



Estudo da secagem do bagaço de malte para aplicação em formulação de pré-mistura para pão cervejeiro

L. F. G. de Souza¹; C. B. Hidalgo¹; I. C. Ferraz¹; T. C. G. Lima¹ e V. C. Zonho¹

¹Instituto Mauá de Tecnologia/ Escola de Engenharia Mauá – Engenharia de Alimentos
(luciane.souza@maua.br)

Resumo

O bagaço de malte é um resíduo obtido durante a etapa inicial do processamento de cerveja. Constituído basicamente de fibras e proteínas do grão do malte, representa cerca de 85% do total de subprodutos gerados pelas indústrias cervejeiras, estimando-se que a cada 100 litros de cerveja produzida, 20 kg de bagaço são descartados. Com produção anual de 12,6 bilhões de litros de cerveja no Brasil, pode-se ter ideia da ordem de grandeza deste descarte. A secagem do bagaço de malte foi realizada em secador de bandejas com temperaturas e velocidades do ar de secagem de 60°C e 80°C e 1,2 e 2,4 m/s respectivamente. Modelos empíricos da literatura (Lewis, Brooker e Page) foram utilizados para modelar as curvas de secagem obtidas experimentalmente. Planejamento fatorial completo de dois níveis com metodologia de resposta foi realizado. Analisando as curvas de secagem verificou-se que o período de secagem predominante é o de taxa decrescente. Os três modelos apresentaram bom ajuste aos pontos experimentais, entretanto, as análises estatísticas mostraram que a velocidade e a temperatura do ar de secagem influenciam significativamente apenas os parâmetros k dos modelos de Lewis e Brooker. O bagaço de malte seco apresentou composição centesimal próxima aos dados teóricos referentes ao produto úmido obtido na literatura. O pão cervejeiro elaborado com a matéria-prima em estudo apresentou resultados de textura e volume específico diferentes quando comparados ao pão de centeio, utilizado como padrão. O produto resultou em uma maior firmeza e mastigabilidade, com menor volume específico.

Palavras-chave: Secagem, Bagaço de malte, Resíduo sólido, Modelagem.

Área Temática: Gestão Ambiental e produção de alimentos



1 Introdução

A crescente demanda por alimentos que tragam benefícios à saúde impulsiona cada vez mais o setor das indústrias de alimentos. Desta forma, produtos que apresentam maior teor de fibras, proteínas, vitaminas entre outros, são considerados diferenciais no mercado atual.

O bagaço de malte consiste em um resíduo sólido gerado na fabricação de cerveja que utiliza cevada maltada como a principal matéria prima (JOHNSON & PETERSON, 1974). Segundo Hernandez *et al* (1999), este subproduto é rico em fibras, apresentando um teor de aproximadamente 70 a 80%, além de conter de 20 a 30% de proteínas. A alta concentração de proteínas, gorduras e fibras no bagaço de malte é devido à maioria do amido da matéria prima ter sido removido e convertido a álcool e dióxido de carbono durante a fermentação (KISSELL & PRENTICE, 1979; WAMPLER & GOULD, 1984). Desta forma, observa-se que o alto valor de fibras e proteínas contidas no principal subproduto da indústria cervejeira e o crescente volume de produção do setor tornam este resíduo um potencial para a utilização em produtos elaborados na panificação.

Atualmente este resíduo é destinado principalmente à indústria de ração animal, porém do ponto de vista nutricional, pode também ser utilizado como suplemento de farinha na fabricação de produtos alimentícios trazendo benefícios à saúde do consumidor (RASCO *et al.*, 1990). A fim de prolongar seu tempo de armazenamento e reduzir sua massa o bagaço de malte é seco até cerca de 10% de umidade em base úmida, contribuindo também na diminuição do custo de transporte (WOODS *et al.*, 1994).

