

# ESTUDO CINÉTICO DE DESIDRATAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE RESÍDUO DA INDÚSTRIA

C.R. LOPES<sup>1</sup>, A. M. de QUEIROZ<sup>1</sup>, K. C. da SILVA<sup>1</sup>, E. C. S. MENDES<sup>1</sup>, B.C. SILVÉRIO<sup>2</sup> e M. M. P. FERREIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás

<sup>2</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás

Email para contato: kamylla09@hotmail.com

**RESUMO** - Visando assegurar o destino mais viável para os resíduos industriais, examina-se neste estudo a caracterização do resíduo de cervejaria, vulgarmente conhecido como bagaço de malte, através de ajustes dos principais modelos matemáticos de cinética de secagem aos dados experimentais oriundos do processo de secagem. A operação aplicada foi a secagem via infravermelho. Foram avaliados os modelos matemáticos com o ajuste mais satisfatório para a equação cinética secagem. Outras abordagens deste trabalho consistem na caracterização do bagaço de malte.

## INTRODUÇÃO

A produção de cerveja no Brasil encetou-se no século XVII. Esta bebida é fabricada pela fermentação da cevada (*Hordeum vulgare*), um dos cereais mais importantes do mundo. Sucintamente a fabricação da cerveja consiste: obtenção do malte, preparo do mosto, fermentação, processamento da cerveja, envase. Ao fim do processo industrial são gerados subprodutos sendo o principal, correspondendo a 85% dos resíduos produzidos, o resíduo úmido de cervejaria. Também nomeado como bagaço da cevada, bagaço do malte ou ainda polpa úmida de cervejaria. O bagaço do malte, constituído em formas de cascas ou de farelo, possui alto teor de fibras proteicas e aproximadamente 80% em umidade (KLAGENBOECH *et al.* 2012). O tratamento e o destino dos resíduos industriais são aspectos altamente significativos, uma vez que o descarte de subprodutos industriais em locais impróprios provoca grandes impactos ao meio ambiente. Geralmente, uma das alternativas para esse resíduo é aplicação na produção de ração animal, devido seu alto valor nutricional e seu baixo custo de aquisição. No entanto o alto teor de umidade do bagaço facilita o crescimento microbiano, inviabiliza o transporte e armazenamento por causa do seu elevado volume, consequentemente reduz seu tempo de vida. Analisando tais características faz-se necessário a utilização de um processo eficaz para seca-lo (BOURSCHEIDT *et al.* 2011; KLAGENBOECH *et al.* 2012).

O processo de secagem pode ser concebido por diversos tipos de equipamentos, entre eles: secadores, estufas, infravermelho. O foco deste trabalho consiste na secagem via radiação infravermelho e em estufa. A secagem via radiação infravermelho baseia-se na penetração de calor dentro da amostra. Este tipo de secagem tem sido objeto de

estudo diante das vantagens que ele proporciona, pode-se aludir: fácil operação, menor tempo de resposta e economia de energia. Já a secagem pelo método da estufa consiste na introdução do material na estufa (SILVÉRIO, 2010; FEAGRI, 2006; MELO, 2010).

## METODOLOGIA

Para os ensaios de secagem, picnometria, porosidade e granulometria foram usadas amostras do bagaço do malte, da terceira filtração, fornecidas pela empresa Ambev localizada Anápolis-Goiás. Os ensaios foram concebidos nos laboratórios de Engenharia Química A e B no Campus Samambaia da Universidade Federal de Goiás.

### Secagem

No procedimento de secagem usou-se balança acoplada ao dispositivo de infravermelho. Descongelou-se a amostra de bagaço de malte, em temperatura ambiente, durante hora antes do início do experimento. Os ensaios de secagem foram realizados nas temperaturas de 50°C, 60°C, 70°C, 80°C e 90°C. Com os dados coletados construiu-se as curvas de secagem no pacote computacional Excel.

A umidade da base seca (U.B.S.) do bagaço de malte foi calculada, em triplicata, pelo método padrão em estufa.

Para a determinação da umidade adimensional (MR) nas temperaturas trabalhadas usou-se a equação 1.

$$MR = \frac{U.B.S. - U.E.}{U.B.S.i - U.E.} \quad (1)$$

Sabe-se que: MR é a umidade adimensional; U.B.S. Umidade da base seca; U.E. é a umidade de equilíbrio; U.B.S.i é a umidade da base seca inicial.

