

OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM DO MALTE DE *Zea mays*¹

Joana Paula Menezes BIAZUS², Roberto Rodrigues de SOUZA²,
José Carlos CURVELO-SANTANA^{3,*}, Elias Basile TAMBOURGI³

RESUMO

Neste trabalho foi feita a otimização do processo de secagem do malte de milho (*Zea mays*) com o objetivo de gerar um derivado de alto valor comercial sem reduzir a atividade das enzimas presentes neste, α e β – amilases, e tentar agregar valor à cultura do milho. Modelos de curvas de secagem foram usados para simular as isotermas de secagem. Um planejamento fatorial completo do tipo 2² foi feito, usando como fatores o tempo (5,18; 6; 8; 10 e 10,8 h) em torno do tempo de secagem para determinação de umidade em alimento e a temperatura (54, 65 e 76 °C) próxima do ótimo das enzimas e a atividade enzimática no malte como resposta. O modelo que mais se ajustou aos dados de cinética de secagem foi o de Henderson e Henderson, e a umidade média retirada do malte foi maior que 40%. A otimização da secagem indicou que se deve operar o secador na região que se aproxima dos 54 °C e da faixa de 5,18 a 6 h de processo. O malte obtido possuiu um bom potencial enzimático, sendo possível assim, contribuir para a agregação de valor à cultura do milho.

Palavras-chave: enzimas α e β -amilases, malte de milho (*Zea mays*), secagem, otimização.

SUMMARY

DRYING OPTIMIZATION OF *Zea mays* MALT. In this work, the drying process optimization of maize (*Zea mays*) malt was carried out with the purpose of obtaining a commercial derivate of high value without reducing the enzyme activity present in α and β – and attempting to add value to the maize culture. Models of drying curves were used to simulate the drying isotherms. A 2² full factorial planning was made, using time factors (5.18, 6, 8, 10 and 10.8 h) around the drying time to determine the humidity in food and the temperatures (54, 65 and 76 °C) close to the optimal temperature of the enzymes and the enzymatic activity in the malt as a solution. The model which most adjusted to the drying kinetic data was the Henderson and Henderson model and the average humidity taken from the malt was higher than 40%. The drying process optimization showed that drying should be done in the area which is close to 54 °C and the range of 5.18 at 6 h of processing time. The maize malt obtained has good enzymatic potential, thus it helps to add value to maize culture.

Keywords: α and β -amylases enzymes, maize (*Zea mays*) malt, drying, optimization.

1 - INTRODUÇÃO

A secagem é utilizada em vários países com o objetivo de preservar a atividade enzimática original, reduzir e/ou evitar a contaminação por microorganismos em produtos de origem biotecnológica. É definida como sendo a remoção de uma substância volátil (comumente, mas não exclusivamente, a água) de um produto sólido, ou seja, a operação na qual a atividade de água de um determinado produto é diminuída pela remoção de água, por sua vaporização. A água presente no sólido é chamada de umidade. Assim, a secagem é um conjunto de ciência e tecnologia que requer minuciosas observações experimentais de alguns fenômenos que ocorrem durante o processo [9].

Algumas considerações sobre conteúdo inicial de umidade do material, conteúdo final de umidade a que o material pode chegar (umidade de equilíbrio), de que maneira a água está relacionada com a estrutura do sólido e como o transporte de água é feito do interior à superfície do sólido durante a secagem, servem para fundamentar o fenômeno de secagem [6].

O desempenho de um secador transportador do tipo esteira, desenvolvido em 1998, foi estudado com o objetivo de analisar o comportamento deste equipamento frente ao processo de secagem utilizando para tanto sementes de gramínea da espécie *Brachiaria brizantha* sp., avaliando, além da cinética de secagem, também o efeito do processo sobre a qualidade do material. Assim, puderam concluir que o equipamento utilizado é viável na secagem do material usado e que o teste de qualidade mostrou haver uma tendência de queda na qualidade das sementes para temperatura igual a 48,5 °C [8].

