion coefficient for describing water movement in legumes during soaking, **Journal of Food Science**, v. 48, p. 618-622 e 645, 1983a.

HSU, K. H. Effect of temperature on water diffusion in soybean, **Journal of Food Science**, v. 48, p. 1364 e 1365, 1983b.

HUBNER, O. Análise da conjuntura agropecuária safra 2010/11: Soja. Disponível em: <<http://www.seab.pr.gov.br>>. Acesso em: 28/03/2011.

HUNG, T. V.; LIU, L. H.; BLACK, R. G. e TREWHELLA, M. A. Water absorption in chickpea and field pea cultivars using the Peleg model, **Journal of Food Science**, v. 58, n.4, 848–852, 1993.

INSTITUTO ADOLF LUTZ, Normas analíticas do Instituto Adolf Lutz, v.1., 3a ed., São Paulo: O Instituto, 1985.

JIDEANI, V. A.; MPOTOKWANA, S. M. Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, v. 92, p. 182 – 188, 2009.

JOVANOVICH, G.; PUPPO, M. C.; GINER, S. A. e AÑÓN, M. C. Water uptake by dehydrated soy protein isolates: Comparison of equilibrium vapour sorption and water imbibing methods, **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 331–338, 2003.

KASHANINEJAD, M.; MAGHSOUDLOU, Y.; RAFIEE, S.; KHOMEIRI, M. Study of hydration kinetics and density changes of rice (Tarom Mahali) during hydrothermal processing. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 1383-1390, 2007.

KON, S. Effect of soaking temperature on cooking and nutritional quality of beans. **Journal of Food Science**, v. 44, p. 1329-1334 e 1340, 1979.

KROKIDA, M. K. e MARINOS-KOURIS, D. Rehydration kinetics of dehydrated products, **Journal of Food Engineering**, v.57, n.1, p.1–7, 2003.

LIU, K. Current constrains in soybean food utilization and efforts to overcome them. IV WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE IV. IN: Proceedings: invited and contributed papers and posters. Chicago: University of Illions / Soybean Research & Development Council, p.409 – 418, 1999.

LIU, K. Nonfermented oriental soyfoods. In K. Liu (Ed.), Soybeans chemistry, technology, and utilization, p. 152–153. **New York: International Thomson Publishing**, 1997.

LO, W. Y-L.; STEINKRAUS, K. H.; HAND, D. B.; HACKLER, L. R.; WILKENS, W. F. Soaking soybeans before extraction as it affects chemical composition and yield of soymilk. **Food Technology**, v. 22, p.1188, 1968.

LUCAS, T.; LE RAY, D.; MARIETTE, F. Kinetics of water absorption and solute leaching during soaking of breakfast cereals. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 377-384, 2007.

MACHADO, M. F.; OLIVEIRA, F. A. R.; GEKAS, V.; SINGH, R. P. Kinetics of moisture uptake and soluble-solids loss by puffed breakfast cereals immersed in water, **International Journal of Food Science and Technology**, v. 33, 225–237, 1998.

MASKAN, M. Drying shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying, **Journal of Food Engineering**, v. 48, p.177–182, 2001.

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

MEDEIROS, L. Comparativo de custos de produção entre a soja convencional e a soja transgênica na safra 2002/2003 – Rio Grande do Sul. **ConTexto**, Porto Alegre, v. 3, n. 5, 2º semestre 2003.

MENEGATTI, A. L. A.; BARROS, A. L. M. Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.45, n.1, Brasília Jan./Mar. 2007.

MENEGUCE, B.; FARIA, R. T.; DESTRO, D.; JÚNIOR, N. S. F.; FARIA, A. P. Interação x ano para tempo de cozimento e sua correlação com a massa e percentagem de embebição em soja tipo alimento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p. 463-476, out./dez. 2005.

MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**, 1ª ed., São Paulo: ITAL, 1981.

MORAIS, A. A. C. Valor nutritivo e funcional da soja. **Revista Brasileira Nutrição clínica**, v.15, n.2, p.306-315, 2000.

NIELSEN, S.S. Digestibility of legumes proteins. **Food Technology**, Chicago, vol. 45, n. 9, p 112-114, sept. 1991.

OMOTO, E.S. **Modelagem da Hidratação de Grãos de Ervilha Segundo a Hipótese de Volume Constante**. Maringá, 2006. 124 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual do Paraná – UEM.

OMOTO, E.S.; ANDRADE, C.M.G.; JORGE, R.M.M.; COUTINHO, M.R.; PARAÍSO, P.R.; JORGE, L.M.M. Modelagem matemática e análise da hidratação de grãos de ervilha. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 12-18, 2009.

PAN, Z.; TANGRATANAVALEE, W. Characteristics of soybean as affected by soaking conditions, **Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie**, v. 36, p. 143-151, 2003.

PAPPAS, C.; TSAMI, E. e MARINOS, K. D. The effect of process conditions on the drying kinetics and rehydration characteristics of some MW-vacuum dehydrated fruits. **Drying Technology**, v. 17, p. 157–174, 1999.

PELAEZ, V.; ALBERGONI, L.; GUERRA, M. P. Soja transgênica versus soja convencional: Uma análise comparativa de custos e benefícios. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 2, p.279-309, maio/ago. 2004.

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.

PILOSOF, A. M. R.; BOQUET, R.; BATHOLOMAI, G. B. Kinetics of water uptake by food powders, **Journal of Food Science**, v. 50, p. 278–282, 1985.

QUAST, D. G. E DA SILVA, S. D. Temperature dependence of hydration rate and effect of hydration on the cooking rate of dry legumes, **Journal of Food Science**, v. 42, p. 1299–1303, 1977.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C. Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 29, n. 3, p. 373-378, 2007.

RIBANI, M. **Obtenção e aplicação de padrões de isoflavonas de soja**. Campinas, 139 p. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual de Campinas – 2008.

ROSENTHAL, A.; DELIZA, R.; CABRAL, L. M. C.; CABRAL, L. C.; FARIAS, C. A. A.; DOMINGUES, A. M. Effect of enzymatic treatment and filtration on sensory characteristics and physical stability of soymilk. **Food Control**, vol. 14, n. 3, p. 187-192, 2003.

ROSENTHAL, A.; SILVA, J. L. Alimentos sob pressão. **Engenharia de Alimentos**, v.14, p. 37-39, 1997.

SAYAR, S.; TURHAN, M.; GUNASEKARAN, S. Analysis of chickpea soaking by simultaneous water transfer and water – starch reaction. **Journal of Food Engineering**, v. 50, p. 91 – 98, 2001.

SCHMIDT, F.C.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Application of diffusive and empirical models to hydration, dehydration and salt gain during osmotic treatment of chicken breast cuts. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 553 – 559, 2009.

SEYHAN-GÜRTAS, F.; AK, M. M. e EVRANUZ E. O. Water diffusion coefficients of selected legumes grown in turkey as affected by temperature and variety, **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 25, p. 297-304, 2001.

SINGH, B. P. N.; KULSHRESTHA, S. P. Kinetics of water sorption by soybean and pigeonpea grains. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 6, p. 1538 -1541 e 1544, 1987.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219 – 231, 2003.

SOPADE P.A.; XUN, P. Y.; HALLEY, P.J.; HARDIN, M. Equivalence of the Peleg, Pilonis and Singh-Kulshrestha models for water absorption in food, **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 730-734, 2007.

SOPADE, P. A. e OBEKPA, J. A. Modelling Water Absorption in Soybean, Cowpea and Peanuts at Three Temperatures Using Peleg's Equation. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 4, p. 1085-1087, 1990.

SOPADE, P. A.; AJISEGIRI, E. S.; BADAU, M. H. The use of Peleg's equation to model water absorption in some cereal grains during soaking, **Journal of Food Engineering**, v. 15, p. 269–283, 1992.

TANG, J.; SOKHANSANJ, S. e SOSULSKI, F. W. Moisture-absorption characteristics of Laird lentils and hard shell seeds. **Cereal Chemistry**, v. 71, p.423- 428, 1994.

THANOS, A.J., Water changes in canned dry peas and beans during heat processing. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 33, p. 539-545, 1998.

TSUKAMOTO, C.; KUDOU, S.; KIKUCHI, A.; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; ONO, T.; KITAMURA, K.; OKUBO, K. Isoflavones in soybean products: composition, concentration, and physiological effects. **Documentos da Embrapa**, v.169, n.1, p.9-14, 2001.

TURHAN, M.; SAGOL, S. Abrupt changes in the rates of processes occurring during hydrothermal treatment of whole starchy foods around the gelatinization temperature – a review of the literature. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 365 – 371, 2004.

TURHAN, M.; SAYAR, S.; GUNASEKARAN, S. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 153-159, 2002.

WANG, H. L.; SWAIN, E. W.; HESSELTINE, C. W. e HEATH, H. D. Hydration of whole soybeans affects solids losses and cookint quality. **Journal of Food Science**, v. 44, p. 1510-1513, 1979.

WILSON, L. A.; MURPHY, P. A.; GALLAGHER, P. Soyfood product markets in Japan: U.S. export opportunities. **Food Science and Human Nutrition**. Departament, Iowa State University, Ames, IA, 1992.

WOODSTOCK, L.W. Seed imbibition: a critical period for successful germination. **Jornal of seed technology**, v.12, n.1, p.1-15, 1988.

VIEIRA, C.R.; CABRAL, L.C.; PAULA, A.C.O. Caracterização física e tecnológica de seis cultivares de soja plantadas no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 3, Campinas, 1997.

ANEXO A

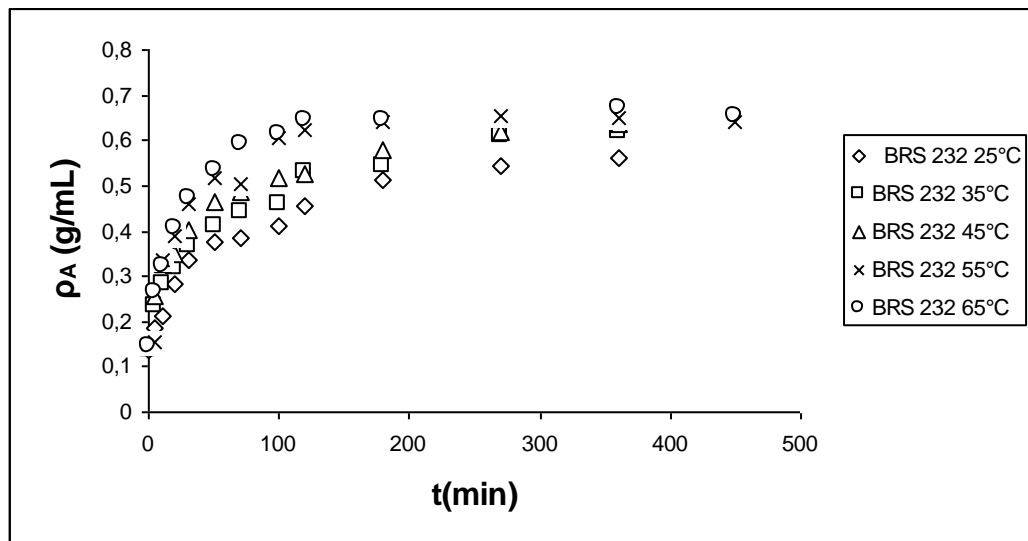


FIGURA A1 - DADOS DE HIDRATAÇÃO DO CULTIVAR CONVENCIONAL BRS 232 PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 35°, 45°, 55° E 65°C.

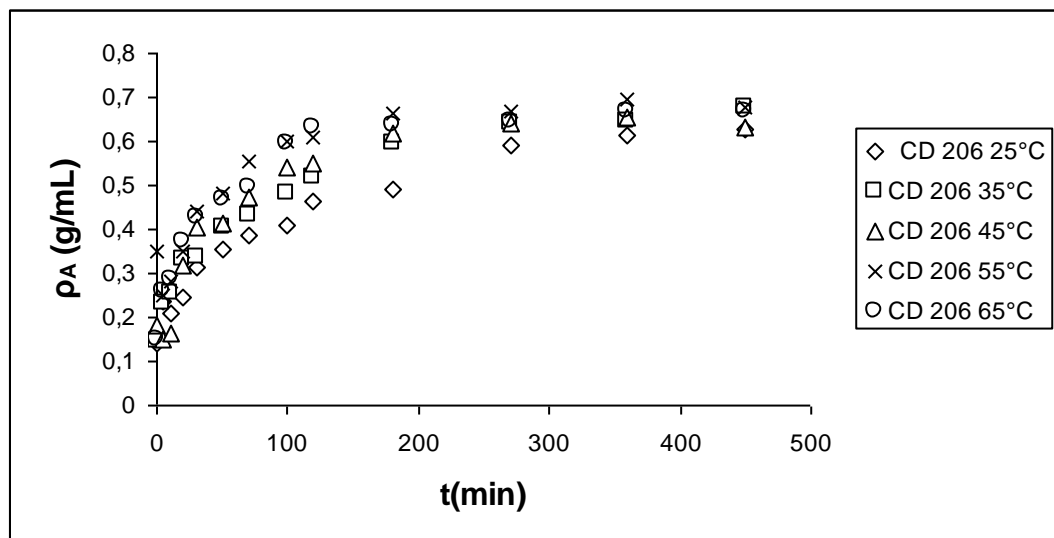


FIGURA A2 - DADOS DE HIDRATAÇÃO DO CULTIVAR CONVENCIONAL CD 206 PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 35°, 45°, 55° E 65°C.

