

AUTORES
AUTHORS

✉ **Joana Paula Menezes BIAZUS¹**
José Carlos Curvelo SANTANA²
Roberto Rodrigues de SOUZA¹
Elias Basile TAMBOUGI²

¹Departamento de Engenharia Química, CCET-UFS, S/N, Rosa Elze,
CEP: 49.100-000 - São Cristóvão-SE, Brasil,
e-mail: rrsouza@ufs.br

²DESO/ FEQ/ UNICAMP, Av. Albert Einstein, 500, P. Box: 6066,
CEP: 13083-970 - Campinas-SP, Brasil,
e-mail: eliatam@feq.unicamp.br

RESUMO

Neste trabalho foram feitos estudos sobre a otimização da germinação das sementes e do processo de secagem para a obtenção do malte de milho. Assim, fatores que influenciam na obtenção de um malte com uma boa atividade enzimática, das α e β -amilases, foram observados com intuito de agregar valor à cultura do milho. As sementes de milho foram umidificadas até 40 a 45 % de seu peso total e a germinação ocorreu em escala laboratorial. Diariamente era medida a atividade enzimática nas sementes. Os dados experimentais serviram para obter um modelo empírico que descrevesse o comportamento da atividade enzimática nas sementes com o tempo de germinação. A secagem se deu em um secador convectivo com circulação de ar em temperaturas e tempo planejados. As medições da variação da umidade e da atividade enzimática com o tempo de secagem foram feitas segundo as metodologias apresentadas em ASCAR (1985) e em REGULY (1996). A máxima atividade enzimática nas sementes germinadas se apresentou no quarto dia e o modelo ajustado foi semelhante ao do crescimento de microrganismos. A secagem foi rápida e sua melhor condição foi a 54 °C e em tempo menor ou igual a 6 horas. Assim, este trabalho virá a contribuir com a produção do malte de milho, pois suas etapas de processamento foram otimizadas, bem como possibilitará agregar valor à cultura.

ABSTRACT

In research work were make a optimization study in seeds germination and drying process for maize malt manufacture. Thus, looking the factors that influencing in obtaining the maize malt with high enzymatic activity of α e β amilases, and it attempts aggregated value to maize culture. The maize seeds were umidified until 40 at 45 % of total weight and the germination was occur in laboratorial scale. Daily the enzymatic activity was measured in the maize seeds. How the experimental data, the empiric model for describing to behavior of the enzymatic activity with germination time was fitting. The drying process was make in a convective dryer with air circulation in plaining temperatures and time. The moisture and enzymatic activity changing with the drying time were measured by methodologies showed in the ASCAR (1985) and REGULY (1996). The maximum enzymatic activity in the maize seeds occurred in the fourth day and the fitting model was similar to microorganism grown model. The maize drying process was speed and its optimal condition was at 54 °C for time minor or equal at 6 hours. Thus, this work will go contributed with the maize malt manufacture, for its processing stages were optimized, it may be to aggregate valor to maize culture.

PALAVRAS-CHAVE
KEY WORDS

Otimização, e amilases, malte de Zea mays; secagem, germinação. /
Optimization, and amylases, Zea mays malt; drying process, germination.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Fisiologia das sementes de milho

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. Este é classificado como mono cotilédone, e sua semente está dividida em camada protetora (casca), aleurona, endosperma e o embrião. O último é composto pelo cotilédone, o epicótilo (que origina o broto) e a radícula (que se origina a raiz). A Figura 1, mostra a germinação de uma monocotilédone que ocorre quando o crescimento da radícula rompe o tegumento da semente e aparece como uma raiz jovem. A energia para a germinação da semente vem da respiração do açúcar do endosperma. Contudo, o embrião e o amido estão separados um do outro, ou seja, para que a semente germine deve haver ação de forças externas para ativar suas funções fisiológicas.