Por serem economicamente viáveis, o emprego de enzimas em indústrias alimentícias, farmacêuticas, têxteis e outras vêm crescendo há vários anos. Suas aplicações são variadas, pode-se citar o uso na fabricação de bebidas alcoólicas, em algumas formulações como: detergentes, biosensores, pomadas, em “kits” para diagnóstico médico e atualmente na degradação de compostos e no controle do meio ambiente [9]. Dentre as enzimas utilizadas comercial-

¹Recebido para publicação em 26/8/2005. Aceito para publicação em 13/11/2006 (001603)

²Departamento de Engenharia Química (DEQ), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Cidade Universitária “Prof. José Aloísio de campos”, S/N, Rosa Elze, CEP 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, Brasil

³Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos (DESQ), Faculdade de Engenharia Química (FEQ), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Cidade Universitária “Prof. Zeferino Vaz”, Av. Albert Einsten, 500, Barão Geraldo, C. P. 6066, CEP 13083-970, Campinas (SP), Brasil, E-mail: jccurvelo@yahoo.com.br

* A quem a correspondência deve ser enviada

mente, merecem destaque as α -amilase e β -amilase por sua variada aplicabilidade em processos industriais, na hidrólise do amido [7, 11, 16]. Tais enzimas são obtidas comumente de malte de cevada ou de microorganismos e seus preços, após purificação, alcançam US\$ 1500,00/g [15].

A α -amilase (EC 3.3.1.1; α -1,4 glicano, 4 - glicanohidroxilase) é uma grande enzima extracelular que hidrolisa aleatória, mas simultaneamente várias ligações α -1,4; não terminais de moléculas de amilose, amilopectina, glicogênio e dextrinas, não atuando sobre as ligações α -1,6. Sua massa molar varia entre 50 e 120 kDa, com ponto isoelétrico 5,4, pH ótimo 4,7 e temperatura ótima próxima de 75 °C, estes parâmetros dependem da fontes desta enzima, sendo que atualmente já há citação de α -amilases estáveis a uma ampla faixa de pH e de temperatura [7, 11, 19].

A β -amilase (EC 3.2.1.1, α -1,4, glicanomaltot hidrolase) é uma enzima extracelular que degrada amilopectina e glicogênio, hidrolisando cada segunda ligação α -1,4, mas sempre a partir dos terminais não redutores das cadeias. Tem pH ótimo entre 4,5 e 6,5 e temperatura ótima entre 55 e 57 °C, sendo muito rápida a sua inativação acima de 60 °C, seu ponto isoelétrico é 4,8 e sua massa molar gira em torno de 50 kDa [10, 11, 13, 16].

O milho (*Zea mays*) é um produto agrícola muito difundido no Brasil, comercializado "in natura" ou processado a baixo valor econômico. Sendo assim, a obtenção das enzimas α e β -amilases de malte de milho geraria um produto de alto valor agregado.

Desta maneira, este trabalho teve como objetivo estudar minuciosamente a influência dos fatores temperatura e tempo sobre a atividade enzimática durante o processo de secagem do malte de milho, por meio de uma otimização pela Metodologia de Análise de Superfície de Resposta (RSM). O planejamento foi feito baseando-se nas temperaturas ótimas das amilases [7, 11, 13, 16, 19] e em volta dos tempos de secagem comumente usados em análises de umidade em alimento, 6 a 8 h [1].

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Material

O secador utilizado neste trabalho foi da FENTO (São Paulo, Brasil) do tipo de bandeja, com circulação de ar. Uma balança analítica digital modelo BG 200 fornecida pela TECNAL (São Paulo, Brasil) foi usada nas medições de peso. O malte foi moído em moinho de bola, modelo BM da VIATEST (Berlim, Alemanha).

O programa Statistica versão 6.0 foi usado para as análises do modelo (ANOVA) e para a geração dos gráficos de otimização. O programa Origin 5.0 profissional foi utilizado para a montagem gráfica das de curvas de secagem.

As sementes de milho foram adquiridas junto a EMBRAPA (Tabuleiros Costeiro), sediada em Aracaju-SE. Os reagentes: ácido o-fosfórico PA adquirido junto a Synth (Diadema-SP,

Brasil), acetato de sódio PA, ácido acético PA, álcool etílico PA, dextrina branca PA, iodeto de potássio PA, iodo ressublimado PA foram adquiridos da VETEC (São Paulo, Brasil) e o azul brilhante de Comassie-G foi adquirido da MERCK (Berlim, Alemanha).