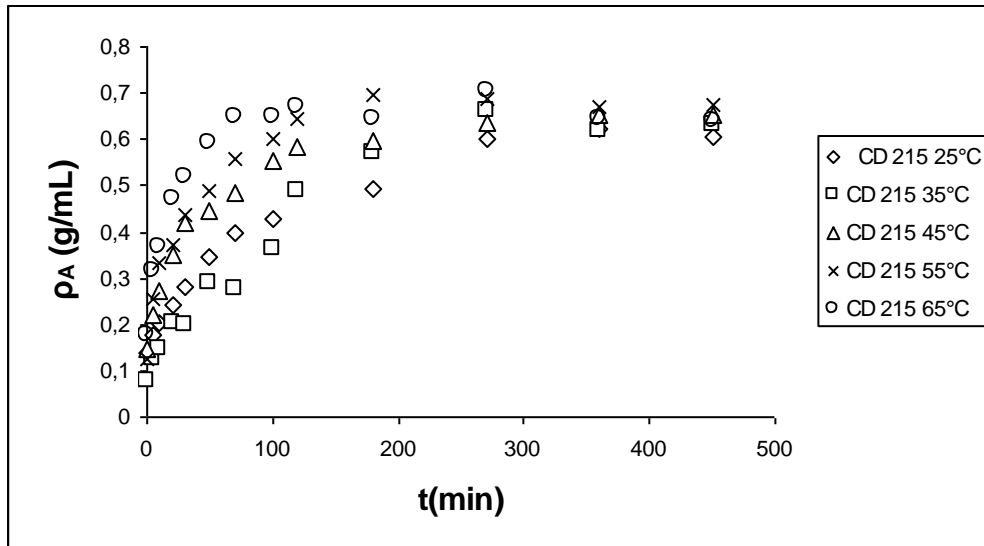


FIGURA A3 - DADOS DE HIDRATAÇÃO DO CULTIVAR CONVENCIONAL CD 215 PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 35°, 45°, 55° E 65°C.

ANEXO B

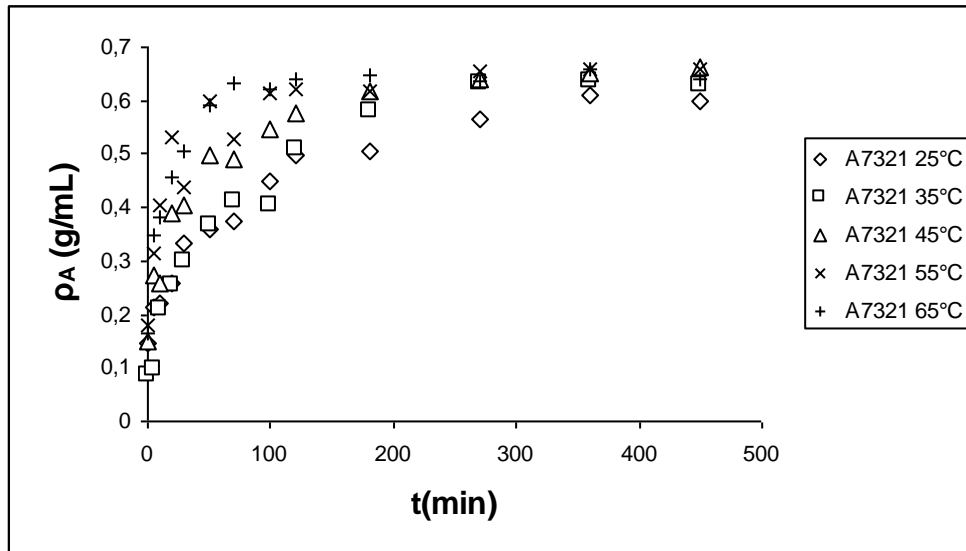


FIGURA B1 - DADOS DE HIDRATAÇÃO DO CULTIVAR TRANSGÊNICO A7321 PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 35°, 45°, 55° E 65°C.

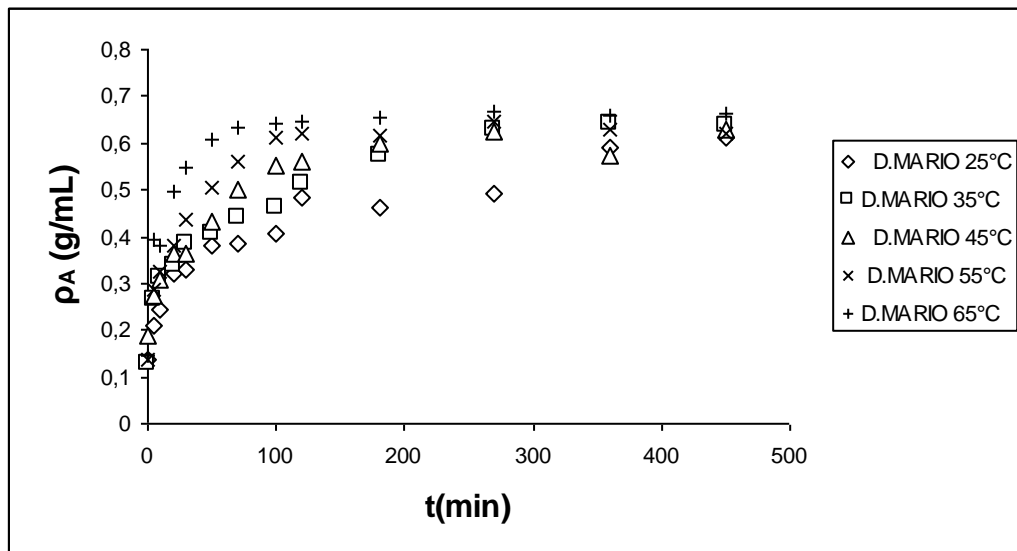


FIGURA B2 - DADOS DE HIDRATAÇÃO DO CULTIVAR TRANSGÊNICO D.MARIO PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 35°, 45°, 55° E 65°C.

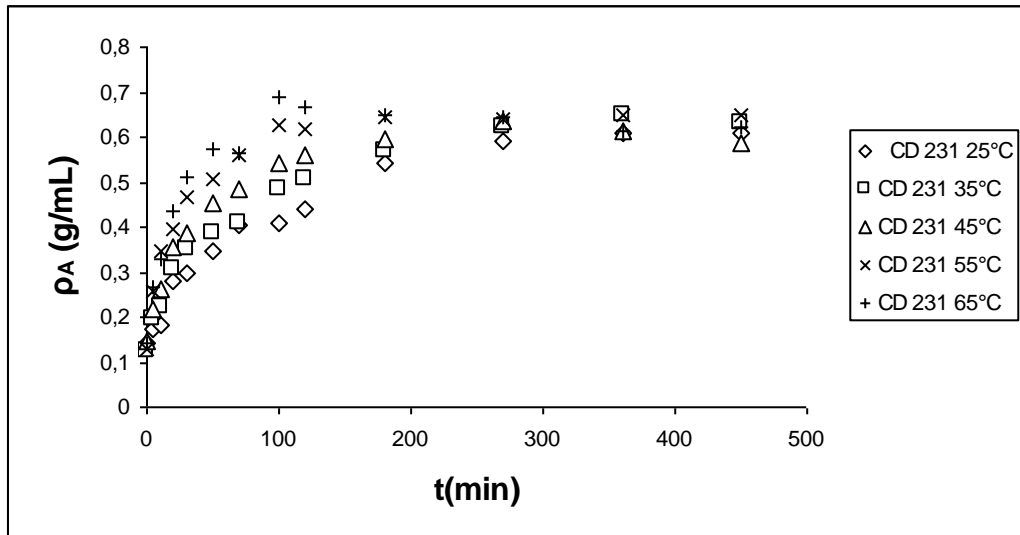


FIGURA B3 - DADOS DE HIDRATAÇÃO DO CULTIVAR TRANSGÊNICO CD 231 PARA AS TEMPERATURAS DE 25°, 35°, 45°, 55° E 65°C.

Durante a realização deste trabalho foram publicados e/ou submetidos até o presente momento os trabalhos citados a seguir. Anexo a este documento encontra-se uma cópia de cada trabalho.

Resumos publicados em anais de eventos científicos

Título: Avaliação e comparação de propriedades durante o processo de hidratação de soja transgênica e convencional.

Evento: SLACA – Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos

Local/Ano: Campinas – SP/ 2009.

Título: Estudo comparativo de propriedades de soja transgênica e convencional durante processo de hidratação.

Evento: AUGM – XVII Jornadas de Jovens Investigadores.

Local/Ano: Universidad Nacional de Entre Ríos Concordia. Entre Ríos República Argentina/ 2009.

Título: Estudo comparativo de propriedades de soja transgênica e convencional durante processo de hidratação.

Evento: EVINCI – Evento de Iniciação Científica.

Local/Ano: Curitiba – PR/ 2009.

Título: Estudo comparativo da influência da temperatura no processo de hidratação de soja transgênica e convencional (Submetido).

Evento: AUGM – XVII Jornadas de Jovens Investigadores.

Local/Ano: Argentina – 2010.

Título: Cinética de hidratação de soja transgênica e convencional.

Evento: EVINCI – Evento de Iniciação Científica.

Local/Ano: Curitiba – PR/ 2010.

Artigo completo em anais de congresso

Título: Estudo da cinética da hidratação de soja transgênica (aceito).

Evento: COBEQ – XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química.

Local/Ano: Foz do Iguaçu – PR/ 2010.

Título: Estudo comparativo da cinética de hidratação de soja Convencional BRS 232 e Transgênica A7321.

Evento: COBEQ IC – IX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – Iniciação Científica.

Local/Ano: Maringá – PR/ 2011.

ANEXO C

Título: Avaliação e comparação de propriedades durante o processo de hidratação de soja transgênica e convencional.

Evento: SLACA – Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos

Local/Ano: Campinas – SP/ 2009.

AValiação e Comparação de Propriedades Durante o Processo de Hidratação de Soja Transgênica e Convencional

FRACASSO, A. F. (1); KOTOVICZ, V. (1); GASCHI, P. (1); MESOMO, C.M. (1);
ZANONCINE, B. G. (2); RIBANI, R. H. (1); MASSON, M. L. (1); MAFRA, M. R. (1);
JORGE, L. M. M. (1); JORGE, R. M. M. (1,2)

- (1) Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos – Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal do Paraná – Curitiba, PR, Brasil. E-mail: rjorge@ufpr.br.
(2) Programa PET SESu – Engenharia Química – Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal do Paraná – Curitiba, PR, Brasil.

O processo de hidratação de grãos modifica a textura, afetando a subsequente etapa de moagem e o processo de extração de constituintes de interesse, reduz ou elimina fatores antinutricionais e melhora a digestibilidade. A capacidade calorífica (C_p) é uma propriedade termodinâmica importante para dimensionar equipamentos que envolvem transferência de calor e massa, como aparelhos de desidratação e esterilização e para otimizar processos térmicos. Este trabalho teve como objetivo determinar e comparar a capacidade calorífica, o volume e a densidade dos grãos de soja das cultivares BRS 133 e BRS 255 RR (transgênica) durante o processo de hidratação. O teor de umidade, cinzas, gordura e proteína dos grãos foi determinado segundo metodologias do Instituto Adolfo Lutz. No experimento de hidratação foram colocadas amostras de 50 gramas de grãos de soja em imersão em um béquer de 400 mL, contendo 250 mL de água de torneira ($\text{pH}: 7,0 \pm 0,2$) aquecida à temperatura constante de 60 °C em um banho de água termostático, por períodos de 0, 30, 60 e 90 minutos. Após cada tempo de hidratação específico, as amostras eram secadas superficialmente e pesadas, em seguida determinado o volume e a umidade. A capacidade calorífica (C_p) foi determinada segundo Heldman e Singh (2001). Quanto maior o tempo de hidratação, maior a quantidade de água absorvida e, conseqüentemente, o valor de C_p aumentou. Os aumentos foram mais significativos no menor tempo de hidratação. Os valores de C_p determinados experimentalmente foram 1,726; 2,919; 3,085 e 3,118 kJ/Kg °C para a cultivar BRS 133 e 1,757; 2,869; 3,090 e 3,141 kJ/Kg °C para a cultivar BRS 255 RR, nos tempos 0, 30, 60 e 90 minutos de hidratação, respectivamente. A densidade dos grãos diminuiu com o processo de hidratação, permanecendo praticamente constante após 30 minutos de hidratação, com valor médio de 1,07 g/cm³ para ambas as cultivares.

Palavras-chave: Soja, hidratação, capacidade calorífica

ANEXO D

Título: Estudo comparativo de propriedades de soja transgênica e convencional durante processo de hidratação.

Evento: AUGM – XVII Jornadas de Jovens Investigadores.

Local/Ano: Universidad Nacional de Entre Ríos Concordia. Entre Ríos República Argentina/ 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NÚCLEO DISCIPLINAR: Agroalimentário

TÍTULO DO TRABALHO: ESTUDO COMPARATIVO DE SOJA TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL DURANTE O PROCESSO DE HIDRATAÇÃO.