Neste estudo os dados experimentais de secagem de bagaço de malte foram ajustados à seis modelos matemáticos utilizando o pacote computacional STATISTICA 7. A Tabela 1 apresenta as equações de cinética de secagem usadas para a avaliar os dados.

Tabela 1 - Equações de cinética de secagem da literatura.

Nome do modelo	Modelos
Brooker	MR=cexp[-(Kt)] K=aexp(-b/T)
Henderson e Henderson	MR=c[exp(-Kt)+(1/9)exp(-9K't)] K=aexp(-b/T)
Lewis	MR=exp(-Kt) K=aexp(-b/T)
Logarítmico	MR=aexp(-Kt) + c K=aexp(-b/T)
Overhults	MR=exp[-(Kt)^n] K=aexp(a+b/T)
Page	MR=exp(-Kt) K=aexp(-b/T)

### Picnometria

No método de picnometria foram usados dois diferentes tipos de fluidos: éter P.A. e glicerina P.A para se avaliar o melhor fluido de forma que estes não penetrassem nos poros das fibras do bagaço de malte. O procedimento utilizou cinco picnômetros e uma balança analítica.

## Porosidade

Para determinar a porosidade utilizou-se uma proveta e a balança analítica. Obteve-se a massa da proveta e do sólido dentro da proveta. Com o volume total da proveta foi possível obter a porosidade do material.

## Granulometria

A análise granulométrica foi realizada através de uma operação de peneiramento do bagaço seco usando um agitador eletromagnético com velocidade de 8 rpm durante 20 minutos. As peneiras selecionadas para o procedimento foram 16, 18, 20, 35, 48, 100 mesh da série Tyler. Os valores experimentais aplicados a equação 2 permitiram o cálculo do diâmetro de Sauter.

$$D_{st} = \frac{1}{\sum \left( \frac{x_i}{D_i} \right)} \quad (2)$$

Em que:  $D_{st}$  corresponde ao diâmetro de Sauter;  $x_i$  é a porcentagem retida do bagaço de malte em determinada peneira;  $D_i$  é a média da abertura em mm da peneira anterior e posterior do peneiramento.

Para consolidar a análise granulométrica, os dados experimentais do bagaço de malte foram ajustados ao modelo de Gates-Gaudin-Schumann(GGS). Realizou-se o ajuste com o pacote computacional STATISTICA 7.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

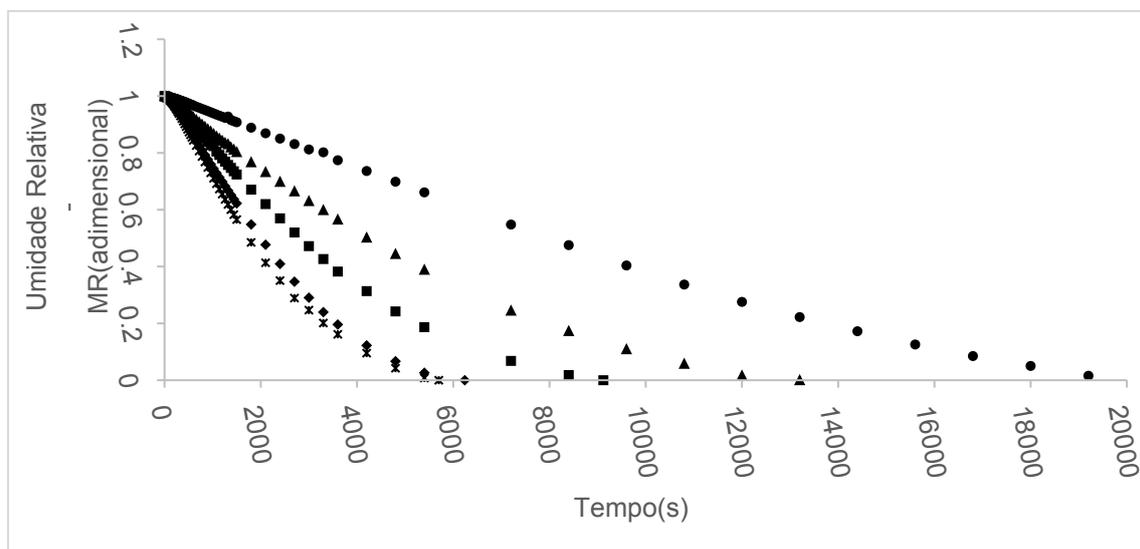
### Secagem via Infravermelho

A Figura 1 apresenta a cinética de secagem do bagaço de malte construída pela umidade relativa adimensional(MR) em função do tempo (segundos) para cinco temperaturas: 50°C, 60°C, 70°C, 80°C e 90°C.