2.2 - Métodos

2.2.1 - Determinação da concentração de proteína total

A variação da concentração de proteína no malte foi acompanhada a cada hora de secagem, sendo determinada pelo método de BRADFORD [5], que consiste na análise da absorbância a 595 nm do complexo formado entre as proteínas e o reagente de Coomassi.

2.2.2 - Análise da atividade enzimática

Em cada amostragem horária de malte seco foi determinada a atividade enzimática pelo método de Wohlguth, modificado por SANDSTEDT, KNEEN & BLISH (1959) apresentado em Reguly [13]. A unidade de atividade enzimática, neste caso, foi o SKB, que indica a quantidade de amido dextrinizada por um grama de malte em uma hora. Neste caso, será dada por SKB/ μ g de proteínas totais do malte de milho.

2.2.3 - Obtenção do malte

As sementes foram selecionadas, pesadas, lavadas, postas à absorção de umidade entre 40% e 45% e colocadas em meio germinativo em escala laboratorial por aproximadamente 4 a 5 dias. O malte foi seco nas temperaturas do planejamento (Tabela 6), triturado e armazenado e guardado a 10 °C [12, 14].

2.2.4 - Processo de secagem do malte

Este foi realizado em um secador convectivo com circulação de ar em condições de temperatura, umidade relativa ($64 \pm 1\%$) e vazões constantes. Foram utilizadas três temperaturas: 54 °C, 65 °C e 76 °C, seguindo o planejamento previamente feito em torno das temperaturas ótimas da atividade das enzimas (veja a Tabela 2). As sementes de milho germinadas (malte) foram postas em vidros de relógio previamente secos e tarados nas devidas temperaturas, medida sua massa úmida (X_0) e submetida à secagem nas temperaturas indicadas. Após cada hora de processo (12 h no total) foram coletadas amostras para medir a massa seca das sementes (X_t) e obter por diferença a umidade nelas contida. Para a determinação da umidade inicial dos grãos, foi feita a exposição das sementes a 103-105 °C durante 40 a 50 h de processo, de acordo com a metodologia descrita por Ascar [1]. A massa das sementes maltadas secas (X_t) foram divididas pela massa inicial, úmida (X_0), gerando a massa seca experimental ($X_{exp} = X_t/X_0$) adimensionalizada. Foram montadas as isotermas de sorção para as tempera-

turas citadas [8, 9]. Os dados obtidos foram utilizados para testar o ajuste dos modelos apresentados na Tabela 1, para encontrar aquele que melhor descrevia a variação da massa durante o decorrer da secagem do malte de milho.

TABELA 1 – Modelos empíricos e semi-empíricos para descrever as isotermas de secagem.

Nº	Referências	Equação Padrão
1	BROOEKER <i>et al.</i> (1974)	$X_{exp} = A \exp (-Kt)$
2	HENDERSON & HENDERSON (1968)	$X_{exp} = A [\exp (-Kt) + 1/9 \exp (-9Kt)]$
3	LEWIS (1921)	$X = \exp (-Kt)$
4	THOMPSON <i>et al.</i> (1968)	$t = A \ln X_{exp} + B [\ln X_{exp}]^2$
5	WANG & SINGH (1978)	$X_{exp} = 1 + At + Bt^2$

Fontes: BARROZO *et al.* [4] e JESUS [9].

2.2.5 - Otimização da secagem do malte

Neste item, foi investigada a influência do tempo (*t*) e temperatura (*T*) de secagem sobre a atividade enzimática (*AE*) do malte de milho, dados em h, °C e SKB/µg, respectivamente. Para tanto foi feito um planejamento experimental do tipo 2² com arranjo hexagonal (Tabela 6). Os modelos testados foram lineares, quadráticos, nas formas logarítmica e exponencial dos fatores com a resposta. Os cálculos matriciais para a obtenção das estimativas dos parâmetros dos modelos foram feitos pelo método dos mínimos quadrados, a avaliação do ajuste dos modelos foi feita pela metodologia de análise da variância (ANOVA) e a otimização pela metodologia de análise de superfície de resposta (RSM) [2, 3, 10]. As codificações utilizadas neste planejamento fatorial foram as seguintes:

$$x_1 = \frac{t - 8}{2} \quad (1)$$

e

$$x_2 = \frac{T_i - 65}{11} \quad (2)$$

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Secagem do malte de milho

A Tabela 2 apresenta os valores de massa seca adimensionalizados das sementes maltadas nas devidas temperaturas de secagem. Percebe-se pela análise destes dados que o valor de umidade presente no malte de milho ficou em torno dos 40% a 43% do peso total das sementes e que os menores valores de massa seca se apresentaram a 75 °C.