AUTORES: Bruno Giuliano Zanoncine, Aline Franciele Fracasso, Rosemary Ribani

Hofman, Luiz Mário de Matos Jorge, Regina Maria Matos Jorge.

brunozanoncine@hotmail.com, aline_fracasso@hotmail.com, ribani@ufpr.br,

lmnj@deq.uem.br, rjorge@ufpr.br

Palavras-chaves: hidratação de soja, soja transgênica, transferência de massa.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é um grão rico em proteínas, cultivado como alimento tanto para humanos quanto para animais. Ela pertence à família Fabaceae (leguminosa), assim como o feijão, a lentilha e a ervilha (EMBRAPA, 2009). Embora diferentes autores ainda discordem quanto ao local específico de onde a soja cultivada emergiu, todos concordam que a sua área de origem se localiza na região leste da Ásia (MIYASAKA & MEDINA, 1981).

Hoje a soja é a mais importante oleaginosa em produção sob cultivo extensivo e entre os produtos agrícolas que presentemente alimentam o mundo, a soja vem ocupando uma posição de crescente destaque e extraordinária expansão. A soja produz mais proteína por hectare do que qualquer outra planta de lavoura. E as qualidades como fonte de calorias faz desta leguminosa o alimento básico potencial na luta contra o espectro da fome. Portanto, tanto o desenvolvimento de novas áreas de produção quanto a difusão do consumo de soja podem ser fundamentais para o suprimento alimentar diário de grande parte da população nas diferentes latitudes (MIYASAKA & MEDINA, 1981). A soja também é considerada um alimento funcional porque além de funções nutricionais básicas, produz efeitos benéficos à saúde, reduzindo os riscos de algumas doenças crônicas e degenerativas. É rica em proteínas de boa qualidade, possui ácidos graxos poliinsaturados e compostos fitoquímicos como: isoflavonas, saponinas, fitatos, dentre outros. Também é uma excelente fonte de minerais como: cobre, ferro, fósforo, potássio, magnésio, manganês e vitaminas do complexo B (EMBRAPA, 2009).

Suas aplicações são diversas, dando origem a produtos e subprodutos muito usados pela agroindústria, indústria química e de alimentos. A proteína de soja é usada como nutriente e como produto funcional em produtos de panificação, derivados de carne, misturas

com cereais, formulações preparadas, bebidas, alimentação para bebês e alimentos dietéticos. A soja também é muito usada para alimentação animal, pela indústria de adesivos, adubos, formulador de espumas, fabricação de fibra, revestimento, papel e emulsão de água para tintas. Porém seu uso mais conhecido é como óleo refinado, obtido a partir do óleo bruto. Nesse processo, também é produzida a lecitina, um agente emulsificante, muito usada na fabricação de salsichas, maioneses, achocolatados, entre outros produtos. (EMBRAPA, 2009)

Atualmente não podemos falar de soja sem citar sua versão transgênica. A mais conhecida e plantada comercialmente é uma planta que recebeu, por meio de técnicas da biotecnologia, um gene de outro organismo, mais especificamente uma bactéria do solo conhecida por *Agrobacterium* (EMBRAPA, 2009) capaz de sintetizar um composto que fornece tolerância a um herbicida amplamente utilizado no controle de plantas daninhas: o glifosato. Este herbicida pode então ser utilizado em qualquer fase da lavoura, o que facilita os tratos culturais e diminui a aplicação de herbicidas, promovendo uma redução no custo de produção (MENEGATTI, 2007).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja. Na safra 2007 a 2008, a cultura ocupou uma área de 21,3 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 60,0 milhões de toneladas. Não existem estatísticas oficiais a respeito da relação entre produção de soja convencional e transgênica no Brasil. No entanto, há diversas estimativas que sinalizam que a área cultivada com soja transgênica, atualmente situa-se entre 50% e 58% da área total cultivada com a oleaginosa. Na safra 2008 a 2009 estima-se que o volume produzido de soja transgênica seja de 31,1 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2009).

Nesse trabalho é abordada a hidratação da soja, que é um processo freqüentemente utilizado em diversos processos tais como o cozimento e a extração de algum constituinte de interesse e também na produção de alimentos tradicionais derivados de soja como o extrato de soja e o tofu (COUTINHO, 2006). Além destas operações, a umidificação também está presente em estudos de secagem de cereais em escala de bancada (CALADO, 1993 *apud* COUTINHO, 2006; BARROZO *et al.*, 1991 *apud* COUTINHO, 2006) e da capacidade germinativa destes em função do teor de umidade inicial (BECKERT *et al.*, 2000).



Figura 1 – À esquerda colheita da soja, ao centro uma lavoura de soja e à direita grãos de soja transgênica (BRS255RR).(EMBRAPA, 2009).

OBJETIVO

Este trabalho tem como finalidade estudo comparativo do processo de hidratação de grãos de soja transgênica e convencional. Neste estudo é ajustado um modelo transiente do processo de hidratação.

METODOLOGIA

Amostras de soja BRS255RR (transgênica) e CD215 (convencional) foram fornecidas pela CLASPAR. No laboratório de análises físico-químicas do departamento de Engenharia Química da UFPR foram feitos os ensaios de hidratação.

Tanto para a soja transgênica quanto para a convencional, colocou-se aproximadamente 300g de amostra, divididas em béqueres de 400 mL com 250 mL de água de torneira, em banho de água termostático agitado e mantido a 60°C, Modelo Dubnoff 304. Amostras de aproximadamente 15g eram removidas nos períodos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 180 minutos, secadas superficialmente e pesadas. Em seguida o volume e a umidade foram avaliados

Determinação de volume

Parte de cada uma das amostras retiradas do banho foi destinada para avaliação do volume. A massa e o número de grãos foram computados e em seguida adicionados a uma proveta de 25 mL. O volume foi determinado por deslocamento do volume de água em proveta.

Determinação de umidade

Para a determinação a determinação da umidade adotou-se a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985). Desta forma, aproximadamente 6g, foi utilizada para averiguar o teor de umidade. Os grãos foram pesados e depois enviados a uma estufa modelo SOC FABBE TH856 onde ficavam 24h em uma temperatura de 105-110°C. Na sequência, as amostras eram resfriadas em um dessecador e pesadas. No cálculo da umidade em base úmida (X_{bu}) foi empregada a Equação 1

$$\% X_{bu} = \frac{100A}{P} \quad (1)$$

Onde:

A = perda de massa de água da amostra

P = massa da amostra em base úmida.

Determinação da concentração mássica de água

Calculou-se a concentração mássica de água na soja (ρ_A) a partir da Equação 1, conhecendo-se X_{bu} e a densidade do grão de soja.

$$\rho_A = X_{bu} \cdot \rho_{soj} \quad (2)$$

Modelagem matemática

Foi empregado o modelo matemático apresentado por Omoto *et al.* (2009). Omoto *et al.* (2009) partiu de um balanço de massa em regime transiente para a água contida na ervilha e, considerando-se a concentração de água uniforme dentro do grão, obtém-se a Equação 3, a qual é a base do modelo matemático desenvolvido. Esta equação representa a variação da massa de água no grão ($\rho_A V$) com o tempo (t). Sendo A, a área externa do grão; V o volume do grão; e N_A o fluxo mássico de água ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$).

$$\frac{d(\rho_A V)}{dt} = N_A A \quad (3)$$

Omoto *et al.* (2009) considerou o volume constante, a geometria esférica no grão com raio r_o e definiu o fluxo mássico como sendo $N_A = K_s(\rho_{eq} - \rho_A)$. Mediante estas considerações chegou à equação final do modelo, descrita pela Equação 4. Este modelo apresenta dois parâmetros: o coeficiente de transferência de massa, K_s ($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$) e a concentração de água no grão no equilíbrio, ρ_{eq} ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$). O modelo pode ser resolvido admitindo-se que no tempo $t=0$, a

concentração de água no grão é uniforme e conhecida, $\rho_A = \rho_{Ao}$. A concentração de água no grão no equilíbrio, ρ_{Aeq} pode ser estimada a partir dos dados experimentais. Para isto, identifica-se o valor de umidade na faixa em que esta permanece invariante no tempo.

$$\frac{d(\rho_A)}{dt} = \frac{3K_s}{r_o} (\rho_{Aeq} - \rho_A) \quad (4)$$

Integrando a Equação 4, considerando-se que tanto ρ_{Aeq} como K_s seja constantes para uma dada temperatura de hidratação resulta na Equação 5.

$$\ln \theta = \ln \left(\frac{\rho_{Aeq} - \rho_A}{\rho_{Aeq} - \rho_{Ao}} \right) = - \frac{3K_s}{r_o} t \quad (5)$$

A Equação 5 representa o modelo através de uma equação diferencial ordinária de primeira ordem com dois parâmetros: o coeficiente de transferência de massa (K) e a concentração mássica de água no equilíbrio (ρ_{eq}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais da hidratação dos grãos de soja foram plotados e apresentados na Figura 2. Esta figura mostra a evolução da umidade em base úmida dos grãos transgênicos e convencionais. No instante inicial a umidade era de aproximadamente 12% e a partir de um tempo em torno de 90 minutos. Observa-se que as amostras atingiram o equilíbrio, na região onde a curva de umidade tende a uma assíntota horizontal indicando um valor de umidade aproximado de 60%.

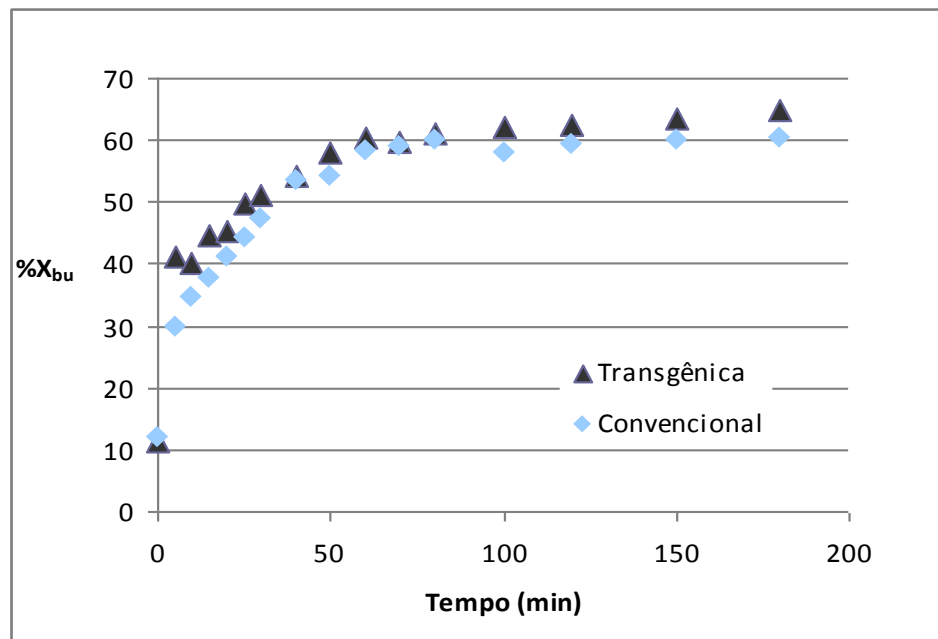


Figura 2 – Variação da umidade em base úmida da soja durante o processo de hidratação.

A Figura 3 apresenta o incremento de volume do grão de soja transgênico e convencional durante a hidratação. Nota-se que assim como na análise da variação da umidade em base úmida, a maior variação do volume ocorre nos primeiros 90 minutos e após este tempo a curva tende a uma assíntota horizontal. Observa-se em virtude dos tamanhos iniciais de cada um dos grãos, o tamanho final do grão transgênico é maior do que o grão convencional, verificando-se que ambos apresentaram um aumento de 20% de seu volume.

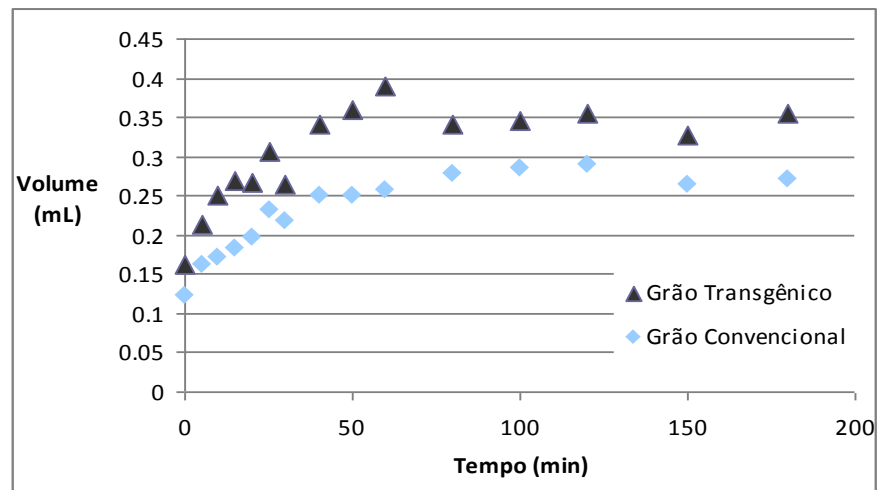


Figura 1 – Variação do volume do grão de soja durante o processo de hidratação.