Tang *et al* (2005) estudaram a secagem de bagaço de malte utilizando vapor superaquecido. A equação de Page modificada utilizada para modelar as curvas de secagem apresentou bom ajuste aos dados experimentais. Ascheri *et al* (2007) realizaram estudo avaliando as curvas de secagem do bagaço de malte em temperaturas de 50 °C, 70 °C e 105 °C, concluindo que aumentando-se a temperatura obtém-se maiores taxas de vaporização em menos tempo de secagem e que a temperatura de secagem não afetou os teores de proteína e lipídeos. Além disso, os autores verificaram que a secagem aumenta os nutrientes por unidade de massa seca e a vida útil do resíduo. Oliveira *et al* (2011) estudaram a cinética de secagem do bagaço de malte utilizando estufa com circulação forçada de ar para diferentes temperaturas 40°C, 50°C, 60°C e 70°C. Na temperatura de 70 °C obtiveram-se as melhores condições de secagem e valores nutricionais. Maiores taxas de secagem foram observadas com maiores temperaturas do ar.

As dificuldades na utilização de fibras em formulações de produtos se devem a sua falta de funcionalidade química e seus efeitos prejudiciais sobre as propriedades de outros componentes do alimento para o desenvolvimento do produto. A presença de elevadas concentrações de fibras em formulações de pão modifica sua massa, devido à diminuição da capacidade de retenção de gás, reduzindo o volume do pão. Portanto, torna-se evidente a necessidade de adequar alto nível de fibra no alimento com pequena mudança em suas características sensoriais e de textura, tornando o produto aceitável pelo consumidor (BENASSI *et al.*, 2001). Lima *et al* (2002) relataram em estudo realizado um aumento significativo na firmeza de pães preparados com adição de farelo de arroz em substituição parcial à farinha de trigo, em concentrações de 10 e 20%, em relação a um controle sem farelo.

Neste trabalho, bagaço de malte produzido na indústria cervejeira foi seco em secador de bandejas marca *Armfield* com o objetivo de estudar a cinética de secagem desse resíduo, bem como modelar as curvas de secagem obtidas experimentalmente utilizando modelos empíricos da literatura: Lewis, Brooker e Page. Análises estatísticas a fim de estudar a influencia das variáveis temperatura e velocidade do ar de secagem nos parâmetros dos



modelos foram realizadas. Com a obtenção da farinha de malte, agregando-se valor ao resíduo, foi possível realizar aplicação em produção de pré-mistura para pão cervejeiro, proporcionando benefícios à indústria de panificação e obtendo-se um produto final com alto teor de fibras e proteínas.

2 Material e Métodos

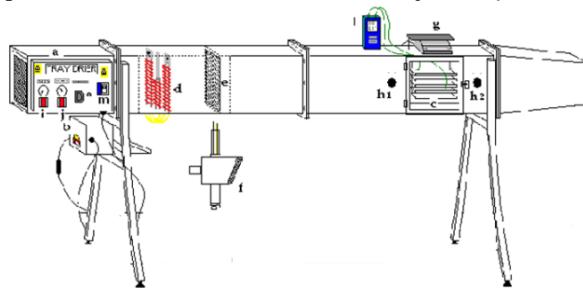
2.1 Amostra

O bagaço de malte é provindo da produção de cerveja do tipo Pilsen, fornecido pela Cervejaria Nacional, localizada na cidade de São Paulo, no bairro Pinheiros.

2.2 Secador de bandejas

O procedimento da secagem foi realizado em secador de bandejas modelo *Tray Dryer* da marca *Armfield*, apresentado na Figura 1, com temperaturas e velocidades de secagem controladas, de acordo com a Tabela 1.