Naturalmente, há uma pequena atividade biológica nas sementes, devido à presença das enzimas α -amilase que degrada o amido para produzir a maltose e fornecer energia para manter a atividade biológica nas células da semente. A água entrando na semente e no embrião dissolve uma substância produzida no interior do embrião. Esta substância é conhecida como ácido giberélico (AG). Este é um hormônio vegetal não muito diferente dos esteróides. O AG dissolvido é transportado com a água pelo restante dos tecidos da semente, até chegar à camada de aleurona. O AG entra no citoplasma dessas células, "ativando" certos genes do DNA nuclear. O DNA é, naturalmente, a molécula hereditária e contém as instruções para fazer todas as proteínas necessárias para a sobrevivência da planta de cevada. O mecanismo preciso sobre como o AG "ativa" o DNA é ainda desconhecido. É claro, contudo, que o modo de ação é ligar apenas alguns genes específicos do DNA (AQUARONE et al., 2001; SANTANA, 2003).

Os genes que são "ligados" são transcritos. A informação arquivada em DNA é preciosa, de modo que as células de aleurona fazem uma cópia "descartável" em RNA do gene que está ligado. Esta cópia, como um tipo de projeto, é chamada de RNA mensageiro. O processo de fazer esta cópia é

chamado transcrição. O RNA que foi feito no processo de transcrição é transportado até o citoplasma das células de aleurona. No citoplasma, o RNA mensageiro se junta ao ribossomo para começar o processo de produção de uma proteína. Este processo é denominado síntese protéica ou tradução. Neste processo o ribossomo examina a informação mantida na seqüência de bases do RNA.

RNAs transportadores carregados com aminoácidos específicos são colocados nas posições especificadas nas instruções do RNA mensageiro e os aminoácidos são agrupados na seqüência certa pelo ribossomo. A seqüência de aminoácidos determina as propriedades da proteína que está sendo montada. Neste caso, a proteína crítica feita com a informação mantida no RNA é a α -amilase. Esta proteína resulta em uma enzima do mesmo nome, de grande importância para a indústria de alimentos (SANTANA, 2003).

1.2 Enzimas amilolíticas

Desde o início do século, o estudo da viabilidade de aplicação das enzimas em processos biotecnológicos têm tido um grande destaque a nível Mundial. Dentre estas enzimas podemos destacar como as mais importantes para a biotecnologia até o momento as enzimas α e β -amilases. O uso fundamental das amilases está na hidrólise do amido, principalmente na indústria de panificação; no pré-cozimento de cereais nas indústrias de fermentação, para a produção de álcool e bebidas alcoólica; na fabricação de xaropes de glicose, via hidrólise pelas amilases; no preparo de gomas de dextrinas, usadas para acabamento de papéis e tecidos; dentre outros.

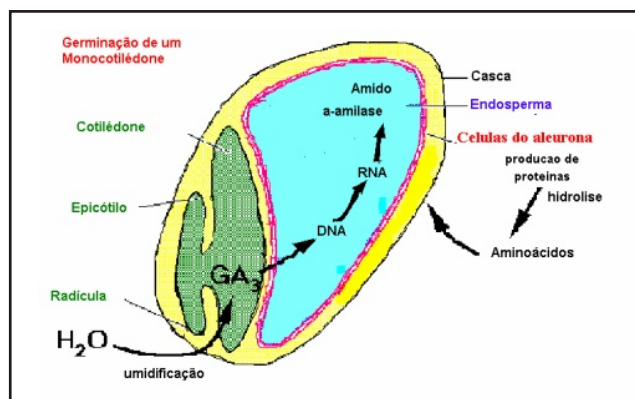
As enzimas α -amilase (EC 3.3.1.1; α -1,4 glicano, 4-glicanohidroxilase) e β -amilase (EC 3.2.1.1, β -1,4, glicanomaltotransferase) são muito utilizadas nas indústrias de álcool, principalmente as cervejarias, em indústrias têxteis, em indústrias de processamento de farinhas. Normalmente, elas são obtidas de malte da cevada (embora qualquer cereal germinado às contenha) ou de microrganismos, suas temperatura e seus pHs ótimos variam entre 75°C e 55°C e 4,8 e 6,5; respectivamente, dependendo da sua origem (FORGATY and KELLY, 1979). Tais enzimas são obtidas comumente de malte da cevada ou de microrganismos e seus preços, após purificação, alcançam US\$ 1,500.00 (SIGMA CHEMICAL Co., 1996).