Em exame as curvas de secagem na Figura 1, observa-se dois períodos de secagem: taxa constante e o de taxa decrescente. O período de taxa constante nas curvas de secagem abrange do valor um da umidade relativa até aproximadamente no tempo de 2000 segundos. Neste período a radiação emitida pela lâmpada do infravermelho atinge a água que está na superfície, evaporando-a. A água evapora vai sendo substituída pela água do interior do material, que migra por meio dos interstícios à superfície. Esse processo é contínuo até que o equilíbrio se mantenha, ou seja, a água interna do bagaço seja capaz repor a água evaporada na superfície. O período de taxa decrescente começa próximo a 2500-3000 segundos, quando a quantidade de água interna do bagaço diminui, assim não consegue suprir a água que está sendo evaporada, consequentemente a água da superfície reduz até que a umidade do bagaço atinja a umidade de equilíbrio.

Analisando a Figura 1, comprova-se a dependência do tempo e da temperatura para a variação da umidade do material.

Figura 1- Curvas de secagem do bagaço de malte nas temperaturas de 50°C, 60°C, 70°C, 80°C e 90°C



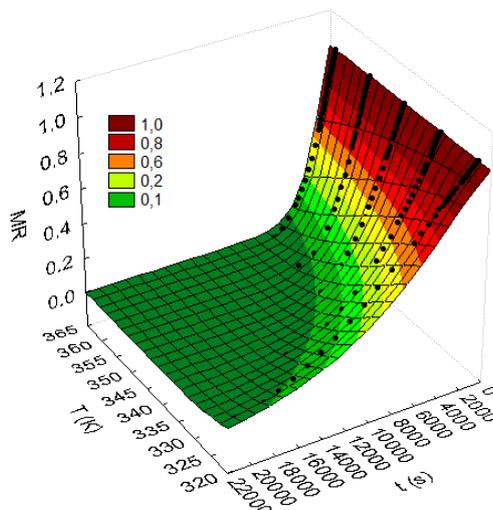
A Tabela 2 exibi os coeficientes dos seis modelos matemáticos de cinética de secagem, constantes e seus coeficientes de determinação obtidos pelo ajuste no STATÍSTICA 7.

Tabela 2- Equações da cinética de secagem com seus respectivos coeficientes, constantes e coeficientes de determinação(R<sup>2</sup>).

Modelos	Coeficientes do modelo					Constante de secagem(h <sup>-1</sup> ) K	R <sup>2</sup> (%)
	a	b	c	d	n		
Brooker	-	-	1,034105	-	-	0,000104	97,965
Herderson e Herderson	-	-	0,954830	-	-	0,000093	96,372
Lewis	34,03621	4091,308	-	-	-	-	96,998 %
Logarítmico	0,000276	2,106163	0,957165	0,076187	-	-	84,401
Overhults	3,930463	-4195,86	-	-	1,290377	-	98,965
Page	0,000311	4,816153	-	-	0,958496	-	83,702

Pela modelagem dos dados experimentais às equações de cinética de secagem nota-se que os coeficientes de determinação, R<sup>2</sup>, obtiveram valores superiores a 83% para todas os modelos. Verifica-se que o modelo de Overhults tem o maior valor do coeficiente R<sup>2</sup>. Na Figura 2 observa-se o gráfico gerado pela equação de Overhults (superfície de resposta) evidenciando boa concordância dos valores experimentais (pontos em preto).

Figura 2- Gráfico dos resultados experimentais aplicados ao modelo de Overhults



### Picnometria e porosidade

A densidade aparente do bagaço de malte obtida pelo método da picnometria usando o éter correspondeu à 0,3762 g/cm<sup>3</sup> com desvio de 0,03093 e usando a glicerina foi de 0,4022 g/cm<sup>3</sup> com desvio de 0,0750.

Percebe-se pelos que resultados que os valores de densidade aparente obtidos usando o fluido éter foi menor do que o resultado da densidade aparente usando a glicerina. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de que o éter pode ter penetrado nos poros do bagaço de malte gerando então um volume maior introduzido nas fibras do bagaço. Assim o fluido mais recomendado para esta medição foi a glicerina.

