

EXTRAÇÃO COM SOLVENTE DE ÓLEOS VEGETAIS UTILIZANDO COLUNAS DE LEITO FIXO

Myriam Lorena Melgarejo Navarro

Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química
LABSIN – Laboratório de Simulação Numérica de Sistemas Químicos
Campus Universitário, 476 – Florianópolis, SC – 88040-900
myriam@enq.ufsc.br

Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza

Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química
LABSIN – Laboratório de Simulação Numérica de Sistemas Químicos
Campus Universitário, 476 – Florianópolis, SC – 88040-900
selene@enq.ufsc.br

Antônio Augusto Ulson de Souza

Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química
LABSIN – Laboratório de Simulação Numérica de Sistemas Químicos
Campus Universitário, 476 – Florianópolis, SC – 88040-900
augusto@enq.ufsc.br

Resumo. *No presente trabalho são apresentados os resultados da extração com solvente de óleos vegetais a partir de lâminas de soja, obtidos experimental e numericamente. A extração do óleo foi realizada no laboratório numa coluna de leito fixo empacotada com sementes pré-tratadas utilizando hexano como solvente. As mesmas condições experimentais foram simuladas numericamente utilizando-se um modelo matemático transiente. Foi utilizado o Método de Volumes Finitos para a obtenção da solução das equações diferenciais governantes, para identificar e estudar os efeitos das variáveis que influenciam o processo. Foram resolvidas as equações de conservação da massa, da espécie química para a fase sólida e para a fase líquida, obtendo-se o perfil de concentração do óleo em ambas as fases ao longo do extrator, para diferentes tempos de operação. Foram comparados os resultados obtidos experimental e numericamente. Este trabalho permitiu obter as melhores condições de operação de um extrator de leito fixo, visando maximizar sua eficiência.*

Palavras chave: extração, óleos vegetais, modelagem, simulação, transferência de massa.

1. Introdução

Um dos métodos convencionais mais eficientes para a recuperação de óleos da maioria das sementes oleaginosas é a extração com solventes; em especial para materiais com baixo conteúdo de óleo. Comparado com outros métodos de extração, permite o processamento de grandes quantidades de sementes com alto rendimento. Mesmo com o surgimento de novas tecnologias de extração, ainda é de grande interesse para a indústria de óleo o desenvolvimento de processos otimizados de extração à base de solvente.

A soja tem uma característica única entre as sementes oleaginosas, o baixo conteúdo de óleo (18 a 24%) e o alto conteúdo de proteína (38 a 42%). Os maiores produtores de soja são: Estados Unidos, Brasil, China e Argentina; e as regiões brasileiras de maior produção são: Paraná, Mato Grosso, Rio Grande do Sul, São Paulo, e Pará (Caruso, 1997).

O óleo de soja é o mais importante dos óleos vegetais produzidos no mundo, devido à sua elevada produção, sua excelente qualidade e baixo custo, mantendo seu predomínio nos mercados locais e mundiais, pelas favoráveis características agrícolas, consideráveis investimentos tanto dos produtores como dos processadores, à alta qualidade de suas proteínas, seu óleo comestível e à enorme oferta disponível a custos competitivos.

A comercialização e processamento do óleo vegetal a partir de sementes de soja, arroz, algodão, girassol constitui em uma grande expressão econômica no Brasil e no mundo. Os óleos vegetais, além de constituírem-se em uma importante e já explorada fonte de lipídeos, vitaminas, ceras, pigmentos e lecitinas, entre outros, têm sido a mais promissora das fontes de hidrocarbonetos para fins energéticos e químicos, em substituição ao petróleo, não renovável e poluente.

Convencionalmente extrai-se o óleo empregando a fração hexana do petróleo como solvente em processos contínuos, cujas etapas de remoção de resíduos de solvente dos sólidos e do óleo extraído são onerosas e, nem sempre, eficientes.

Na literatura encontram-se diversos estudos sobre o projeto de extratores (Karnofsky, 1986, 1987), e sobre a modelagem da extração baseada em balanços globais de massa e dados experimentais (Abraham et al., 1988).