1.3 Secagem

Um método utilizado em vários países que visa contribuir com a preservação da atividade enzimática original do produto é a secagem. A secagem é 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, através de 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 (JESUS, 2002).

Desta maneira, o objetivo deste trabalho foi otimizar as etapas de produção do malte de milho para obter um produto final com boa atividade enzimática. Para tanto

Figura 1 Esquema da síntese da enzima α -amilase, em semente de monocotilédone.



estudou-se minuciosamente a influência dos fatores: tempo de germinação, no processo de maltação, temperatura e tempo, no processo de secagem, sobre a atividade das enzimas amilolíticas do malte de milho.

2. METODOLOGIA

2.1 Maceração das Sementes

Sementes selecionadas provenientes da EMBRAPA-SE foram limpas com água destilada, para eliminar ácidos voláteis e outras substâncias retidas na superfície dos grãos, depois se umedeceram as sementes até que as mesmas atingissem entre 40 a 45% de umidade, trocando-se a água a cada uma hora. O tempo de duração deste processo girou em torno de 12 a 14 horas, sendo observada a máxima absorção relativa de umidade pelas sementes durante a lavagem e nas primeiras 4 horas (AQUARONE et al., 2001; SANTANA, 2003).

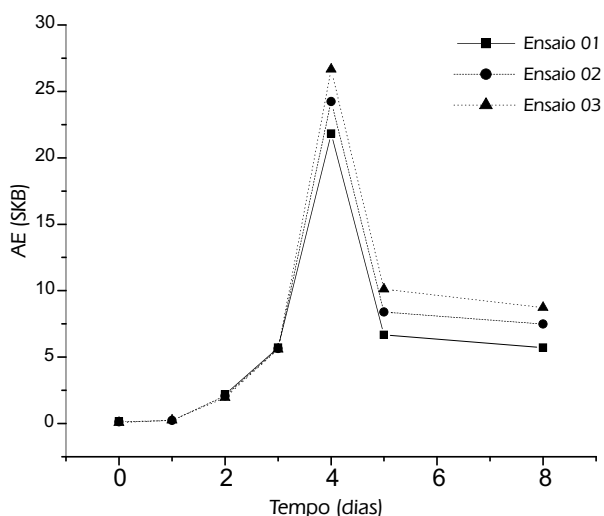
2.2 Germinação

Foi feita em bancada de laboratório, onde as sementes úmidas foram distribuídas sobre uma superfície artificial, composta de folhas de papel de filtro (tamanho A4) e estas sobre camadas de algodão, para reter o máximo possível de umidade na superfície, evitando assim que as sementes perdessem umidade. As sementes foram umedificadas com água destilada, utilizando-se borrifadores. A germinação foi interrompida após o 8º dia, quando se observou o aparecimento de folíolos nos brotos (AQUARONE et al., 2001; SANTANA, 2003).

2.3 Amostragem

As amostras foram coletadas diariamente em um

Figura 2 Comportamento da atividade enzimática (AE) durante a germinação das sementes de Zea mays.



mesmo horário, sendo depois moídas em moinho de parafuso e uma pequena massa variando entre 1,0 g a 2,0g da mesma foram solubilizadas a 50 mL em solução de NaCl e CaCl₂ a 3 e 2 g/L respectivamente (SANTANA, 2003).

2.4 Medição da atividade enzimática

Foi feita pelo Método de Wohlgenuth, modificado por Sandstedt, Kneen, Blish, que se baseia na dextrinização de uma certa massa de amido solúvel que sofre influência de um excesso de α -amilase, pela β -amilase em uma hora, sendo sua unidade usual dada em SKB (REGULY, 1996).