Outro parâmetro analisado foi a variação da densidade dos grãos durante o processo de hidratação, exposta na Figura 4. Como o valor da densidade do grão, quer seja transgênico ou convencional, é próximo ao valor da densidade da água, verificou-se que durante a hidratação o valor da densidade do grão não sofre alteração significativa.

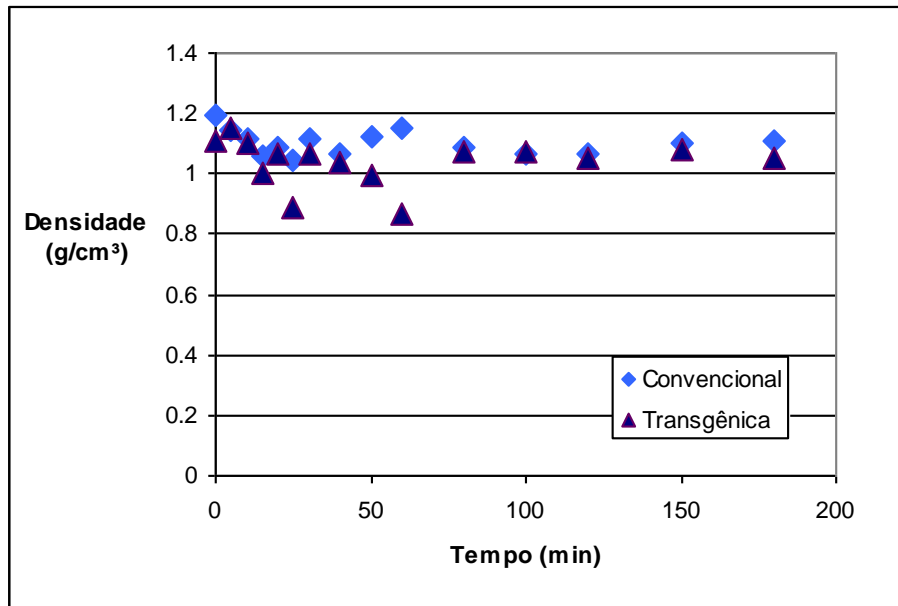


Figura 4 – Variação da densidade do grão de soja durante a hidratação.

Para a estimativa dos dois parâmetros do modelo: coeficiente de transferência de massa (K) e a concentração mássica de água no equilíbrio (ρ_{eq}), os dados experimentais de hidratação a 60°C foram ajustados numericamente pela minimização da soma dos resíduos quadráticos. Os resultados obtidos mediante regressão linear são ilustrados nas Figuras 5 e 6.

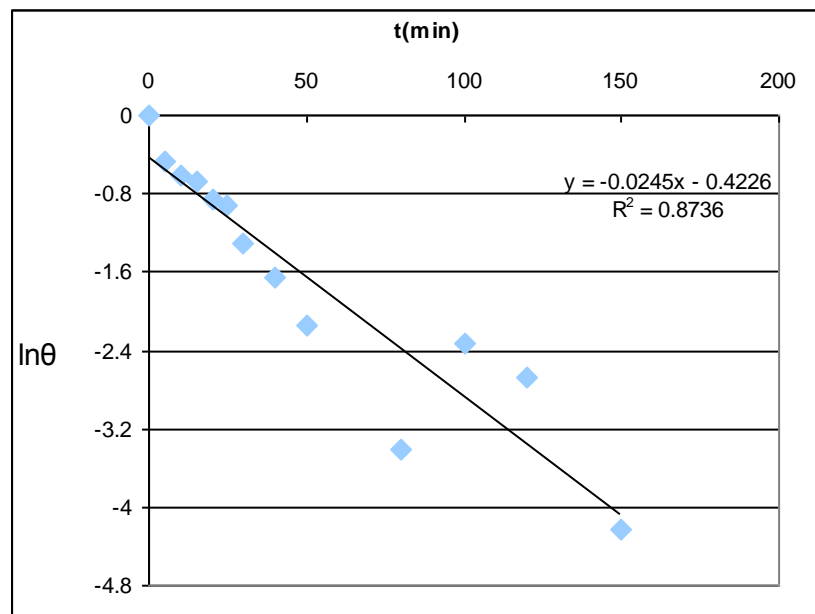


Figura 5– Ajuste do modelo de primeira ordem para a soja convencional

Mediante ajuste linear do modelo para a soja convencional obteve-se a seguinte equação: $y = -0,0245x - 0,4226$, que permitiu o cálculo do coeficiente de transferência de massa resultando num valor de aproximadamente $K_s = 0,0025 \text{ cm/min}$.

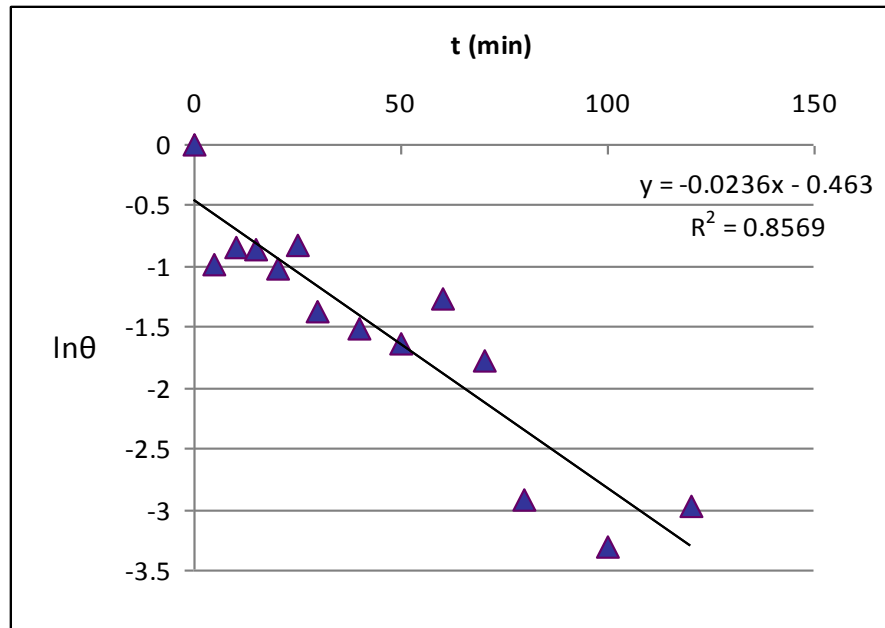


Figura 6- Ajuste do modelo de primeira ordem para a soja transgênica

A equação da reta $y = -0,0236x - 0,463$ obtida na Figura 6 permitiu o cálculo do coeficiente de transferência de massa para a soja transgênica que tem o valor de aproximadamente $K_s = 0,0027$ cm/min.

Tabela 1 – Influência do tipo de soja sobre o K_s

	Soja Transgênica BRS255RR	Soja Convencional CD215	
T (C°)	$K_s \times 10^3$ (cm/min)	$K_s \times 10^3$ (cm/min)	Diferença $\times 10^3$ (cm/min)
60	26,56	25,14	0,42

Analisando os valores da Tabela 1, observa-se que os coeficientes de transferência de massa de água para os dois tipos de soja apresentaram uma diferença de $0,42 \times 10^3$ cm/min. Esta diferença corresponde a um valor da difusividade da água na soja transgênica 8% maior, do que o valor obtido para a soja convencional

CONCLUSÕES

O ganho de umidade durante o processo de hidratação é similar para os grãos de soja transgênica e convencional estudados. A densidade do grão não varia de forma apreciável durante o processo.

O coeficiente de transferência de massa da soja transgênica é maior do que o da convencional em 8% o que sugere um tempo de processamento menor desses grãos quando estiver envolvida uma etapa de hidratação

Conclui-se que o comportamento do grão de soja no processo de hidratação é distinto para os dois tipos de cultivares experimentados. Recomenda-se que a indústria, ao utilizar soja nos seus processos investigue previamente qual tipo de grão está utilizando, pois como existe diferenças de desempenhos na etapa de hidratação o processamento do grão deve ser diferenciado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROZO, M. A. S; CALADO, V.M.A.; CALÇADA, L.A.; MASSARANI, G. **Secagem de soja em leito deslizante e recirculação pneumática: influência da umidificação artificial**, v. I, p. 327-337, Campinas, SP, 1991.
- BECKERT, O. P; MIGUEL, M.H.; MARCOS FILHO, J. Absorção de água e potencial fisiológico em sementes de soja de diferentes tamanhos, **Scientia Agrícola**, v. 57, n.4, p 671-675, 2000.
- CALADO, V. M. A. **Modelagem e simulação de secadores em leitos fixo e deslizante**. Tese D.Sc., COPPE, UFRJ,1993.
- COUTINHO, M. R. **Modelagem, Simulação e Análise da Hidratação de Grãos de Soja**, 178 p., Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, PR, 2006.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br>>. Acesso em: 17 agosto de 2009.
- INSTITUTO ADOLF LUTZ, **Normas analíticas do Instituto Adolf Lutz**, v.1., 3a ed., São Paulo:O Instituto, 1985.
- MENEGATTI, A. L. A.; BARROS, A. L. M. Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, p. 163-183, 2007.
- MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**, 1ª ed., São Paulo: ITAL, 1981.
- OMOTO, E.S.; ANDRADE C.M.G; JORGE, R.M.M.; COUTINHO, M.R.; PARAÍSO, P.R.; JORGE, L.M.M. Modelagem matemática e análise da hidratação de grãos de ervilha **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, V. 29(1), p. 12-18, Campinas, 2009.

ANEXO E

Título: Estudo comparativo de propriedades de soja transgênica e convencional durante processo de hidratação.

Evento: EVINCI – Evento de Iniciação Científica.

Local/Ano: Curitiba – PR/ 2009.

**Nº 000 ESTUDO COMPARATIVO DE PROPRIEDADES DE SOJA TRANSGÊNICA
E CONVENCIONAL DURANTE O PROCESSO DE HIDRATAÇÃO**

Aluno de Iniciação Científica: Bruno Giuliano Zanoncine (PET SESu)

Nº de Registro do Projeto de Pesquisa no BANPESQ/THALES: 2009000001

Orientador: Regina Maria Matos Jorge

Co-Orientador: Luiz Mário de Matos Jorge, Rosemary Hoffmann Ribani

Colaborador: Aline Francielle Fracasso, Priscila Gaschi, Valesca Kotovicz

Departamento: Engenharia Química **Setor:** Tecnologia

Palavras-chave: hidratação, soja transgênica, transferência de massa.

Área de Conhecimento: 5.07.02.00-9

A hidratação de grãos de soja é uma etapa da produção de alimentos derivados de soja como o extrato de soja e o tofu. O processo de hidratação modifica a textura característica dos grãos e a extração de proteína. As mudanças na textura são devido à absorção de água durante a umidificação afetando a subsequente moagem e o processo de extração. O processo de hidratação de grãos influencia as características fisiológicas do grão, a extração de algum constituinte de interesse, o processo de cozimento, a redução ou até mesmo resulta na eliminação de fatores antinutricionais existentes nos grãos e influencia na melhora da digestibilidade. Foram analisadas duas amostras de cultivares de soja doadas pela Embrapa: BRS 133 e BRS 255 RR, sendo esta última transgênica. O teor de umidade, cinzas, gordura e proteína dos grãos foram determinados segundo metodologias do Instituto Adolfo Lutz. O teor de carboidratos foi determinado por diferença. No experimento de hidratação foram colocadas amostras de 50 gramas de grãos de soja em imersão em um béquer de 400 mL, contendo 250 mL de água de torneira (pH: $7,0 \pm 0,2$) aquecida à temperatura constante de 60°C em um banho de água termostático, por períodos de 30, 60 e 90 minutos. Após cada tempo de hidratação específico, as amostras eram removidas, secadas superficialmente e pesadas, em seguida determinado o volume e a umidade. A capacidade calorífica (C_p) foi determinada segundo procedimento de literatura. Quanto maior o tempo de hidratação, maior a quantidade de água absorvida e, conseqüentemente, o valor do C_p aumentou. Os aumentos foram mais significativos no menor tempo de hidratação. A densidade dos grãos diminuiu com o processo de hidratação para ambos cultivares.

ANEXO F

Título: Estudo da cinética da hidratação de soja transgênica (em fase de revisão).

Evento: COBEQ – XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química.

Local/Ano: Foz do Iguaçu – PR/ 2010.



ESTUDO DA CINÉTICA DA HIDRATAÇÃO DE SOJA TRANSGÊNICA

A. F. FRACASSO¹, B. C. MARQUES¹, B. ZANONCINE¹, H. PINTO¹, L. B. MARTELLI¹, L. M. M. JORGE², R. H. RIBANI¹, R. M. M. JORGE¹

¹Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Química
e-mail: rjorge@ufpr.br

²Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química
e-mail: lmmj@deq.uem.br

RESUMO – Este trabalho apresenta o estudo experimental e cinético do processo de hidratação de grãos de soja transgênica (BRR 225 RR). A importância da hidratação de grãos consiste na modificação da textura característica dos grãos o que favorece a moagem e subsequente etapa de extração. Foram obtidas curvas cinéticas de hidratação de soja para quatro níveis de temperatura. A análise destas curvas indica que a temperatura exerce uma grande influência sobre a velocidade e o tempo de hidratação da soja transgênica. Neste estudo foram empregados dois modelos: o empírico de Peleg e o modelo fenomenológico de parâmetros concentrados desenvolvido por HSU, para o ajuste dos dados experimentais de hidratação. Verificou-se que os dois modelos representaram adequadamente o processo de hidratação, sendo que o modelo de HSU apresentou um melhor ajuste.