Estes dados serviram de base para a obtenção das isotermas de desorção de umidade das sementes de malte de milho e para a obtenção do modelo ajustado a estes dados. As Tabelas 3, 4 e 5 mostram a avaliação do ajuste dos modelos pela metodologia ANOVA. Percebe-se que o modelo de Henderson & Henderson foi o que mais se ajustou aos dados,

pois suas correlações para ambas as temperaturas são próximas da unidade, e os testes F (F_{calc}/F_{tab}) foram todos acima de 4, como pedido pela análise estatística [2, 3, 10].

TABELA 2 – Dados experimentais da secagem de malte de milho (*Zea mays*).

Ensaio	Temperaturas de Secagem					
	54 °C		65 °C		76 °C	
	t (h)	X _{exp}	t (h)	X _{exp}	t (h)	X _{exp}
0	0	1	0	1	0	1
1	1	0,6822	1	0,6663	1	0,6950
2	2	0,6493	2	0,6037	2	0,6408
3	3	0,6227	3	0,6000	3	0,5844
4	4	0,6136	4	0,5946	4	0,554
5	5	0,5854	5,18	0,5775	5	0,5789
6	6	0,5638	6	0,5635	6	0,5854
7	7	0,5891	7	0,5833	7	0,5586
8	8	0,5915	8	0,5796	8	0,6322
9	9	0,5667	8	0,5787	9	0,5338
10	10	0,5860	8	0,5802	10	0,5648
11	11	0,6067	9	0,5781	11	0,5469
12	12	0,5773	10	0,5802	12	0,5888
13			10,8	0,5900		
14			12	0,6027		

TABELA 3 – Avaliação dos modelos de secagem pela metodologia ANOVA 54 °C.

Tipo de Parâmetro	Modelo empírico				
	1	2	3	4	5
<i>A</i>	0,6473	0,8348	-	23,0277-	- 0,1254
<i>B</i>	-	-	-	69,8444	0,0081
<i>K</i>	0,0112	0,1010	0,0634	-	-
<i>R</i>	0,2613	0,995	1,5320	0,5990	1,3208
F_{calc}/F_{tab}	0,1888	4,7290	-	0,2063	3,3942

TABELA 4 – Avaliação dos modelos de secagem pela metodologia ANOVA 65 °C.

Tipo de Parâmetro	Modelo empírico				
	1	2	3	4	5
<i>A</i>	-	0,8250	-	-	1,0000
<i>B</i>	-	-	-	21,1138	- 0,1275
<i>C</i>	-	0,0881	-	64,0638	0,0085
<i>R</i>	0,1900	0,7990	2,4444	0,4204	1,8638
F_{calc}/F_{tab}	0,8261	4,0388	-	2,0084	4,6383

TABELA 5 – Avaliação dos modelos de secagem pela metodologia ANOVA 76 °C.

Tipo de Parâmetro	Modelo empírico				
	1	2	3	4	5
<i>A</i>	0,7194	0,8839	-	4,3147-	- 0,1339
<i>B</i>	-	-	-	30,4875	0,0088
<i>K</i>	0,0271	0,1794	0,0666	-	-
<i>R</i>	0,5301	0,9758	1,4878	0,6736	1,2957
F_{calc}/F_{tab}	1,0589	10,2414	-	1,0315	7,0021

As Figuras 1, 2 e 3 mostram as isotermas de dessorção de umidade do malte de milho obtidas a partir dos dados experimentais (pontos) e os simulados (linha) a 54, 65 e 76 °C, respectivamente. Pela análise gráfica, vê-se que a umidade nas sementes começa a se estabilizar entre a terceira e quarta hora de secagem, quando os gráficos se apresentam assintóticos com o eixo das abscissas, comportamento este, já apresentado por vários autores. Na isoterma a 75 °C, observam-se os maiores valores de dessorção de umidade, no entanto a essa temperatura a atividade enzimática no malte foi reduzida, como mostrado na Tabela 6, o que compromete o seu uso.