2.5 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 (1976), que consiste na análise da absorbância a 595 nm do complexo formado entre as proteínas e o reagente de Coomassie biliante blue - G.

2.6 Processo de secagem do malte

Foi realizado em um secador convectivo com circulação de ar em condições temperatura, umidade relativa e vazões constantes. Foram utilizadas três temperaturas: 54°C, 64°C e 76°C seguindo o planejamento previamente feito em torno das temperaturas ótimas 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, medidas o seu peso úmido e postas a secagem nas temperaturas indicadas. Após cada hora de processo (12 h no total) foram coletadas amostras para medir o peso seco das sementes e obter a umidade nelas contida, por diferença de peso. Para a determinação da umidade inicial dos grãos foi feita a exposição das sementes a 103-105°C durante 40 a 50 horas de processo de acordo com a metodologia descrita por ASCAR (1985). O peso das sementes maltadas secas (X_s) foi dividido pelo peso úmido (X_u) e assim, adimensionalizado (X_{exp}). Foram montadas as isotermas de dessecção para as temperaturas citadas, que estão apresentadas na Figura 4 (FREIRE e SARTORI, 1998; JESUS, 2002).

Figura 3 Apresentação da dependência de AE com o tempo de germinação na forma de modelos empíricos.

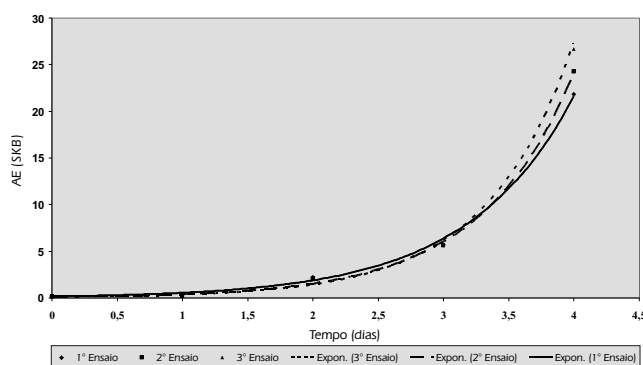


Tabela 1 Dados experimentais de atividade enzimática durante a germinação das sementes de milho (Zea mays).

Tempo (dias)	Atividade Enzimática (SKB)		
	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03
0	0,157	0,117	0,0762
1	0,234	0,234	0,25
2	2,182	2,074	1,959
3	5,714	5,648	5,581
4	21,818	24,242	26,667
5	6,667	8,386	10,105
8	5,714	7,48	8,727

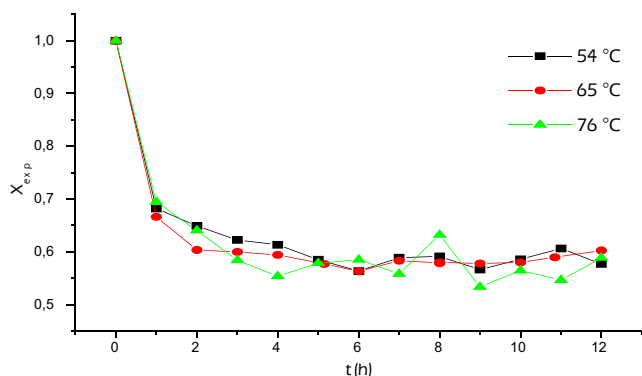
2.7 Planejamento e otimização da secagem do malte

Neste item foi investigada a influência do tempo (t) e temperatura (T) de secagem sobre a atividade enzimática (AE) do malte de milho, para tanto foi feito um planejamento experimental do tipo 22 com "design" hexagonal (ver Tabela 3). 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), todos descritos em BARROS NETO et al. (1995 e 2001). As codificações utilizadas neste planejamento fatorial foram as seguintes:

$$1. x_1 = \frac{t_i - 8}{2}$$

$$2. x_2 = \frac{T_i - 65}{11}$$

Figura 4 Isotermas de secagem do malte de sementes de milho (Zea mays).