Para calcular a porosidade usou-se a densidade obtida na picnometria utilizando a glicerina. Para a densidade de 0,4022 g/cm<sup>3</sup> (picnometria com a glicerina) a porosidade obtida foi de 0,4581.

### Análise Granulométrica

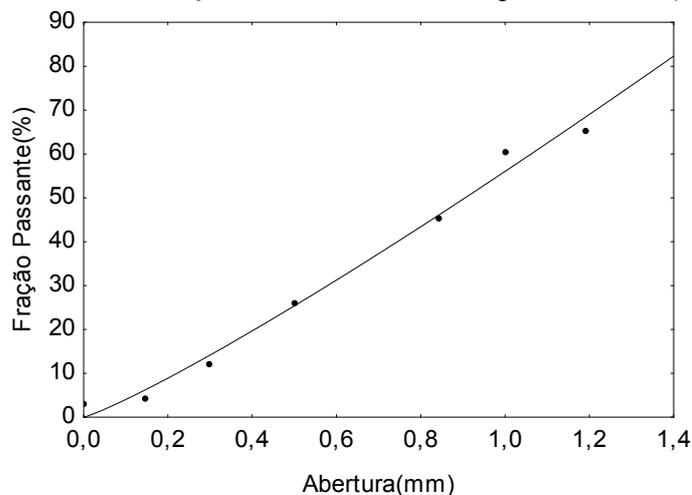
A Tabela 3 reúne os parâmetros e o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) do gráfico exibido na Figura 3. Observa-se que o valor de R<sup>2</sup> foi superior a 98% comprovando um bom ajuste dos dados ao modelo GGS.

Tabela 3 - Valores dos Parâmetros e coeficiente de determinação do ajuste realizado dos valores experimentais ao modelo de Gates-Gaudin-Shaumann.

Modelo	Parâmetro		R <sup>2</sup> (%)
	k	m	
GGS	0,029482	1,142424	98,829

A Figura 3 apresenta os valores experimentais da análise granulométrica do bagaço de malte e o modelo a estes ajustado Gates-Gaudin-Shaumann (GGS). O diâmetro de Sauter, calculado através da equação 2, foi de 0,81489 mm.

Figura 3 - Distribuição acumulativa obtida pelo modelo (GGS)



## CONCLUSÃO

De acordo com o desenvolvimento deste estudo, conclui-se que as curvas de secagem do bagaço de malte apresentaram dois períodos cinéticos de secagem: constante e decrescente. O comportamento das curvas de secagem para cinco temperaturas estudadas mostrou forte influência da temperatura no tempo de secagem. Pela avaliação dos modelos cinéticos de secagem presentes neste trabalho, Overhults apresentou o melhor ajuste para descrever a função de umidade relativa com o tempo de secagem do bagaço de malte.

No processo de granulometria, o bagaço de malte foi classificado como sólido granular. A aplicação dos dados experimentais à equação obtida na literatura e ao modelo de Gates-Gaudin-Shaumann forneceu respectivamente um diâmetro de Sauter no valor de 0,81489 mm e um ajuste satisfatório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOURSCHEIDT, C.T.; OLIVEIRA, B.H.; GONÇALVES, G.C.; SILVA, G.M.C. Estudo da secagem do bagaço de malte úmido obtido do processo industrial de cervejaria. In: II INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGRICULTURAL AND AGROINDUSTRIAL WASTE MANAGEMENT, 2., 2011, Foz do Iguaçu. *Anais do II International Symposium...* Foz do Iguaçu: 2011. p. 11-15.

FEAGRI. Projetos e Manuais. Disponível em :< <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html>>. Acesso em 04 Fev.2015.

KLAGENBOECH, R., SILVA, G.M.C. Influência da velocidade cinética de secagem e nas características nutricionais da mistura de bagaço de malte e levedura (*Saccharomyces cerevisiae*). In: XVII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA DO PARANÁ, 17., 2012, Paraná. *Anais do XVII Seminário...* Paraná: 2012. p. 1-8.

MELO, D.C. Estudo da secagem infravermelho de sementes de girassol. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em engenharia de processos - Universidade Tiradentes, Aracaju, 2010.

SILVÉRIO, C. B. Estudos fluidodinâmicos e de secagem de fertilizantes em secadores rotatórios concorrentes. 2010. Dissertação( Mestrado ) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.