Figura 1. Esquema ilustrativo do Secador de Bandejas *Armfield* (Moraes, 2009)



O equipamento dispõe de um duto de ar no qual ar é arrastado para uma placa de distribuição de ar por um soprador de ar cuja velocidade é controlada. O ar passa para a seção central do tubo, em que quatro bandejas de material a ser seco são suspensas na corrente de ar. As bandejas são dispostas sobre uma estrutura de suporte que está ligada a uma balança digital montada acima do duto de ar em que a massa total é continuamente indicada. As bandejas são inseridas ou removidas do duto por uma porta lateral fechada com um painel de vidro para visualização. Ao percorrer o duto, o ar passa para a seção central do tubo, entrando em contato com as bandejas. As câmeras de isolamento térmico ajudam na manutenção da temperatura interna do equipamento, impedindo que calor seja perdido para o ambiente. Após passar sobre o túnel de secagem, o ar é descarregado na atmosfera por meio do duto de saída. Um anemômetro é utilizado para a realização da medição da velocidade do ar. O procedimento de secagem foi realizado obedecendo a um planejamento fatorial completo de dois níveis como ilustra a Tabela 1. As réplicas dos ensaios foram realizadas.

2.3 Preparo e secagem da amostra

As amostras de resíduo encontravam-se acondicionadas em freezer a $-15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, e por isso, foram descongeladas em temperatura de refrigeração de aproximadamente $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas antecedentes ao ensaio. A umidade inicial das amostras foi determinada pelo método gravimétrico em estufa a 105°C por um período de 24 horas. Durante o experimento, realizaram-se medidas da variação de massa do produto por meio de uma balança digital semi-analítica modelo AB204-5 da marca *Mettler Toledo*, acoplada ao equipamento. Os dados foram coletados até que não houvesse variação na massa.

2.4 Modelagem e análise estatística

As curvas obtidas experimentalmente foram ajustadas aos modelos empíricos de Lewis, Brooker e Page de acordo com a Tabela 2, utilizando-se a ferramenta Solver do Excel.



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Foram realizadas análises estatísticas a fim de estudar a influência das variáveis temperatura e velocidade do ar de secagem nos parâmetros k do modelo de Lewis, C e k do modelo de Brooker e k e n do modelo de Page.

Tabela 1. Matriz do planejamento fatorial

T_{ar} secagem (°C)	V_{ar} secagem (m/s)
60	1,4
60	2,4
80	1,4
80	2,4

Tabela 2. Equações dos modelos empíricos de curvas de secagem

Modelo	Equação
Lewis	$UR = e^{-kt}$
Brooker	$UR = C \cdot e^{-kt}$
Page	$UR = e^{-kt^n}$

2.5 Análises físico-químicas do bagaço de malte seco

O teor de fibra alimentar total foi determinado a partir do bagaço de malte desengordurado por percolação, de acordo com método 045/IV do Instituto Adolfo Lutz (2005) com as seguintes modificações: foram pesadas amostras em quadruplicata, sendo duas utilizadas para determinação de proteínas e duas utilizadas para determinação de cinzas. A solução tampão MES-TRIS foi substituída por solução tampão de fosfato de sódio monobásico, de acordo com o descrito pelo método 985.29 da AOAC (2011). O teor de proteína do bagaço de malte foi determinado pelo método de Kjeldahl, conforme a metodologia descrita pela AOAC (2011), método 950.48. A digestão das amostras foi realizada em bloco digestor de proteínas, modelo 40/25, (Tecnal Equipamentos para Laboratório) e a destilação realizada em destilador de nitrogênio, modelo TE 036/1, (Tecnal Equipamentos para Laboratório). A umidade final das amostras foi determinada pelo método 012/IV de determinação de umidade a 105°C conforme metodologia descrita por Instituto Adolfo Lutz (2005). O teor de gordura foi realizado através de extração com hexano pelo método de Soxhlet, de acordo com Instituto Adolfo Lutz (2005). Os extratos contendo óleo foram quantificados gravimetricamente após a evaporação do solvente. O teor de cinzas foi determinado por incineração a 550 °C, em forno mufla, (Brasimet, São Paulo, SP, Brasil) conforme descrito pelo método 950.49 da AOAC (2011).

2.6. Elaboração do pão cervejeiro

Para o preparo do pão, a formulação padrão (pão de centeio) foi alterada de forma que 20% do total de farinha de trigo utilizada fosse substituída pelo bagaço de malte seco e moído.