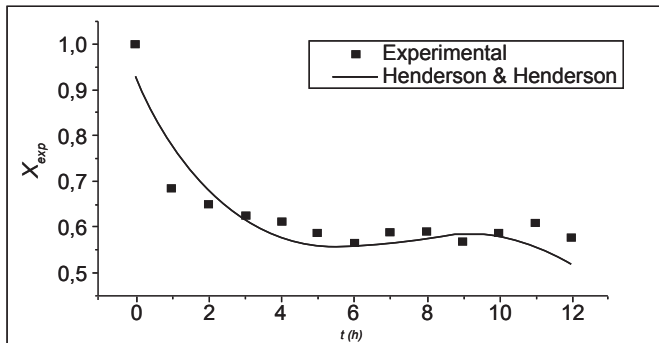


FIGURA 1 – Isotermas de secagem do malte de sementes de *Zea mays* a 54 °C.

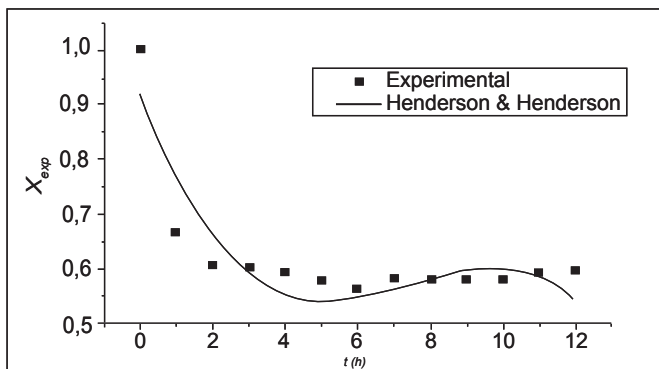


FIGURA 2 – Isotermas de secagem do malte de sementes de *Zea mays* a 65 °C.

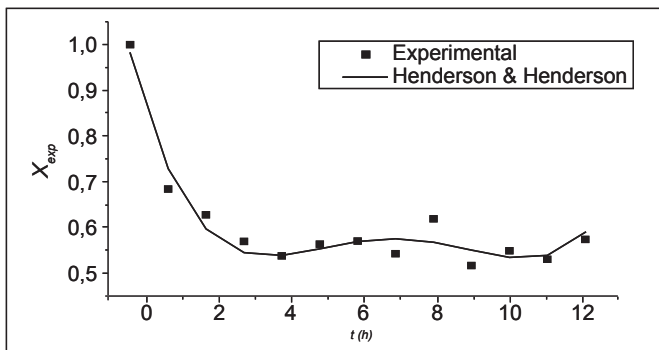


FIGURA 3 – Isotermas de secagem do malte de sementes de *Zea mays* a 76 °C.

3.2 - Otimização da secagem do malte de milho

A Tabela 6 apresenta os ensaios realizados a partir da combinação dos pontos do arranjo elaborado para o planejamento. Nesta encontram-se os valores experimentais de atividade enzimática específica (AE), resposta *y*, obtida em cada ensaio. Estes serviram de base para a regressão pelo método dos mínimos quadrados e obtenção dos modelos, bem como a posterior avaliação destes pela metodologia ANOVA, como será visto a seguir.

TABELA 6 – Matriz de planejamento utilizada para realizar a otimização do processo de secagem do malte de sementes de milho (*Zea mays*).

Ensaio	t (h)	T (°C)	x_1	x_2	AE
1	6	54	- 1	- 1	6,684
2	10	54	+ 1	- 1	1,710
3	6	76	- 1	+ 1	0,1292
4	10	76	+ 1	+ 1	0,2656
5	8	65	0	0	0,4822
6	8	65	0	0	0,4522
7	8	65	0	0	0,5851
8	5,18	65	- 1,41	0	0,2571
9	10,8	65	+ 1,41	0	0,3097

Quando o malte foi seco a 103-105 °C para determinação da umidade total, a atividade enzimática residual neste, após 48 horas de secagem, foi de 0,3185 SKB/ µg de proteínas, mostrando que as α -amilases de malte de milho são notavelmente termoestáveis [11, 14]. De acordo com REGULY [13] é atribuído ao malte de cevada valor 100 e ao de milho 28, de potencial enzimático. Com relação à atividade específica do malte seco 54 °C por 6 h (ensaio 1), houve uma elevação em cerca de cinco vezes com relação ao seu valor inicial (no milho germinado e úmido), elevando o potencial enzimático a níveis superiores ao do malte de cevada. Isto ocorreu provavelmente, pela eliminação de alguns compostos voláteis inibidores da enzima, pela caramelização de carboidratos pelo calor, que são como produtos gerados pela hidrólise atual como inibidores das enzimas [7, 9, 14].