PALAVRAS-CHAVE: Hidratação, grãos, soja transgênica, transferência de massa

1. INTRODUÇÃO

Hoje a soja é a mais importante oleaginosa em produção sob cultivo extensivo e entre os produtos agrícolas que presentemente alimentam o mundo, a soja vem ocupando uma posição de crescente destaque e extraordinária expansão (MIYASAKA & MEDINA, 1981). É rica em proteínas de boa qualidade, possui ácidos graxos poliinsaturados e compostos fitoquímicos como: isoflavonas, saponinas, fitatos, dentre outros. Também é uma excelente fonte de minerais como: cobre, ferro, fósforo, potássio, magnésio, manganês e vitaminas do complexo B (EMBRAPA, 2010).

Atualmente não podemos falar de soja sem citar sua versão transgênica. A

engenharia genética trabalha com a manipulação do DNA, criando novas características para o ser vivo, ou seja, trocando a ordem dos genes ou introduzindo um novo gene, alheio à composição original. O gene modificado é chamado de transgene, daí o termo “transgênico” para definir o novo ser vivo que é gerado desta manipulação, também conhecido como GM, geneticamente modificado (RIBANI, 2008).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja. Não existem estatísticas oficiais a respeito da relação entre produção de soja convencional e transgênica no Brasil. No entanto, há diversas estimativas que sinalizam que a área cultivada com soja transgênica, atualmente situa-se entre 50% e 58% da área total cultivada com a oleaginosa. Na safra 2008/2009 estima-se que o volume



produzido de soja transgênica tenha sido de 31,1 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2010).

Nesse trabalho é abordada a hidratação da soja transgênica, que é uma operação freqüentemente utilizada em diversos processos tais como o cozimento e a extração de algum constituinte de interesse e também na produção de alimentos tradicionais derivados de soja como o extrato de soja, o leite de soja e o tofu (COUTINHO 2006). No caso de sementes como a soja os principais componentes químicos responsáveis pela embebição e aumento de tamanho, são as proteínas, e, em menor intensidade, a celulose e substâncias pécticas (BECKER *et al.*, 2000).

A umidificação também está presente como etapa importante em estudos de secagem de cereais em escala de bancada (CALADO, 1993 *apud* COUTINHO, 2006; BARROZO *et al.*, 1991 *apud* COUTINHO, 2006) assim como em estudo da capacidade germinativa dos grãos em função do teor de umidade inicial (BECKERT *et al.*, 2000).

Segundo COUTINHO *et al* (2010), o processo de imersão é importante durante o processamento de outros alimentos como na parboilização do arroz, na preparação da farinha de sorgo, e na produção de grãos enlatados, como ervilhas e milho. Além disso, a hidratação de grãos reduz o tempo de cozimento, minimiza as perdas, e melhora a qualidade dos produtos obtidos. A Absorção de água pelos grãos de soja durante a embebição depende principalmente do binômio tempo e temperatura.

Modelos que representam a hidratação de grãos têm sido desenvolvidos para prever o tempo necessário para obter o teor de umidade desejado em uma determinada temperatura, o que representa o comportamento dinâmico do processo de imersão. Estes modelos podem ser basicamente empíricos ou fenomenológicos (COUTINHO *et al.*, 2010).

Os modelos empíricos geralmente são obtidos a partir de simples correlações matemáticas dos dados experimentais. Desta forma, Peleg propôs um modelo empírico na tentativa de simplificar a descrição da absorção de água em grãos e cereais. Esse modelo tem sido utilizado, satisfatoriamente, por diversos pesquisadores para representação desse fenômeno (RESENDE & CORRÊA, 2007). Por sua vez, os modelos fenomenológicos consideram as etapas elementares de transferência de massa por difusão e/ou convecção. Os modelos podem ser de parâmetros concentrados ou distribuídos e, geralmente, representam as principais tendências do processo, mesmo fora das condições experimentais em que foram validados. Os modelos de parâmetros concentrados não contemplam variações espaciais das propriedades físicas no sistema, enquanto que os de parâmetros distribuídos normalmente as representam, podendo, ambos, ser utilizados para simular o comportamento do grão durante a hidratação (COUTINHO *et al.*, 2007).

Neste trabalho foi utilizado um modelo matemático fenomenológico de parâmetros concentrados (HSU, 1983) e o modelo empírico de Peleg (PELEG, 1988) para a hidratação dos grãos de soja que contempla a variação do volume dos grãos de soja durante o processo. Estes modelos foram validados a partir de dados experimentais em quatro temperaturas 25°, 35°, 45° e 65° C.

2. MATERIAIS E METÓDOS

A amostra de soja BRR 225 transgênica foi cedida pela CLASPAR. As análises foram realizadas no laboratório de analítica do departamento de Engenharia Química na Universidade Federal do Paraná. O equipamento utilizado neste trabalho consiste de um banho termostático Dubnoff com controle de temperatura, modelo Q226M2 da marca Quimis. As amostras foram colocadas no banho em temperaturas



fixas de 25°, 35°, 45° e 65°C. Dentro do qual foi colocado 2 béckers de 400 mL, no interior dos béckers, encontravam-se dispostos água destilada e grãos de soja.

Amostras de aproximadamente 15 gramas foram retiradas nos tempos de 0, 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 90, 100, 120, 150, 180 e 270 minutos. Espalhou-se cada amostra de grãos sobre papel toalha para retirar a água superficial e em seguida procedeu-se à pesagem e à avaliação do volume e da umidade.

Para a determinação do volume parte de cada uma das amostras retiradas do banho foi destinada para avaliação do volume. A massa e o número de grãos foram computados e em seguida adicionados em uma proveta de 50 mL. O volume foi determinado por deslocamento de água em proveta.

Para a determinação de umidade adotou-se o método clássico de secagem em estufa a 105°C durante 24 horas ou até peso constante (Adolfo Lutz, 1985). Medindo-se uma massa da amostra de aproximadamente 6 gramas de soja antes (MU) e depois (MS) da secagem. Foi empregada a equação 1:

$$\%X_{bu} = \frac{100A}{P} \quad (1)$$

A concentração mássica de água na soja (ρ_A) foi estimada a partir da Equação 2, conhecendo-se X_{bu} e a densidade do grão de soja,

$$\rho_A = X_{bu} \cdot \rho_{soj} \quad (2)$$

2.1 Modelagem Matemática

Foram empregados os modelos matemáticos de Peleg (1988) e o modelo fenomenológico de HSU (1983), utilizado por Omoto *et al.* (2009).

O modelo empírico de Peleg é descrito pela Equação (3).

$$M(t) = M_0 + \frac{t}{(k_1 + k_2 t)} \quad (3)$$

Onde $M(t)$ é a umidade no tempo t , M_0 a umidade inicial, e k_1 e k_2 são constantes do modelo.

O modelo de HSU parte de um balanço de massa em regime transiente para a água contida no grão e, considerando-se a concentração de água uniforme dentro do grão, obtém-se a Equação 4, que é a base do modelo matemático. Esta equação representa a variação da massa de água no grão ($\rho_A V$) com o tempo (t). Sendo A , a área externa do grão; V o volume do grão; e N_A o fluxo mássico de água ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$).

$$\frac{d(\rho_A V)}{dt} = N_A A \quad (4)$$

Neste modelo foi considerado volume constante, geometria esférica no grão com raio r_0 e foi definido o fluxo mássico como sendo $N_A = K_s (\rho_{Aeq} - \rho_A)$. Mediante estas considerações chega-se à equação final do modelo, descrita pela Equação 5. Este modelo apresenta dois parâmetros: o coeficiente de transferência de massa aparente, K_s ($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$) e a concentração de água no grão no equilíbrio, ρ_{Aeq} ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$). O modelo pode ser resolvido admitindo-se que no tempo $t=0$, a concentração de água no grão é uniforme e conhecida, $\rho_A = \rho_{A0}$. A concentração de água no grão no equilíbrio, ρ_{Aeq} pode ser estimada a partir dos dados experimentais. Para isto, identifica-se o valor de umidade na faixa em que esta permanece invariante no tempo.

$$\frac{d(\rho_A)}{dt} = \frac{3K_s}{r_0} (\rho_{Aeq} - \rho_A) \quad (5)$$

Integrando a Equação 5, considerando-se que tanto ρ_{Aeq} como K_s sejam constantes



para uma dada temperatura de hidratação resulta na Equação 6.

$$\ln \theta = \ln \left(\frac{\rho_{Aeq} - \rho_A}{\rho_{Aeq} - \rho_{Ao}} \right) = -\frac{3K_s}{r_o} t \quad (6)$$

Os parâmetros do modelo fenomenológico K_s e ρ_{Aeq} são obtidos através da linearização da Equação 6, e ajuste aos dados experimentais por regressão linear.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados experimentais da hidratação dos grãos de soja são apresentados na Figura 1. Esta figura mostra a evolução com o tempo da umidade em base úmida dos grãos transgênicos nas temperaturas estudadas. No instante inicial a umidade era de aproximadamente 10% e perto dos 150 minutos observa-se a tendência dos grãos atingirem o equilíbrio, na região onde a curva de umidade tende a uma assíntota horizontal.

Os resultados obtidos na hidratação dos grãos mostraram a influência da temperatura sobre a absorção de água ao longo do tempo. Foram observados nas temperaturas de 45° e 65°C maiores valores de umidade em base úmida para iguais tempos de hidratação, comprovando o aumento da velocidade de hidratação relacionado ao aumento da temperatura da água.

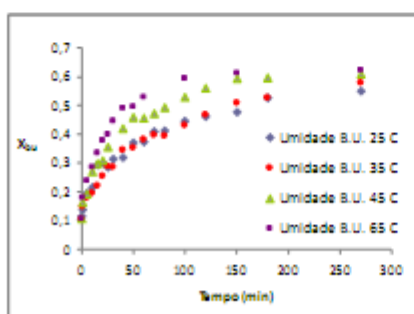


Figura 1 – Variação da umidade base úmida durante a hidratação dos grãos de soja em diferentes temperaturas.

3.1 Ajuste do Modelo de Parâmetros Concentrados

O ajuste do modelo aos dados experimentais foi realizado mediante regressão linear, obtendo-se os parâmetros K_s e ρ_{Aeq} , para as diferentes temperaturas experimentadas. A Figura 2 apresenta o ajuste do modelo para os dados gerados experimentalmente a 45°C. Os valores encontrados para estes parâmetros para todas as temperaturas experimentadas são apresentados na Tabela 1.

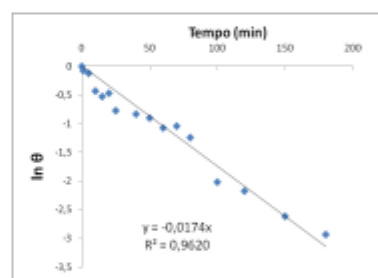


Figura 2 – Ajuste do modelo empregando-se os dados obtidos a 45°C.

Tabela 1 - Valores dos parâmetros K_s , ρ_{Aeq} e o correspondente coeficiente de determinação para as quatro temperaturas

T (°C)	K_s (cm min^{-1})	ρ_{Aeq} (g cm^{-3})	R^2
25	0,001306	0,5830	0,8060
35	0,001458	0,6256	0,8457
45	0,001842	0,6377	0,9620



65	0,003162	0,6421	0,8491
----	----------	--------	--------

Verificou-se uma forte dependência do coeficiente de transferência de massa aparente K_s em função da temperatura, conforme relatado na literatura (COUTINHO *et al* 2007). K_s apresentou um aumento de 142% ao variar a temperatura de 25°C para 65°C, conforme a Tabela 1. Já a concentração de água no equilíbrio, ρ_{Aeq} , não apresentou variação significativa. Os valores dos coeficientes de determinação mostram que houve um bom ajuste, o que reflete a capacidade do modelo representar o processo de hidratação em todas as temperaturas testadas.

3.1.1 Influência da temperatura sobre os parâmetros do modelo de parâmetros concentrados: O comportamento crescente de K_s em função da temperatura, T , pode ser representado por uma equação matemática similar à de Arrhenius, dada pela Equação 7:

$$K_s = B \cdot \exp\left(-\frac{E'}{T}\right) \quad (7)$$

A Equação 8 a seguir apresenta a forma linear da Equação 7.

$$\ln(K_s) = \ln(B) - E' \cdot \frac{1}{T} \quad (8)$$

Os parâmetros B e E' são ajustados por simples regressão linear, obtendo-se assim valores de B e E' correspondentes a 0,38079 ($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$) e 2289,3 (K^{-1}), com um coeficiente de determinação de 0,9648, conforme apresentado na Figura 3.