2.7. Textura do pão cervejeiro

A determinação da textura do pão cervejeiro e do pão de centeio foi realizada pelo texturômetro Analyser TA-XT2i SMS por meio de análise de perfil de textura T.P.A. – Analysis e T.A. - Analysis, utilizando um probe adaptado de acrílico, cilíndrico com 36 mm de diâmetro, por meio do método AACC 74-09 (AACC, 2000). Os valores do parâmetro de dureza do miolo foram realizados através da medida que corresponde ao pico da curva força versus o tempo (N/s).

2.8. Volume específico do pão cervejeiro

A análise de volume dos pães foi realizada por meio de deslocamento de sementes de painço, utilizando uma caixa feita de madeira com proporções adequadas e de volume 2760 cm³. O volume específico foi determinado pela razão entre a massa de cada pão expresso em L.kg⁻¹.



3 Resultados e Discussão

3.1. Processo de secagem e análises estatísticas

A Figura 2 mostra o ajuste do modelo de Lewis nas curvas de secagem do bagaço de malte em diferentes temperaturas do ar de secagem. O período de secagem predominante, em ambas as curvas, é o difusional e a secagem é notoriamente mais rápida com o ar a 80°C.

Figura 2. Curvas de secagem ajustadas pelo modelo de Lewis – velocidade do ar de secagem 2,4 m/s

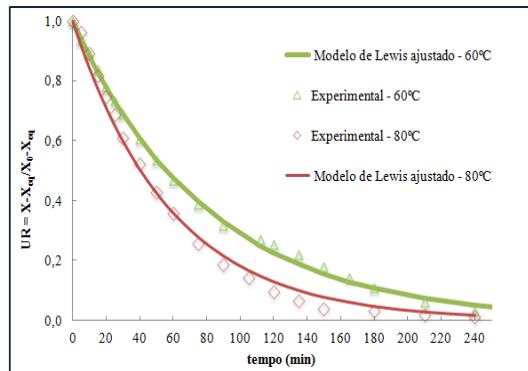
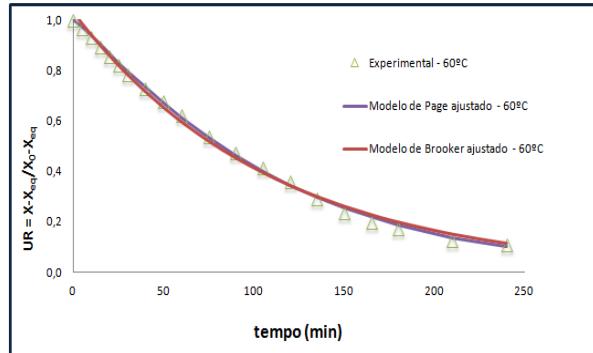


Figura 3. Curvas de secagem ajustadas pelos modelos de Brooker e Page – velocidade do ar de secagem 2,4 m/s



Assim como o Modelo de Lewis, os modelos de Brooker e Page também apresentaram bons ajustes às curvas de secagem em todas as condições investigadas como pode ser visto na Figura 3. Apesar do modelo de Page ter apresentado bom ajuste às curvas de secagem, análises estatísticas demonstraram que nenhum de seus coeficientes são influenciados significativamente pelos efeitos temperatura e velocidade do ar de secagem. O coeficiente C do modelo de Brooker também não foi influenciado significativamente pelos efeitos temperatura e velocidade do ar de secagem como pode ser observado no gráfico de Pareto da Figura 4. Os valores do coeficiente k do modelo de Lewis ajustados às curvas de secagem estão ilustrados na Tabela 3.