A seguir, está apresentada a Equação 3, que descreve o modelo ótimo para avaliar a dependência da atividade enzimática durante o processo de secagem do malte de milho. Percebe-se que nesta equação a atividade enzimática específica (AE) está sob a forma de logaritmo natural e sua dependência foi quadrática com os fatores, tempo (*t*) e temperatura (*T*) de secagem.

$$\ln AE = - 0,6886 + 0,0476.t - 1,4522.T - 0,2910.t^2 + 0,7437.T^2 + 0,5209.t.T \quad (3)$$

Na Tabela 7, encontram-se os resultados obtidos pela análise de variância (ANOVA) para o modelo ótimo. Nela encontramos valores de análise da variância explicável, máxima explicável e correlação múltipla (R^2). Quanto mais próximos estes valores estiverem de 100 (1° e 2°) e 1,0 (3°), menor será a quantidade de erros acumulada no modelo [2, 3, 9]. Percebe-se que os valores obtidos para os parâmetros citados se enquadram no esperado, então, pelo conceito

deles, pode-se afirmar que o modelo apresenta baixos erros devido à regressão (variâncias e R^2) e baixos erros devido aos métodos empregados nas análises.

As duas colunas finais da Tabela 3 apresentam os testes F, sendo que o primeiro (F_{calc}/F_{tab}) indica que o modelo é significativo, ou seja, os dados preditos se aproximam dos experimentais. Já o segundo (F_{tab}/F_{calc}) indica que os dados estão ajustados e descrevem bem a superfície de resposta. Para que o primeiro teste seja válido, é necessário que o valor do F_{calc} (calculado) seja quatro vezes maior que o F_{tab} (tabelado) [3, 10], condição esta que se aproxima da encontrada, mostrando que o modelo é significativo dentre os estudados neste trabalho. No caso do segundo teste, a condição de validade é inversa, ou seja, F_{calc} tem que ser quatro vezes menor que o F_{tab} [3, 10], mas para o modelo observa-se que o F_{calc} é duas vezes menor que o F_{tab} , isto significa que os dados não conseguem descrever bem a superfície, embora seja o modelo que melhor se ajustou ao processo [2, 3, 10].

TABELA 7 – Análise da variância do modelo que mais se ajustou ao a otimização processo de secagem.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F_{calc}	F_{tab}
Regressão	10,981	5	2,196		
Resíduos	0,211	3	0,070	31,269	9,01
Falta de Ajuste	0,175	1	0,175		
Erro Puro	0,036	2	0,018	9,718	18,51
Total	11,118	8			
% de variância explicada =				98,763	
% máxima variância explicável =				99,677	
Coeficiente de determinação (R^2) =				0,9876	

As Figuras 4 e 5 apresentam a superfícies de respostas em 2D e 3D para obter a condição ótima do processo. Na Figura 4, percebe-se que a atividade enzimática (na forma de \ln) aumenta com a redução do tempo e temperatura de secagem.

Isto também pode ser observado na Figura 5, que, além de comprovar esta tendência, mostra que ao fixarmos o tempo na faixa dos menores valores (máximo de atividade), - 1 a - 1,41 (5,18 e 6 h), e aumentarmos a temperatura ao seu maior valor, + 1 (76 °C), a atividade cai bruscamente, enquanto que se fixarmos a temperatura no seu menor valor, - 1 (54 °C), e variarmos o tempo do seu menor valor, - 1,41 (5,18 h), para o maior, + 1,41 (10,8 h), a atividade sofrerá uma leve redução, indicando que o efeito da temperatura é crítico neste processo.

Isto se deve ao fato das β -amilases possuírem temperaturas ótimas próximas dos 54 °C e, desta feita, elas serão as primeiras a serem inativadas, por desnaturação térmica ao se exporem a uma maior temperatura por um longo tempo de secagem. As α -amilases possuem temperaturas ótimas próximas e até acima de 76 °C, mas também são inativadas pelo calor (como qualquer outra enzima) ao serem expostas por um longo tempo [9, 10, 13].