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção do malte

Na tabela a seguir encontram-se os dados de atividade enzimática das sementes de milho durante a germinação em escala laboratorial. Foram realizados três ensaios num mesmo período com as sementes de uma mesma safra. Todos os ensaios foram realizados em triplicata e seus valores médios estão apresentados para cada ensaio na Tabela 01.

A seguir vemos a Figura 2 que mostra o crescimento de atividade enzimática (AE) das amilases durante o decorrer de um período de 8 dias, para três ensaios com amostras de uma mesma variedade de milho, de mesma época de colheita, germinadas no mesmo período, com umidade controlada e nas condições ambientais de temperatura e pressão.

Nesta figura pode-se observar que a atividade enzimática durante a germinação, apresenta comportamento semelhante para ambos os ensaios. Vê-se que a atividade enzimática apresenta crescimento lento até o terceiro dia após as sementes serem postas a germinar, sendo que no quarto dia alcança seu valor máximo em ambos os experimentos, gerando um pico nos gráficos, para depois cair a um valor constante. É de se esperar inicialmente uma taxa de atividade enzimática baixa nas sementes (quase que exclusiva devido à presença das -amilases) já que estas ainda estão em estado de dormência. Quando a água penetra na semente, facilita o transporte de glicerídeos (formas pela -amilase) e do ácido giberélico (AG) para as camadas de aleurona onde, os primeiros fornecerão energia para alimentar as células, enquanto que, o segundo ativa os genes do DNA, responsáveis pela formação das -amilases. Com isto percebe-se que esta geração de enzimas a princípio é lenta, acelerando posteriormente, até que alcança seu valor máximo no quarto dia, quando a concentração de produtos gerados pelas enzimas faz com que parte destas sejam inibidas e sua atividade reduza a um valor constante (SANTANA, 2003).

3.2 Modelagem da germinação

É perceptível quando observamos a Figura 3 que há um comportamento semelhante a uma curva do tipo exponencial na etapa de crescimento enzimático (primeira parte antes dos picos nos gráficos). Logo este comportamento pode ser modelado semelhante ao da taxa de crescimento microbiano, do tipo $y = y_0 e^{bx}$. Então, em nosso estudo, para provar que esta analogia é válida faremos as seguintes denominações:

AE será a simbologia usada para a atividade enzimática (neste caso em SKB);
 AE₀ será a atividade enzimática das sementes 'in natura' ou a atividade inicial das sementes (SKB);
 t, o tempo de germinação das sementes (em dias);
 E é a taxa de crescimento da atividade enzimática da semente característica para cada variedade.

Desta forma, nosso modelo será escrito como sendo:

$$3. AE = AE_0 e^{-t}$$

A partir de um ajuste exponencial dos dados de atividades enzimáticas (valores médios), obtidas experimentalmente em escala laboratorial e apresentados na Tabela 1, foram encontrados os valores dos parâmetros AE_0 e os valores apresentados a seguir nas equações 4, 5 e 6. Como vemos a taxa de crescimento enzimático (λ) apresenta um valor próximo de 1,362 (dias)⁻¹ (0,133 de desvio, 9,8% de erro), mostrando que este valor é característico para a variedade estudada. Contudo, mesmo em amostras de uma mesma safra a atividade destas no estado natural (atividade inicial, AE_0) não pode ser considerada como constante, já que seu valor médio ficou em torno de 0,110 e sua oscilação foi de 44 % (0,048 de desvio padrão), ou seja, este valor é característico das amostras, embora seus genótipos sejam parecidos.

$$4. AE_{(1)} = 0,1643 e^{1,2197 t} \quad R = 0,9986$$

$$5. AE_{(2)} = 0,0944 e^{1,3851 t} \quad R = 0,9902$$

$$6. AE_{(3)} = 0,0727 e^{1,4821 t} \quad R = 0,9958$$

A Figura 3 mostra as curvas geradas pelos modelos empíricos que correlacionam a atividade enzimática com o tempo de germinação das sementes de milho. Perceba que os dados estão bem ajustados às curvas, além das correlações estarem próximas dos seus valores máximos (1,0), indicando assim, um bom ajuste dos modelos.