Figura 4. Gráfico de Pareto do coeficiente C do modelo de Brooker

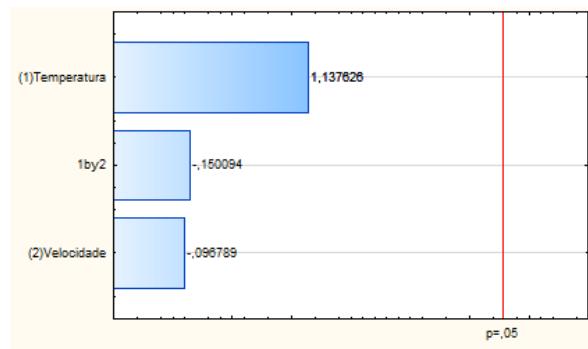


Figura 5. Gráfico de Pareto do coeficiente k do modelo de Lewis

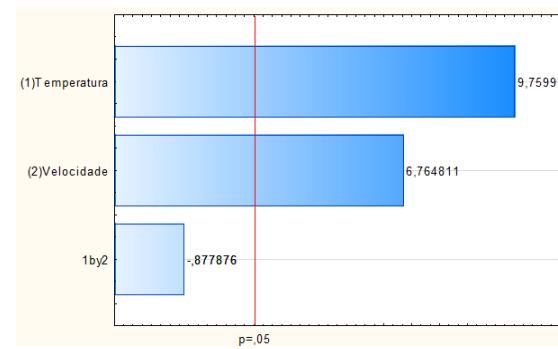


Tabela 3. Coeficientes k do modelo de Lewis			
$T_{ar\ secagem}$ (°C)	$V_{ar\ secagem}$ (m/s)	k ensaio	k réplica
60	1,4	0,0080	0,0089
60	2,4	0,0124	0,0119
80	1,4	0,0131	0,0141
80	2,4	0,0158	0,0171

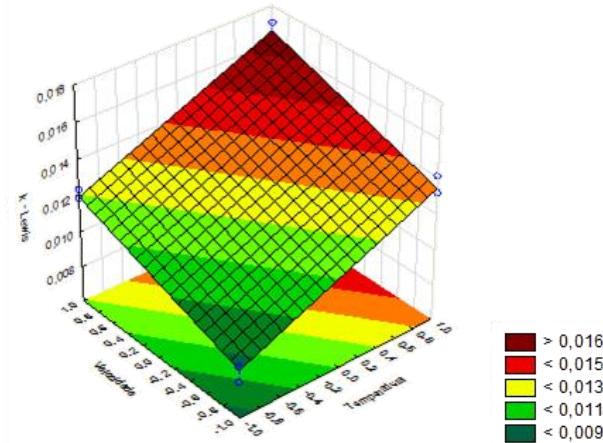


4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Analizando o gráfico de Pareto ilustrado na Figura 5 verifica-se que tanto a temperatura quanto a velocidade do ar de secagem influenciam significativamente o coeficiente k do modelo de Lewis.

Figura 6. Superfície de resposta obtida para o coeficiente k do modelo de Lewis.



A superfície de resposta do parâmetro k do modelo de Lewis mostra que o caminho de máxima inclinação está na direção de maiores valores de temperatura e velocidade do ar de secagem como pode ser observado na Figura 6. Portanto, a secagem é mais rápida quando o processo é conduzido com temperatura do ar de 80°C e velocidade do ar de 2,4 m/s. O modelo estatístico (em variáveis codificadas) obtido referente à superfície de resposta da Figura 6 é $y(x_T, x_v) = 0,01266 + 0,00236 \cdot x_T + 0,00164 \cdot x_v$.

3.2. Análises físico-químicas

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos nas análises do bagaço de malte seco a 80°C com velocidade 2,4 m/s, onde foi obtido o maior do parâmetro k, ou seja, com a secagem mais rápida. Os valores do teor de fibras e proteínas obtidos experimentalmente e apresentados na Tabela 4 estão próximos ao citado por Hernández *et al* (1999), apresentando um teor de fibras de aproximadamente 70 a 80%, e 20 a 30% de proteínas.

Tabela 4. Análises físico-químicas no bagaço de malte seco.