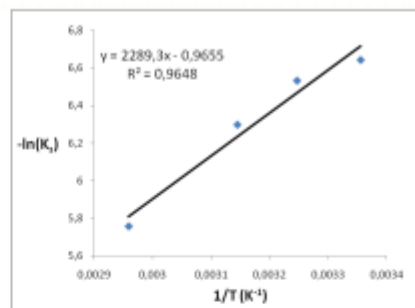


Figura 3 – Representação da qualidade de ajuste da Equação 8.

A Equação 9 representa a dependência de K_s em função da temperatura.

$$K_s(T) = 0,3808 \cdot e^{-2289,3/T} \quad (9)$$

3.2 Ajuste do modelo de Peleg:

O modelo de Peleg possui dois parâmetros: k_1 e k_2 . Estes foram obtidos a partir da linearização do modelo, fornecida pela Equação 10, e ajuste aos dados experimentais por regressão linear conforme mostra a Figura 4.

$$\frac{t}{M(t) - M_0} = k_2 t + k_1 \quad (10)$$

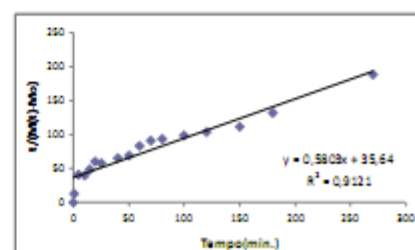


Figura 4 – Qualidade de ajuste dos parâmetros do modelo de Peleg obtidos na temperatura de 45°C.

Os valores de k_1 e k_2 obtidos para as quatro temperaturas com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) estão apresentados na Tabela 2.

SOPADE & OBEKPA (1990), encontraram valores para k_1 e k_2 de 0,01 e 0,006, obtidos durante estudo de hidratação de soja na temperatura de 25°C, sendo que no presente trabalho nesta temperatura foram obtidos valores relativamente próximos de 0,0094 e 0,0081 respectivamente. A constante k_2 define o conteúdo de umidade de equilíbrio, uma propriedade que não é sensível a temperatura. Esta informação pode ser importante na caracterização da absorção de umidade de produtos alimentícios.

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) apresentados na Tabela 2, indicam a qualidade do fenômeno de hidratação representada pelo modelo. As constantes k_1 apresentaram uma grande influência da temperatura, enquanto que k_2 não variou significativamente.

Tabela 2 - Coeficientes de determinação (R^2) para o modelo de PELEG ajustado durante a hidratação de soja.

Temperatura (°C)	k_1	k_2	R^2
25	56,35	0,80	0,877
35	65,56	0,675	0,784
45	35,64	0,58	0,912
65	22,73	0,566	0,956

A Tabela 2 mostra que ambos os parâmetros k_1 e k_2 decrescem com a temperatura.

Segundo a análise apresentada por RESENDE & CORRÊA (2007), a constante k_2 do modelo de Peleg está relacionada à capacidade máxima de absorção de água e quanto menor o seu valor, maior será a absorção de água do produto.

3.3 Desvio quadrático dos modelos frente aos dados experimentais:

A Tabela 3 apresenta os desvios quadráticos dos modelos frente aos dados experimentais em cada temperatura e ainda os desvios quadráticos médios na faixa de temperatura estudada.

Tabela 3 – Desvios quadráticos dos modelos frente aos dados experimentais.

T (°C)	Modelo Param. Conc.	Modelo Peleg
25	0,003436	0,004308
35	0,0009034	0,004900
45	0,001821	0,005910
65	0,004677	0,005678
Desvio quadrático Médio σ^2	0,002709	0,005199

O modelo de parâmetros concentrados apresenta menor desvio quadrático frente aos dados experimentais tendo melhor capacidade de representação do processo de hidratação.

3.4 Modelo generalizado para a hidratação:

O modelo generalizado dado pela Equação 10 abaixo foi desenvolvido empregando-se a correlação de K_s em função da temperatura, fornecida pela Equação 9 e admitindo-se um valor médio de $\rho_{A,eq}$, que neste estudo apresentou um valor de 0,630672.

$$\theta(t) = \left[\frac{\rho_{A,eq} - \rho_{A(t)}}{\rho_{A,eq} - \rho_{A,0}} \right] = \frac{3T \cdot 0,3808 \cdot e^{\frac{22893}{T}}}{r_0} \quad (10)$$

4. CONCLUSÕES

O modelo HSU de parâmetros concentrados representou melhor os dados experimentais obtidos na hidratação com desvio quadrático médio de 0,002709,



enquanto o modelo de Peleg apresentou um desvio de 0,005199.

A análise das curvas de hidratação gerada a partir de ensaios a diferentes temperaturas indica que um aumento na temperatura implica numa maior velocidade da hidratação, o que é verificado por requerer um menor tempo necessário para ser atingida a umidade de equilíbrio.

O valor médio obtido da umidade de equilíbrio, no presente trabalho para a soja transgênica BRR 225 foi de 1,4605.

O modelo de parâmetros concentrados representou adequadamente o processo de hidratação, simulando uma distribuição homogênea de água no interior do grão durante a hidratação, com um desvio de +/- 0,002709 % dos valores experimentais do teor de umidade média nos grãos.

No modelo de parâmetros concentrados o parâmetro K_s apresenta uma dependência da temperatura segundo a lei de Arrhenius, com um fator pré exponencial B igual a 0,38079 (cm/min) uma energia de ativação E^* igual a 2289,3 (K⁻¹).

O parâmetro K_s , coeficiente de transferência de massa aparente, cresce com o aumento da temperatura.

As temperaturas elevadas no modelo de Peleg influenciaram mais o parâmetro k_1 , enquanto que o parâmetro k_2 não variou significativamente. Os valores de k_1 e k_2 encontrados na temperatura de 25°C ficaram próximos aos valores encontrados por SOPADE & OBEKPA (1990).

5. NOMENCLATURA

A Área (m²)
 C_1 parâmetro de ajuste do modelo fenomenológico (m.s⁻¹)
 C_2 parâmetro de ajuste do modelo fenomenológico (m³.Kg⁻¹)
 K_s coeficiente de transferência de massa aparente (m.s⁻¹)
 m massa do grão (kg)
 MU massa úmida (g)

MS massa seca (g)
 N_s fluxo mássico de água (g.cm⁻² min⁻¹)
 t tempo (min)
 T temperatura (°C)
 V volume do grão (m³)
 X_e umidade de equilíbrio em base seca (adim.)
 X umidade em base seca (adim.)
 X_0 umidade inicial em base seca (adim.)
 X_g umidade em base seca do grão após a umidificação (adim.)
 X_{bu} Umidade em base úmida (adim.)
 X_s umidade em base seca do grão antes da umidificação (adim.)
 ρ_A Concentração mássica de água (g.cm⁻³)
 ρ_{Aeq} Concentração mássica de água no equilíbrio (g.cm⁻³)
 ρ_{soja} Concentração da água na soja (kg.m⁻³)

6. REFERÊNCIAS

- BARROZO, M. A. S; CALADO, V.M.A.; CALÇADA, L.A.; MASSARANI, G. Secagem de soja em leito deslizante e recirculação pneumática: influência da umidificação artificial, v. 1 p. 327-337, Campinas, SP, 1991.
- BECKERT, O. P; MIGUEL, M.H.; MARCOS FILHO, J. Absorção de água e potencial fisiológico em sementes de soja de diferentes tamanhos, *Scient. Agric.*, v. 57, n.4, p 671-675, 2000.
- CALADO, V. M. A. Modelagem e simulação de secadores em leitos fixo e Deslizante. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 1993.
- COUTINHO, M. R. Modelagem, Simulação e Análise da Hidratação de Grãos de Soja. Maringá, PR, 178 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de



Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, 2006.

COUTINHO, MÔNICA R.; OMOTO, EDILSON S.; ANDRADE, CID MARCOS G.; JORGE, LUIZ MÁRIO DE M. Novo modelo de parâmetros concentrados aplicado à hidratação de grãos. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 27(3): 451-455, jul.-set. 2007.

COUTINHO, M. R.; CONCEIÇÃO, W. A. S.; PARAÍSO, P. R.; ANDRADE, C. M. G.; OMOTO, E. S.; JORGE, R. M. M.; FILHO, R. M.; JORGE, L. M. M. Application of the Hsu model to soybean grain hydration. *Ciênc. e Tecnol. de Aliment.*, 2010.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br>>. Acesso em: 08/04/2010.

HSU, K. H. A diffusion model with a concentration- dependent diffusion coefficient for describing water movement in legumes during soaking. *J. of Food Sci.*, vol.48, n.2, 1983.

INSTITUTO ADOLF LUTZ, Normas analíticas do Instituto Adolf Lutz, v.1., 3ª ed., São Paulo: O Instituto, 1985.

MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. A soja no Brasil, 1ª ed., São Paulo: ITAL, 1981.

OMOTO, E.S.; ANDRADE, C.M.G.; JORGE, R.M.M.; COUTINHO, M.R.; PARAÍSO, P.R.; JORGE, L.M.M. Modelagem matemática e análise da hidratação de grãos de ervilha. *Ciênc. e Tecnol. de Aliment.*, v. 29, n. 1, p. 12-18, 2009.

PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *J. of Food Sci.*, vol. 53, n. 4, 1988.

RESENDE, O., CORRÊA, P.C. Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão. *Acta Sci. Agron.*: Maringá, v.29, n.3, p. 373-378, 2007.

RIBANI, M. Obtenção e aplicação de padrões de isoflavonas de soja. Campinas, SP, 139 p. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de química, Universidade Estadual de Campinas – SP, 2008.

SOPADE, P. A.; OBEKPA, J. A. Modelling water absorption in soybean, cowpea and peanuts at three temperatures using Peleg's equation. *J. of Food Sci.*, v. 55, n. 4, 1990.

ANEXO G

Título: Estudo comparativo da influência da temperatura no processo de hidratação de soja transgênica e convencional (Submetido).

Evento: AUGM – XVII Jornadas de Jovens Investigadores.

Local/Ano: Argentina – 2010.

Universidade Federal do Paraná
Faculdade/Centro/Instituto: Departamento de Engenharia Química / Setor de Tecnologia
Autores: Haline Bachmann Pinto, Aline Franciele Fracasso, Bárbara Marques, Liara Martelli,
Luiz Mário de Matos Jorge, Rosemary Hofman Ribani, Regina Maria Matos Jorge
Núcleo Disciplinar: Agroalimentário
E-mail: halibp@gmail.com, aline_fracasso@hotmail.com, rljorge@ufpr.br
Palavras-chave: hidratação de grãos, transferência de massa, soja, hidratação de grãos,
transferência de massa

RESUMO

ESTUDO COMPARATIVO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO PROCESSO DE HIDRATAÇÃO DE SOJA TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL

A hidratação de grãos de soja é uma etapa importante na indústria alimentícia, na produção de leite de soja, tofu (queijo de soja), farinha de soja (kinako), proteína texturizada de soja (PTS, popularmente "carne de soja") e diversos complementos alimentares. Durante a hidratação, ocorre uma modificação característica na textura dos grãos, o que favorece o processo de moagem e a subsequente extração de proteínas, presentes em grande quantidade no grão. Ainda, o processo de hidratação influencia as características fisiológicas do grão melhorando a digestibilidade e eliminando eventuais fatores antinutricionais. Para o grão de soja transgênica, as propriedades físico-químicas, térmicas e cinéticas envolvidas na hidratação foram pouco exploradas e, portanto, o estudo em questão buscou comparar os resultados de modo a avaliar o efeito da transgenia na cinética do processo. O trabalho consiste em estudar o processo de hidratação através ensaios realizados em 3 níveis de temperatura, tanto para a soja convencional como para a transgênica. O experimento consistiu em depositar as amostras dentro de um béquer com água destilada instalado em um banho termostático com temperatura controlada. Amostras eram retiradas em intervalos de tempo predeterminados, quando era feita a medição do volume e da massa de cada uma das amostras, e eram então encaminhadas para a estufa a 105°C, onde ficavam por 24 horas ou até atingirem peso constante. A partir desses dados era então calculada a umidade dos grãos ao longo do tempo. Os dados experimentais foram ajustados por dois modelos matemáticos: o modelo fenomenológico de parâmetros concentrados e o modelo empírico de PELEG; ambos ajustaram-se aos pontos experimentais. Foi observada dependência significativa da velocidade de hidratação em relação à temperatura, e também em relação ao tipo de soja, transgênica ou convencional. O grão de soja transgênico apresentou velocidade de hidratação superior ao convencional, e a velocidade aumentou com o aumento de temperatura para os dois tipos de soja. Os valores das umidades de equilíbrio, no entanto, não demonstraram dependência significativa da temperatura.

ANEXO H

Título: Estudo comparativo de propriedades de soja transgênica e convencional durante processo de hidratação.

Evento: EVINCI – Evento de Iniciação Científica.

Local/Ano: Curitiba – PR/ 2010.