Estes dados serviram de base para a obtenção das isotermas de sorção de umidade das sementes de malte de milho, como estão apresentadas na Figura 4. Através da 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, sendo que na isoterma a 75 °C observam-se os maiores valores de dessorção de umidade.

3.3 Secagem do malte de milho

A Tabela 2 apresenta os valores dos pesos secos adimensionalizados das sementes maltadas em suas devidas temperaturas de secagem. Percebe-se através da 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 peso seco se apresentaram a 75°C.

Estes dados serviram de base para a obtenção das isotermas de sorção de umidade das sementes de malte de milho, como estão apresentadas na Figura 4. Através da análise

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	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	5,15	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			10,85	0,5900		
14			12	0,6027		

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, sendo que na isoterma a 75 °C observam-se os maiores valores de dessorção de umidade.

3.4 Otimização da secagem

A Tabela 3 apresenta os ensaios realizados a partir da combinação dos pontos do “design” elaborado para o planejamento. Nesta encontra-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.

Na Tabela 4 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 (R²), pois quanto próximos estes valores estiverem de 100 (1° e 2°) e 1,0 (3°), menor será a

Tabela 3 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

quantidade de erros acumulada no modelo. Percebe-se que os valores citados abaixo se enquadram no pedido pela literatura, então pelo conceito dos mesmos, pode-se afirmar que o modelo apresenta baixos erros devido à regressão (variâncias e R²) e baixíssimos erros devido aos métodos empregados nas análises.

As duas colunas finais da Tabela 4 apresentam os teste F, sendo que o primeiro indica que o modelo é significativo, ou seja, os dados preditos se aproximam dos experimentais e o segundo 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) (BARROS NETO et al., 1995), condição esta que se aproxima da encontrada na Tabela 4, 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} (BARROS NETO et al., 1995), 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 mais se ajustou ao processo (BARROS NETO et al., 1995 e 2001).

A seguir está apresentada a equação 6, 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 na forma de logaritmo natural e que sua dependência com os fatores, tempo (t) e temperatura (T) de secagem.

$$\ln AE = -0.6886 + 0.0476t_1 - 1.4522T_2 - 0.2910t_1^2 + 0.7437T_2^2 + 0.5209t_1T_2$$

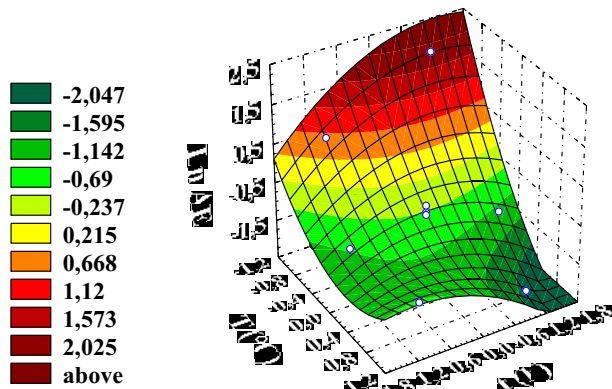
A superfície de resposta obtida a partir do modelo ótimo está apresentada na Figura 5. Percebe-se que a atividade enzimática (na forma de ln) aumenta com a redução do tempo e temperatura de secagem, mostrando a que se ao fixarmos o tempo na faixa dos menores valores (máximo de atividade), -1 a -1,41 (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

Tabela 4 Análise da variância do modelo que mais se ajustou ao da 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
Coefficiente de Determinação (R ²) =	0,9876

Figura 5 Superfície de resposta que descreve o comportamento da atividade enzimática sobre influência do tempo e temperatura no processo de secagem do malte de milho (*Zea mays*).



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 α -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, enquanto que as β -amilases por possuírem temperaturas ótimas próximas e até acima de 76 °C, mas também serem inativadas pelo calor (como quaisquer outra enzima) ao serem expostas por um longo tempo a uma determinada temperatura (AQUARONE et al., 2001; FORGATY and KELLY, 1979; WISEMAN, 1987).