Análises	Fração (%)
Fibras	$73,2 \pm 0,6$
Proteínas	$28,1 \pm 0,9$
Umidade (base seca)	$4,31 \pm 0,06$
Gordura	$3,6 \pm 0,7$
Cinzas	$2,95 \pm 0,07$

3.3. Granulometria

A Figura 7 mostra a granulometria obtida no bagaço de malte moído. As partículas com granulometria maior que 0,500 mm representam cerca de 40% do total. Essas partículas foram moídas novamente e utilizadas na fabricação do pão cervejeiro, evitando perdas nesse processo.

3.4. Textura do pão cervejeiro

Os resultados das análises de compressão T.P.A. pelo texturômetro e T.A. são apresentados na Figura 8 e Tabela 5, respectivamente. Observa-se que a tensão resultante ao pão cervejeiro foi maior em comparação ao pão de centeio, portanto, o pão cervejeiro possui



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

maior firmeza. Isto pode ser justificado devido à maior quantidade de fibras e proteínas contida em sua formulação, devido à quantidade de fibras contidas no centeio serem inferior ao malte. O mesmo foi observado por Lima *et al* (2002) no estudo de pães preparados com adição de farelo de arroz em substituição parcial à farinha de trigo, em concentrações de 10 e 20%.

Observa-se na Tabela 5 que a mastigabilidade em relação ao pão cervejeiro é maior em comparação ao pão de centeio, evidenciando que será gasta mais energia durante a mordida.

Figura 7. Distribuição granulométrica da farinha de malte.

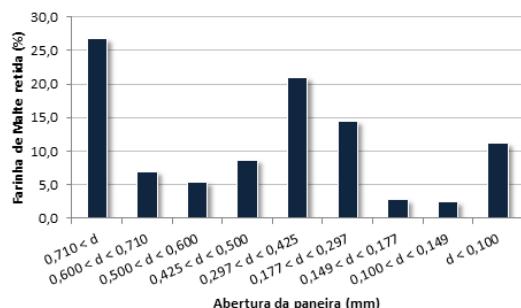


Figura 8. Curva da força em função do tempo da análise de textura T.P.A

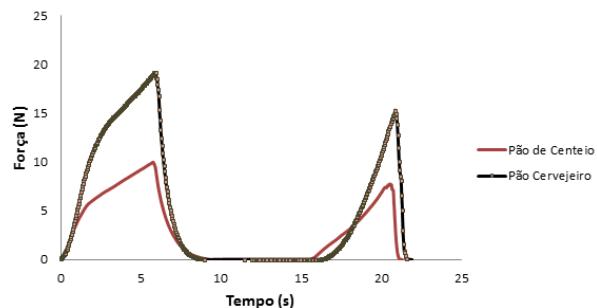


Tabela 5. Análises de textura T.A do pão cervejeiro e pão de centeio

Matéria-prima	Formulação Padrão (Pão de Centeio)	Formulação Teste (Pão Cervejeiro)
Firmeza (N)	9,8 ± 1,4	19 ± 0,7
Mastigabilidade (N.m)	16,5 ± 2	36 ± 2
Elasticidade (%)	0,90 ± 0,02	0,82 ± 0,02

3.5. Volume específico do pão cervejeiro

O volume específico do pão cervejeiro é menor que o volume específico do pão de centeio como mostra a Tabela 6. A presença de fibras em formulações de pão reduz a capacidade de retenção de gás durante a fermentação, diminuindo assim, o volume do pão, concordando com o observado por Benassi *et al* (2001).

Tabela 6. Análises de volume específico

Matéria-prima	Volume específico (cm ³ /kg)
Formulação Padrão (Pão de Centeio)	4,8 x 10 ⁻⁴
Formulação Teste (Pão Cervejeiro)	3,4 x 10 ⁻⁴

4 Conclusões

A taxa de secagem predominante na secagem do bagaço de malte é decrescente, ou seja, o processo é controlado pelo transporte de água do material (condições internas). Apesar do modelo de Page ter apresentado bom ajuste, a análise estatística mostrou que os efeitos estudados não influenciaram significativamente nenhum dos parâmetros do modelo, sendo impossível determinar um modelo estatístico preditivo para o processo. Já as variáveis temperatura e velocidade do ar influenciam significativamente os parâmetros *k* das curvas de secagem obtidas pelo modelo de Lewis e Brooker com 95% de confiança. Portanto, foi possível determinar um modelo estatístico para a curva de secagem do bagaço de malte por meio do modelo de Lewis e Brooker.