Nº 000 **CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DE SOJA TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL**

Aluno de Iniciação Científica: Haline Bachmann Pinto (PET - SESu)

Nº de Registro do Projeto de Pesquisa no BANPESQ/THALES: 2009000001

Orientador: Prof.^a Dr.^a Regina Maria Matos Jorge

Co-Orientador: Luiz Mário de Matos Jorge, Rosemary Hoffmann Ribani

Colaborador: Aline Francielle Fracasso (POSALIM/CAPES), Bárbara Celupi Marques (POSALIM/CAPES)

Departamento: Engenharia Química **Setor:** Tecnologia

Palavras-chave: *soja transgênica, hidratação de grãos, transferência de massa*

Área de Conhecimento: Fenômenos de Transporte – 3.05.01.00.8

O grão de soja é rico em proteínas, lipídios e carboidratos, sendo por isso amplamente utilizado na indústria alimentícia para a produção de leite de soja, queijo de soja (tofu), farinha de soja (kinako), bebidas com suco de frutas, proteína texturizada de soja (PTS, popularmente “carne de soja”) e diversos complementos alimentares. A hidratação de soja é importante à medida que influencia as características fisiológicas do grão de modo a favorecer o processo de moagem e a etapa posterior de extração. Ainda, pode melhorar a digestibilidade e eliminar eventuais fatores antinutricionais. O conhecimento da cinética do processo de hidratação de grãos é fundamental para o correto dimensionamento dos equipamentos utilizados nos processos industriais. Com a crescente produção e utilização de soja transgênica e uma vez que há poucos estudos a respeito de propriedades físico-químicas, térmicas nenhum estudo da cinética da hidratação de soja transgênica, este trabalho consistiu em estudar a cinética do processo de hidratação, mediante o ajuste dos dados experimentais a modelos matemáticos apresentados na literatura. Os ensaios foram realizados em vários níveis de temperaturas, empregando-se cultivares de grãos de soja convencionais e transgênicos. O estudo realizado permitiu avaliar o efeito da transgenia sobre o processo de hidratação. No procedimento experimental, amostras foram depositadas dentro de um béquer com água destilada instalado em um banho termostático com temperatura controlada. Em intervalos de tempo predeterminados, eram retiradas amostras dos grãos para a medição do raio médio pelo método de deslocamento de água em proveta e da umidade, procedendo à secagem das amostras em estufa a 105°C. A obtenção destes dados permitiu avaliar a variação da umidade e do raio médio dos grãos ao longo do tempo. Os pontos experimentais foram ajustados por dois modelos matemáticos: o modelo fenomenológico de parâmetros concentrados e o modelo empírico de PELEG. Os dois modelos demonstraram boa representação do processo de hidratação. A velocidade de hidratação apresentou forte dependência em relação à temperatura e ao tipo de grão; a soja transgênica alcançou o equilíbrio em menor período de tempo e ambos os tipos, transgênica e convencional, apresentaram velocidade de hidratação maior a temperaturas mais elevadas, enquanto os valores da umidade no equilíbrio não foram significativamente afetados.

ANEXO I

Título: Estudo comparativo da cinética de hidratação de soja Convencional BRS 232 e Transgênica A7321.

Evento: COBEQ IC – IX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – Iniciação Científica.

Local/Ano: Maringá – PR/ 2011.

ESTUDO COMPARATIVO DA CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DE SOJA CONVENCIONAL BRS 232 E TRANSGÊNICA A7321

BACHMANN*¹, H.; MARTELLI¹, L. B.; FRACASSO², A. F.; JORGE³, L. M. M.; JORGE⁴, R. M. M.

¹Aluno do DEQ/UFPR ²Mestrando do PPGTA/UFPR ³Professor do DEQ/UEM

⁴Professor do DEQ/UFPR

Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal do Paraná
Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, s/n – Centro Politécnico
81531-980 – Curitiba – PR
e-mail: rjorge@ufpr.br

RESUMO - Este trabalho apresenta o estudo cinético do processo de hidratação de grãos de soja convencional (BRS232) e transgênica (A7321). A hidratação mostra-se importante uma vez que modifica a textura dos grãos, favorecendo a moagem e extração de constituintes, como a proteína, presente em grande quantidade na soja. Foram obtidas experimentalmente curvas cinéticas de hidratação a cinco níveis de temperatura para ambas cultivares. Verificou-se forte dependência da velocidade de hidratação em relação à temperatura, e também em relação ao tipo de soja, convencional ou transgênica. Mediante ajuste pelo modelo de parâmetros concentrados desenvolvido por Omoto *et al.* (2009), quantificou-se essa dependência, o que permitiu chegar à equação do modelo generalizado para as duas cultivares. Assim, é possível avaliar a umidade em qualquer instante, dados tempo e temperatura de hidratação.

Palavras chave: transferência de massa, parâmetros concentrados, transgenia.

INTRODUÇÃO

A soja é um dos produtos agrícolas que alimentam o mundo. O seu grão é rico em proteínas, lipídios e carboidratos, sendo por isso amplamente utilizado na indústria alimentícia para a produção de leite de soja, queijo de soja (tofu), farinha de soja (kinako), bebidas com suco de frutas, proteína texturizada de soja (PTS, popularmente “carne de soja”) e diversos complementos alimentares.

A produção de soja está, portanto, em posição de expansão contínua e acelerada. O Brasil é o segundo maior produtor mundial do grão, com uma produção estimada em 70 milhões de toneladas do grão para o ano de 2011 (Conab, 2011). Da área nacional destinada ao cultivo de soja, aproximadamente 75% corresponde ao plantio de soja transgênica (Céleres, 2011).

A transgenia caracteriza-se em sementes que recebem um gene de outro organismo capaz de torná-la tolerante ao uso de um tipo de herbicida (Embrapa, 2010). Atualmente, estão registradas cinco cultivares aprovadas de sementes transgênicas no Brasil (CTNBio, 2011).

A hidratação de grãos de soja, convencional e transgênica, é importante à medida que influencia as características fisiológicas do grão de modo a favorecer o processo de moagem e a etapa posterior de extração de algum constituinte de interesse. Além disso, a etapa de cozimento é frequentemente utilizada na indústria de alimentos a fim de beneficiar outras etapas do processo, pois pode melhorar a digestibilidade e eliminar eventuais fatores antinutricionais (Coutinho, 2006).

Devido à importância da hidratação de grãos, o estudo cinético é fundamental para o

Devido à importância da hidratação de grãos, o estudo cinético é fundamental para o correto dimensionamento dos equipamentos utilizados nos processos industriais. A absorção de água pelos grãos de soja durante a embebição depende principalmente do binômio tempo e temperatura. Modelos que representam a hidratação de grãos têm sido desenvolvidos para prever o tempo necessário para obter o teor de umidade desejado em uma determinada temperatura, o que representa o comportamento dinâmico do processo de imersão. Estes modelos podem ser basicamente empíricos ou fenomenológicos (Coutinho *et al.*, 2010).

Neste trabalho foi utilizado o modelo matemático fenomenológico de parâmetros concentrados de Omoto *et al.* (2009) validado a partir dos dados experimentais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de hidratação foram realizados com amostras de grãos de duas cultivares: BRS232 de soja convencional e A7321 de soja transgênica.

As amostras foram colocadas em um béquer de 400mL, com solução 1g/L de benzoato de sódio em água destilada, suficiente para cobrir o nível dos grãos. O béquer foi colocado em banho termostático, com temperatura selecionada e agitação constante. Os ensaios foram realizados em duplicata para os dois tipos de soja, e em cinco níveis de temperatura: 25°, 35°, 45°, 55° e 65°C. O tempo de hidratação variou de 1860 minutos, para as temperaturas mais baixas, a 450 minutos, para a temperatura mais elevada.

Ao longo da hidratação, amostras foram retiradas em tempos predeterminados. Os grãos da amostra foram espalhados sobre papel toalha para retirar a água superficial e, em seguida, procedeu-se à pesagem e avaliação do volume. A medição do volume do grão foi feita através de deslocamento de água em proveta. Para a determinação de umidade, adotou-se o método clássico de secagem em estufa a 105°C durante 24 horas ou até peso constante (Adolfo Lutz, 1985).

Para determinar a umidade do grão a partir da Equação 1, calculou-se, a partir da massa de amostra medida, uma massa média

para o grão antes (MU) e depois (MS) da secagem.

$$X_{bu} = \frac{MU - MS}{MU} \quad (1)$$

A concentração mássica de água na soja ρ_A foi estimada a partir da Equação 2, conhecendo-se X_{bu} e a densidade do grão de soja.

$$\rho_A = X_{bu} \cdot \rho_{soja} \quad (2)$$

Modelo Matemático

O modelo de parâmetros concentrados (MPC) apresentado por Omoto *et al.* (2009) parte de um balanço de massa em regime transiente para a água contida no grão. Considerando uma concentração média de água no grão, mediante um balanço de massa obtém-se a Equação 3. Esta equação representa a variação da massa de água no grão ($\rho_A V$) com o tempo (t).

$$\frac{d(\rho_A V)}{dt} = N_A A \quad (3)$$

Neste modelo, o volume foi considerado constante, a geometria do grão como esférica com raio r_o e o fluxo mássico $N_A = K_s (\rho_{Aeq} - \rho_A)$. A partir disso, chegou-se à Equação 4.

$$\frac{d(\rho_A)}{dt} = \frac{3K_s}{r_o} (\rho_{Aeq} - \rho_A) \quad (4)$$

Este modelo apresenta dois parâmetros: o coeficiente de transferência de massa aparente, K_s e a concentração mássica de água no grão no equilíbrio, ρ_{Aeq} . O modelo pode ser resolvido admitindo-se que no tempo $t = 0$, a concentração de água no grão é uniforme e conhecida, $\rho_A = \rho_{Ao}$. A concentração de água no grão no equilíbrio ρ_{Aeq} pode ser estimada a partir dos dados experimentais.

A integração da Equação 4, considerando que tanto ρ_{Aeq} como K_s sejam constantes para uma dada temperatura de hidratação, resulta na Equação 5.

$$\ln \theta = \ln \left(\frac{\rho_{Aeq} - \rho_A}{\rho_{Aeq} - \rho_{Ao}} \right) = - \frac{3K_s}{r_o} t \quad (5)$$

Os parâmetros do modelo K_s e ρ_{Aeq} podem ser obtidos através do ajuste da Equação 5 aos dados experimentais por regressão linear.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a evolução da umidade em base úmida, X_{bu} , com o tempo em três das temperaturas estudadas. O grão possui uma umidade inicial X_{bu} de cerca de 12%, e após absorção de água durante um tempo determinado t_{eq} , nota-se a tendência de atingir o equilíbrio, quando o grão alcança a umidade máxima e a curva de hidratação aproxima-se de uma assíntota horizontal.

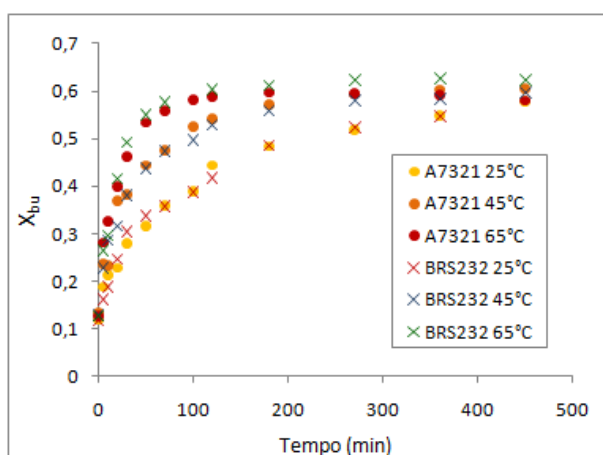


Figura 1 – X_{bu} em função do tempo para as temperaturas de 25, 45 e 65°C.

Numa mesma temperatura, as duas cultivares apresentaram comportamento semelhante da variação de umidade X_{bu} em função do tempo. Além disso, foi possível analisar a influência da temperatura no processo de hidratação. A temperaturas mais elevadas, a umidade de equilíbrio é atingida mais rapidamente. Ou seja, qualitativamente, sabe-se que quanto maior a temperatura, maior a velocidade com que o grão absorve de água, embora a umidade de equilíbrio sofra mínimas alterações para a mesma cultivar em diferentes temperaturas.

Ajuste do Modelo de Parâmetros Concentrados

Mediante ajuste do MPC aos dados experimentais encontraram-se os valores dos parâmetros K_s e ρ_{Aeq} apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros do MPC.

	T (°C)	K_s (cm/min)	ρ_{Aeq} (g/cm ³)	R ²
A7321	25	0,001825	0,6560	0,970
	35	0,002938	0,6642	0,990
	45	0,004144	0,6785	0,982
	55	0,008965	0,6609	0,974
	65	0,01904	0,6417	0,927
	ρ_{Aeq} médio			0,6603
BRS232	25	0,001232	0,6583	0,952
	35	0,001983	0,6554	0,965
	45	0,002714	0,6627	0,986
	55	0,004497	0,6690	0,978
	65	0,01045	0,6426	0,964
	ρ_{Aeq} médio			0,6576

Verifica-se que o coeficiente de transferência de massa aparente K_s é altamente dependente da temperatura, enquanto a concentração de água no grão de soja no equilíbrio ρ_{Aeq} não varia de maneira significativa. Os valores de R² mostraram-se satisfatórios, indicando a confiabilidade do modelo utilizado.