O produto de interesse neste processo de secagem é o malte de milho seco, para que se evite a fácil contaminação por microrganismos e aumente o seu tempo de prateleira; e com boa atividade enzimática, pois sem sua função catalítica este produto não possuirá interesse comercial. Sendo 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 e 5,18 a 6 h de secagem.

4. CONCLUSÕES

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

- A plotagem dos dados de tempo em dias e atividade enzimática em SKB, resultou numa curva em forma de pico, onde a máxima atividade das sementes foi observado no quarto dia de germinação e observamos que até a formação do pico a atividade enzimática (AE) é uma função exponencial do tempo (t), do tipo: $AE = A_0 e^{kt}$, onde A_0 é a atividade da semente 'in natura' e k é a taxa de crescimento da atividade enzimática da semente característica de cada variedade,

análogo ao crescimento de microrganismos. Desta forma temos um estudo definido das sementes de *Zea mays*, que otimiza o quarto dia de germinação como sendo a sua máxima atividade enzimática, o que é de grande utilidade nos processos de maltagem destas sementes.

- Os dados do processo de secagem mostraram que a umidade retirada do malte de milho ficou acima dos 40 % do peso total das sementes, sendo que seus maiores valores se encontraram na temperatura de 76 °C. As isotermas de secagem apresentaram comportamento assintótico com o eixo do tempo, como descrito na literatura e sua taxa se tornou constante a partir da terceira ou quarta hora de processo, mostrando que a partir desta faixa de tempo o produto já está seco e pronto para ser armazenado.

- Pela análise da variância (ANOVA), o modelo que mais 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 (lnAE) com o tempo (t) e a temperatura de secagem (T). 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 indicou como a melhor região para se processar a secagem do malte de milho (*Zea mays*), como sendo aquela que se encontra a 54°C de temperatura e 5,18 a 6 h de secagem.

5. REFERENCES

- ASCAR, J. M.. Alimentos: Aspectos Bromatológicos e Legais. Análise Percentual. Vol.01. 1ª Ed. UNISINOS Editora. São Leopoldo RS-Brasil. 1995, p243-252.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S. e BRUNS, R. E. Como Fazer Experimentos: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria. Vol. 1, 1ª edição. Coleção Livros - Textos, EDUNICAMP, Campinas SP, 2001, p 406.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S. e BRUNS, R. E. Planejamento e Otimização de Experimentos. Vol. 1, 1ª edição, Série Manuais, EDUNICAMP, Campinas SP, 1995, p 302.
- 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. 72, 248-254, 1976.
- FOGARTY, W. M. and KELLY, C. T.; Topics in Enzyme and Fermentation. Biotechnolog. V.3, J. Wiley & Sons, 1979.
- FREIRE, J. T e SARTORI, D. J. M. Secador Transportador Tipo Esteira. Processo de Secagem e Qualidade do Produto. 25º Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, São Carlos SP. Anais do XXV ENEMP V. II, São Carlos SP, p 475-479, 1998.
- JESUS, S.S. Desenvolvimento e Análise do Processo de Secagem de α amilase por Microondas à Vácuo. Campinas SP: FEQ/ UNICAMP. 2002, p. 13-15. (Dissertação de Mestrado).
- SANTANA, J. C. C. Recuperação das enzimas α e β -amilases em sistema bifásico aquoso PEG/ CaCl₂ para uso como biocatalizador amiláceos. Campinas SP, FEQ/ UNICAMP, 2003,

232p. (Dissertação de Mestrado)

SIGMA CHEMICAL COMPANY, CATALOGUE.
Biochemicals organic compounds and diagnostic reagents,
1996, p.116-117.

WISEMAN, A. Handbook of Enzyme Biotechnology. 2^a
ed., John Wiley Sons, New York, EUA, 1987.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e ao PIBIC-UFS/CNPq
pela concessão das bolsas.