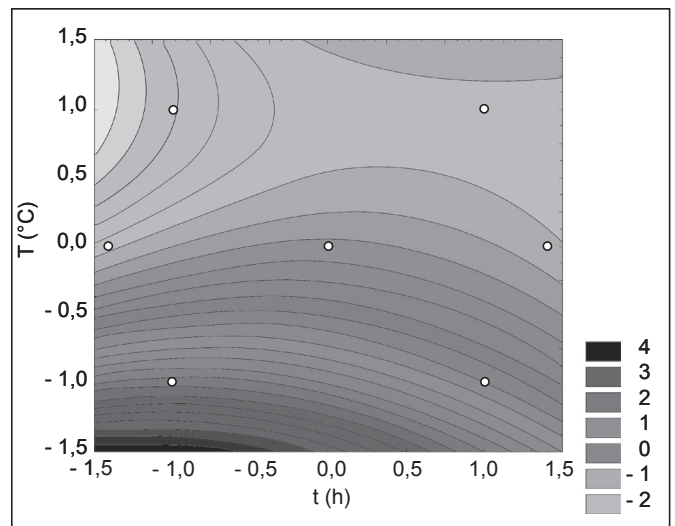


FIGURA 4 – Curvas de níveis que mostram a influência mútua do tempo e temperatura de secagem sobre a atividade enzimática do malte de milho (*Zea mays*).

O produto de interesse neste processo de secagem é o malte de milho seco, para que se evite a fácil contaminação por microrganismos e aumento de seu tempo de prateleira. Este ainda deve apresentar boa atividade enzimática, pois sem sua função catalítica este produto não possuirá interesse comercial. Assim, pela análise das superfícies de resposta, pode-se indicar a região ótima para o processo de secagem do malte de milho (*Zea mays*), como sendo aquela que se encontra a 54 °C de temperatura entre 5,18 e 6 h de secagem.

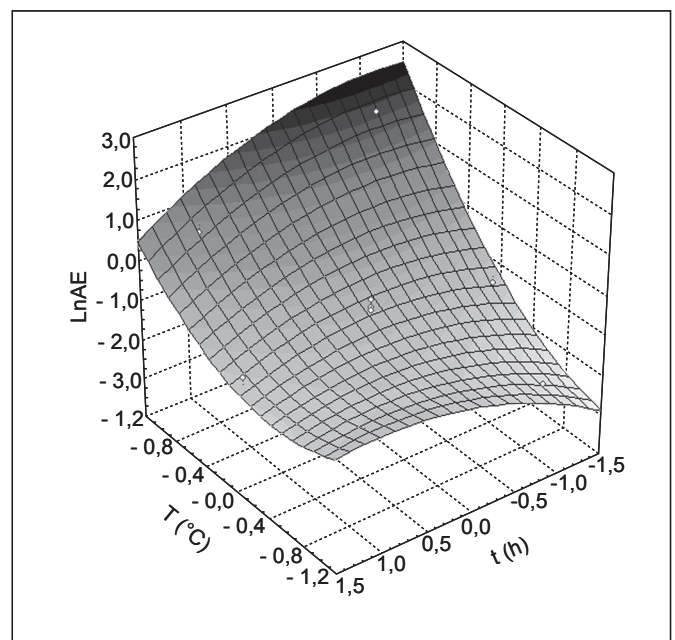


FIGURA 5 – Superfície de resposta que descreve a influência mútua do tempo e temperatura de secagem sobre a atividade enzimática do malte de milho (*Zea mays*).

4 - CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados e discussões pode-se afirmar que:

- Os dados do processo de secagem mostraram que a umidade retirada do malte de milho ficou acima dos 40% de massa total das sementes maltadas para quaisquer temperaturas usadas neste trabalho;
- As isotermas de secagem apresentaram comportamento assintótico com o eixo do tempo, como descrito na literatura e sua taxa se tornou constante entre a terceira e quarta hora de processo, mostrando que a partir desta faixa de tempo o produto já está seco e pronto para ser armazenado, embora a literatura use a faixa entre 6 e 8 h para a maioria dos alimentos. O modelo de secagem que mais se ajustou aos dados foi apresentado por Henderson & Henderson;
- Pela análise da variância (ANOVA), o modelo que melhor se ajustou ao processo de secagem do malte de milho foi aquele que apresentou a dependência quadrática da atividade enzimática na forma de logaritmo natural ($\ln AE$) com o tempo (t) e a temperatura de secagem (T); e
- A análise das superfícies de resposta mostrou uma influência maior da temperatura que a do tempo de secagem sobre a atividade enzimática no malte de milho e mostrou uma tendência desta ser alta a 54 °C e entre 5,18 e 6 h de processo, indicando que esta é a melhor condição para se secar o malte de milho (*Zea mays*) em secador com circulação de ar, nas condições estudadas neste trabalho.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASCAR, J. M. Análise percentual. In: ASCAR, J. M. (Ed.) **Alimentos: aspectos bromatológicos e legais**, v. 1, 1ª edição, São Leopoldo – RS: UNISINOS Editora, 1995, p. 243-252.
- [2] BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S. & BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. v. 1, 1ª edição, Coleção livros – Textos. Campinas-SP: EDUNICAMP, 2001.
- [3] BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. v. 1, 1ª edição, Série manuais. Campinas-SP: EDUNICAMP, 1995.
- [4] BARROZO, M. A. S.; SARTORI, D. J. M.; FREIRE, J. T. Secagem de grãos em camada fina. Um estudo sobre as equações de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Química**, v. 16, p. 9-15, 1994.
- [5] BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein. utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem.** v. 72, 248-254, 1976.
- [6] BROD, F. P. R. **Avaliação de um secador vibro-fluídizado**. Campinas – SP, 2003, p. 20-37. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

- [7] DIXON, M. & WEBB, E. **Enzymes**, 2ª edição, London, Great Britain: LONGMAN, 1971.
- [8] FREIRE, J. T.; SARTORI, D. J. M. Secador – Transportador Tipo Esteira. Processo de Secagem e Qualidade do Produto. In: **XXV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados**, 1998. São Carlos – SP: Anais do XXV ENEMP, v. 2, p. 475-479.
- [9] JESUS, S. S. **Desenvolvimento e análise do processo de secagem de α -amilase por microondas a vácuo**. Campinas – SP, 2002, p. 13-15. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- [10] KHURI, A.; CORNELL, J. A. **Response surface: design and analysis**. 2ª edição. New York, USA: Marcel Dekker, Inc., 1996.
- [11] MURALIKRISHNA, G.; NIRMALA, M. Cereal α -amylases – an overview. **Carbohydrate polymers**, v. 60, p. 163-173, 2005.
- [12] NIRMALA, M.; MURALIKRISHNA, G. Three α -amylases from finger millet (Ragi, Eleusine coracana, Indaf-15) – Purification and partial characterization. **Phytochemistry**, v. 62, p. 21-30, 2003.
- [13] REGULY, J. C. **Biotecnologia dos processos fermentativos**. v. 1, 1ª edição, Pelotas-RS: EDUFPeL., 1996.
- [14] SANTANA, J. C. C. **Recuperação das enzimas α e β -amilases em sistema bifásico aquoso PEG/ CaCl₂ para uso como biocatalizador de amiláceos**. Campinas – SP, 2003, 232p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- [15] SIGMA CHEMICAL COMPANY, CATALOGUE. **Biochemicals organic compounds and diagnostic reagents**, 1996.
- [16] WISEMAN, A. **Handbook of enzyme biotechnology**. 2ª edição. New York, USA: John Wiley Sons, 1987.

6 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, ao PIBIC/ CNPq-UFS e à FAPESP pelo auxílio financeiro.

7 - NOMENCLATURA

A	Primeira constante de secagem (adimensional)
AE	Atividade enzimática (SKB/ μ g)
B	Segunda constante de secagem (adimensional)
F_{calc}	Teste F calculado (adimensional)
F_{tab}	Teste F tabelado (adimensional)
K	Constante de secagem (h ⁻¹)
R	Coefficiente de correlação (adimensional)
R²	Correlação múltipla (adimensional)
T	Temperatura de secagem (°C)
t	Tempo de secagem (h)
X_t	Massa seca variando com o tempo de secagem (g)
X₀	Massa úmida (g)
X_{exp}	Massa seca adimensionalizada (adimensional)
x_t	Codificação da variável tempo (adimensional)
x₂	Codificação da variável temperatura (adimensional)