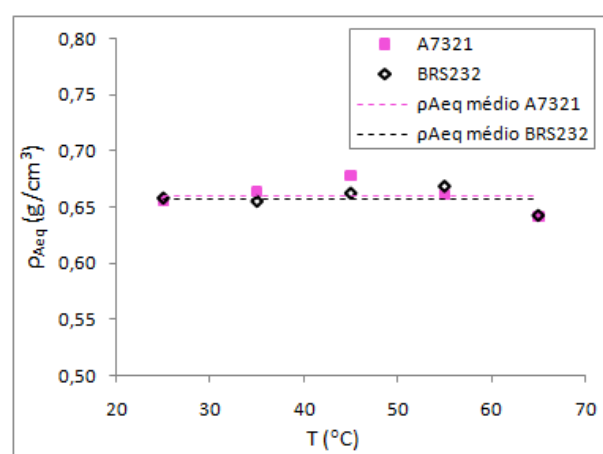


Figura 2 – Variação de ρ_{Aeq} em função da temperatura.

A Figura 2 mostra a dispersão dos valores de ρ_{Aeq} em relação ao valor médio calculado, o que permite a melhor visualização do comportamento de ρ_{Aeq} com a temperatura,

mostrando valores independentes da temperatura de hidratação e valores médios semelhantes para ambos os cultivares.

Determinados os parâmetros, foi possível calcular a concentração de água ρ_A pelo modelo ao longo do tempo de hidratação.

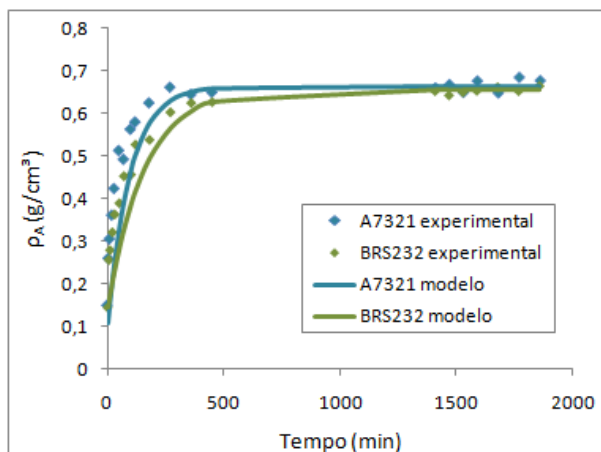


Figura 3 – Valores de ρ_A experimentais e valores esperados pelo MPC em função do tempo a 35°C.

Na Figura 3 observa-se a curva do modelo ajustada aos pontos obtidos experimentalmente com uma boa adequação. A cultivar transgênica A7321 apresentou uma curva mais acentuada, indicando que a concentração de água no grão aumenta mais rapidamente, ou seja, essa cultivar tem maior velocidade de hidratação.

Influência da temperatura: com o propósito de avaliar quantitativamente a influência da temperatura sobre o coeficiente de transferência de massa K_s , utilizou-se a Equação 6, similar à Lei de Arrhenius.

$$K_s = B \cdot \exp\left(-\frac{E'}{T}\right) \quad (6)$$

Os parâmetros B e E' para cada cultivar foram calculados por regressão linear e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros da Equação 6 com o respectivo coeficiente de correlação.

	$B \cdot 10^{-3}$ (cm/min)	E' (K ⁻¹)	R ²
A7321	469,8	5817	0,964
BRS232	30,09	5103	0,956

A dependência crescente de K_s com a temperatura pode ser melhor visualizada pela Figura 4, onde são mostrados os valores do parâmetro K_s obtidos pelo MPC e a função ajustada a partir da Equação 6.

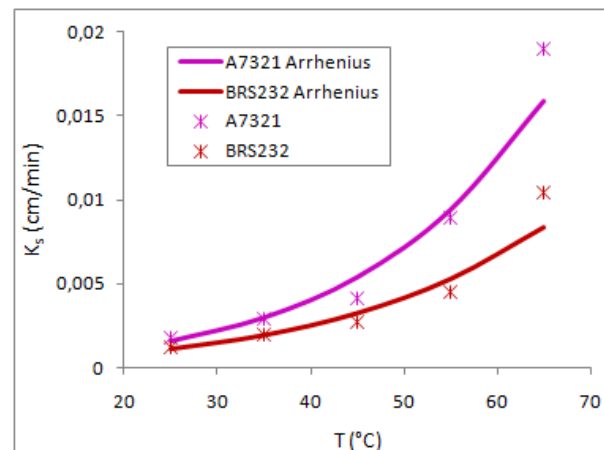


Figura 4 – Valores de K_s e a função que mostra a dependência de K_s da temperatura.

Inferre-se da Figura 4 que a cultivar transgênica, além de apresentar maior coeficiente de transferência de massa aparente K_s em todas as temperaturas estudadas, também apresenta maior dependência de K_s com a temperatura. O grão transgênico A7321 apresentou, em média, um valor de K_s 52% maior do que os valores apresentados para a soja convencional BRS232 na faixa de temperaturas experimentada.

Tempo de equilíbrio: a partir da Equação 5 do modelo matemático de parâmetros concentrados, se considerado t_{eq} o tempo necessário para que os grãos atinjam 99% de ρ_{Aeq} , pode-se escrever a Equação 7.

$$t_{eq} = \frac{r_0}{3K_s} \ln\left(\frac{100(\rho_{Aeq} - \rho_{Ao})}{\rho_{Aeq}}\right) \quad (7)$$

Empregando os valores médios de ρ_{Ao} e ρ_{Aeq} para cada cultivar, e K_s sendo relacionado à temperatura pela Equação 6 com os parâmetros da Tabela 2, obtém-se o comportamento de t_{eq} em função da temperatura, representado na Figura 5.

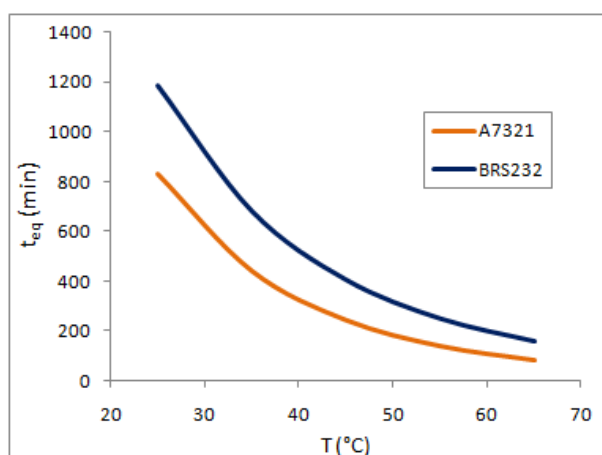


Figura 5 – Tempo de equilíbrio em função da temperatura.

Observa-se que o tempo de equilíbrio, quando a temperatura vai de 25 a 65°C, varia aproximadamente de 100 a 800 minutos para o grão transgênico e de 150 a 1200 minutos para o grão convencional. Comparando as duas cultivares, a soja convencional apresentou, em média, tempo de equilíbrio 52% superior.

Ainda, a curva decrescente demonstra que quanto maior a temperatura, menor o tempo para atingir o equilíbrio, e assim maior a velocidade de hidratação.

Modelo generalizado: é obtido a partir da Equação 5, substituindo a relação de K_s com a temperatura (Equação 6) e isolando ρ_A , o que resulta na Equação 8.

$$\rho_A = \rho_{Aeq} - (\rho_{Aeq} - \rho_{Ao}) \cdot e^{\frac{-3 \cdot B \cdot e^{-\frac{E'}{T}}}{r_o}} \quad (8)$$

Para calcular a concentração mássica de água ρ_A , admitem-se os parâmetros B e E' da Tabela 2 e os valores médios de r_o , ρ_{Ao} e ρ_{Aeq} apresentados na Tabela 3, de acordo com a cultivar.

Tabela 3 – Valores médios de r_o , ρ_{Ao} e ρ_{Aeq} .

	r_o (cm)	ρ_{Ao} (g.cm ⁻³)	ρ_{Aeq} (g.cm ⁻³)
A7321	0,9044	0,1421	0,6603
BRS232	0,9062	0,1490	0,6576

O modelo generalizado é bastante importante, visto que descreve o processo de hidratação como função apenas do tempo e da temperatura. Dessa forma, pode-se estimar a concentração de água no grão de soja em diferentes condições, dados apenas tempo e temperatura de hidratação.

Desvio Quadrático do Modelo frente aos Dados Experimentais

O desvio quadrático do modelo de parâmetros concentrados em relação aos pontos experimentais foi calculado através da Equação 9.

$$\Phi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\rho_{Amod}^i - \rho_{Aexp}^i)^2}{n} \quad (9)$$

A Tabela 4 mostra os desvios quadráticos médios para cada cultivar. Os valores encontrados de Φ^2 representam uma boa capacidade de representação do modelo estudado.

Tabela 4 – Desvios quadráticos médios.

Cultivar	Φ^2 (g ² /cm ⁶)
Transgênica A7321	0,001871
Convencional BRS232	0,004107

CONCLUSÕES

A análise do processo de hidratação através do modelo de Parâmetros Concentrados permitiu confirmar a forte dependência do coeficiente de transferência de massa aparente K_s em relação à temperatura. Como esperado pela Lei de Arrhenius, a elevação da temperatura implicou em aumento exponencial do coeficiente K_s .

A concentração de água no equilíbrio ρ_{Aeq} permaneceu sem variação expressiva para ambas cultivares nas temperaturas estudadas. Além disso, os valores médios de ρ_{Aeq} para as duas cultivares se mostraram bastante próximos.

Avaliando o aumento de ρ_A com o tempo para os dois grãos, foi notada absorção mais rápida de umidade para a cultivar transgênica. Verificou-se, pela comparação das relações de K_s em função da temperatura, que a cultivar transgênica A7321 possui valores em torno de 52% mais altos de K_s nas diferentes temperaturas estudadas, o que indica maior velocidade de hidratação.

O tempo necessário para atingir o equilíbrio, por sua vez, apresentou-se menor, também em torno de 52%, para a soja transgênica, o que condiz com os resultados experimentais, em que se observou hidratação mais rápida para a cultivar A7321.

Este estudo evidencia, portanto, que a cultivar transgênica A7321 tem velocidade de hidratação 50% superior em relação à cultivar convencional BRS232.

NOMENCLATURA

A	Área superficial do grão	(cm ²)
B	Parâmetro pré-exponencial da equação de Arrhenius	(cm.min ⁻¹)
E'	Parâmetro da equação de Arrhenius	(K ⁻¹)
K _s	Coefficiente de transferência de massa aparente	(cm.min ⁻¹)
MS	Massa do grão seco	(g)
MU	Massa do grão úmido	(g)
n	Número de pontos	(adim.)
N _A	Fluxo mássico	(g.cm ⁻² .min ⁻¹)
r _o	Raio inicial do grão	(cm)
T	Temperatura	(K)
t	Tempo	(min.)
t _{eq}	Tempo de equilíbrio	(min.)
V	Volume do grão	(cm ³)
X _{bu}	Umidade em base úmida	(adim.)
Φ ²	Desvio quadrático médio	(g ² .cm ⁻⁶)
ρ _A	Concentração mássica de água no grão	(g.cm ⁻³)
ρ _{Ao}	Concentração mássica inicial de água no grão	(g.cm ⁻³)
ρ _{Aeq}	Concentração mássica de água no grão no equilíbrio	(g.cm ⁻³)
ρ _{Aexp}	Concentração mássica de água no grão experimental	(g.cm ⁻³)
ρ _{Amod}	Concentração mássica de água no grão calculada pelo modelo	(g.cm ⁻³)
ρ _{soja}	Densidade do grão	(g.cm ⁻³)

REFERÊNCIAS

- CÉLERES CONSULTORIA (2011), 2º Acompanhamento da adoção de biotecnologia agrícola no Brasil. Disponível em: < http://www.comunique-se.com.br/deliverer_homolog/arq/cli/arq_1198_61279.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2011.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2011), Acompanhamento de safra brasileira: grãos, Quarto levantamento, janeiro 2011. Brasília-DF, 41 p.

COUTINHO, M. R. (2006), Modelagem, Simulação e Análise da Hidratação de Grãos de Soja, DEQ/UEM, Maringá - PR (tese de doutorado), 178p.

COUTINHO, M. R., CONCEIÇÃO, W. A. S., PARAÍSO, P. R., ANDRADE, C. M. G., OMOTO, E. S., JORGE, R. M. M., FILHO, R. M., JORGE, L. M. M. (2010), Application of the Hsu model to soybean grain hydration. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30, 19-29.

CTNBio – Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (2011), Aprovações Comerciais na CTNBio. Disponível em: < <http://www.cib.org.br/ctnbio/eventosaprovadosfev11.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2010), Soja transgênica. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=104&cod_pai=152>. Acesso em: 08 abr. 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985), Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Editora O Instituto, São Paulo-SP, 533p.

OMOTO, E. S., ANDRADE, C. M. G., JORGE, R. M. M., COUTINHO, M. R., PARAÍSO, P. R., JORGE, L. M. M. (2009), Modelagem Matemática e Análise da Hidratação de Grãos de Ervilha. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29, 12-18.

AGRADECIMENTOS

À Coopagrícola (Ponta Grossa, PR) pelas amostras cedidas.

À SESu/MEC e ao CNPq pelo incentivo à pesquisa e apoio financeiro.