As análises de fibras e proteínas realizadas mostraram que o bagaço de malte contém alto teor de fibras e proteínas quando comparado ao pão de centeio, justificando sua aplicação à indústria de panificação, apresentando características positivas e funcionais aos produtos. A



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

farinha de malte obtida foi aplicada à formulação de pré-mistura para pão cervejeiro, obtendo-se um produto final de textura com maior firmeza e mastigabilidade e menor volume específico em relação ao pão de centeio, devido à maior concentração de fibras e proteínas, que contribuíram para uma menor capacidade de retenção de gás durante a fermentação.

Referências

AACC – Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10a ed. Saint Paul: **American Association of Cereal Chemists**, 2000.

AOAC - ASSOCIATION of Official Agricultural Chemists; HORWITZ, William; LATIMER JR., George W. (Ed.). **Official methods of analysis of AOAC international**. 18. ed. Maryland, 2011, 1677 p.

ASCHERI, D. P. R.; BURGER, M. C. DE M.; MALHEIROS, L. V.; OLIVEIRA, V. N. **Curvas de secagem e caracterização de hidrolisados de bagaço de cevada**. Universidade Estadual de Goiás, Instituto de Química de Alimentos. Goiânia, 2007.

BENASSI, V. T.; WATANABE, E.; LOBO, A. R. **Produtos de panificação com conteúdo calórico reduzido**. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamentos de Alimentos. Curitiba, v. 19, n. 2, p. 255, 2001.

HERNANDEZ A. M.; RODRIGUEZ J. L. & LOPEZ B.; ZERQUERA O. L. Caracterización química y funcional del afrecho de malta. **Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria**, Cuba, p. 105-109, 1999.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2005. 1018 p.

JOHNSON, A. H., & PETERSON, M. S. **Encyclopaedia of food technology**. Westport, CN: AVI Publishing, 1974.

KISSELL, L. T., & PRENTICE, N. Protein and fibre enrichment of cookie flour with brewer_s spent grain. **Cereal Chemistry**, 56(4), p. 261–266, 1979.

LIMA, I.; GURAYA, H.; CHAMPAGNE, E. **The functional effectiveness of reprocessed rice bran as an ingredient in bakery products**. Nahrung/Food, Weinheim, v. 46, n. 2, p. 112-117, 2002.

MORAES, S. R. **Esquema ilustrativo do secador de bandejas**. 2009. Formato JPG.

OLIVEIRA, B. H.; BOURCHEIDT, C. T.; SILVA, G. M. C. **Determinação das curvas de secagem e caracterização da levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) resíduo úmido do processo industrial de cerveja**. IX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – Iniciação Científica, Maringá, 2011.

RASCO, B. A., RUBENTHALER, G., BORHAN, M., & DONG, F. M. Baking properties of bread and cookies incorporating distillers_s or brewer_s grain from wheat or barley. **Journal of Food Science**, 55(2), p. 424–429, 1990.



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

TANG, Z., CENKOWSKI, S & IZYDORCZYK, M. Thin-layer drying of spent grains in superheated steam. **Journal of Food Engineering**, 67, p. 457-465, 2005.

WAMPLER, D. J., & GOULD, W. A. Utilization of distillers_ spent grain in extrusion processed doughs. **Journal of Food Science**, 49(5), p.1321–1322, 1984.

WOODS, B., HUSAIN, H., & MUJUMDAR, A. S. **Techno-economic assessment of potential superheated steam drying applications in Canada**. Report 9138 U 888. Canadian Electrical Association, Montreal, QC, 1994.