Neste trabalho é apresentado um modelo transiente desenvolvido para simular o processo de transferência de massa na extração de óleo vegetal a partir de sementes oleaginosas. O processo de extração foi simulado numa coluna de leito empacotado onde o solvente percola no sentido descendente pelo espaço vazio entre as partículas e o óleo foi retirado dos sólidos em direção ao solvente.

Foi utilizado o Método de Volumes Finitos para a obtenção da solução das equações governantes, para identificar e estudar os efeitos das variáveis que influenciam o processo. Foram resolvidas as equações de conservação da massa, da espécie química para a fase sólida e para a fase líquida, obtendo-se o perfil de concentração do óleo em ambas fases ao longo do extrator, para diferentes tempos de operação. Este trabalho permite obter as melhores condições de operação de um extrator, visando maximizar sua eficiência.

2. Metodologia Experimental

Com a finalidade de se determinar a eficiência do processo de extração em leito fixo, foram realizadas corridas de extração com lâminas de soja e obtida a constante de equilíbrio entre as fases fluida e sólida, no LABMASSA – Laboratório de Transferência de Massa, do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, da UFSC.

2.1. Preparação das Amostras

As lâminas de soja utilizadas foram gentilmente cedidas pela Bunge Alimentos – Divisão Ceval, localizada no município de São Francisco do Sul, SC. A coleta das lâminas de soja seguiu o seguinte procedimento: durante a preparação do grão para o processo de extração, foram separados 5kg de lâminas descarregadas dos cilindros laminadores no processo de laminação da semente. Posteriormente foi transportado para o LABMASSA. Todo o material foi acondicionado em sacos plásticos com capacidade para 1kg de lâminas e armazenado à -10°C até o início dos experimentos.

2.2. Granulometria

Utilizou-se a análise granulométrica para determinar o diâmetro médio das partículas de soja. Com a utilização das peneiras da série ASTM, foi realizada a classificação por tamanho.

2.3. Determinação do Conteúdo de Óleo

Para medir o conteúdo de óleo ou lipídeos presentes nas lâminas de soja, foi utilizado o Extrator Soxhlet de 250ml, cujo método foi descrito pela “Association of Official Analytical Chemists” – AOAC (1984). Este método realiza o contato repetido com porções sucessivas de solvente puro.

2.4. Extração

A extração por percolação contínua com solvente virgem foi o procedimento escolhido para extrair o óleo das lâminas de soja. O método de extração por solvente baseia-se na lixiviação que é a remoção da fração solúvel em forma de solução a partir da fase sólida permeável e insolúvel com que se associa. A separação implica na dissolução seletiva seguida de difusão (Perry, 1996). Neste procedimento de extração, adiciona-se continuamente o solvente puro sobre a parte superior da massa do material que se extrai, percolando-se através da dita massa, por gravidade, até que a extração do óleo seja substancialmente completa. Somente se consegue uma extração total empregando grandes volumes de solvente em relação ao volume de óleo extraído. O solvente deve ser separado do óleo por evaporação pois suas volatilidades são diferentes. Este método é eficaz em nível laboratorial.

Uma coluna de vidro cilíndrica de 15cm de comprimento e 1,6cm de diâmetro, conforme mostra a Fig. (1), foi carregada com as lâminas de soja. O solvente, hexano, qualidade p.a., foi introduzido na coluna por meio de uma bomba peristáltica (marca Gilson, modelo Miniplus 3) a vazões constantes e a mistura de óleo-solvente chamada, miscela, foi recolhida na saída em intervalos de tempo de 30s.

As miscelas obtidas foram amostradas em tubos de vidro de peso conhecido, logo evaporadas em chapas de aquecimento (marca Fisatom), sendo medidas as massas acumuladas por diferença de massa em uma balança analítica (marca Metter Toledo, modelo AB204-S). Foi medida a porosidade do leito (ϵ_b), através da determinação do volume de preenchimento do leito empacotado, com o solvente.

Este procedimento foi realizado para a altura de recheio de 6cm, para três diferentes vazões de alimentação: 5; 10 e 15mL/min.

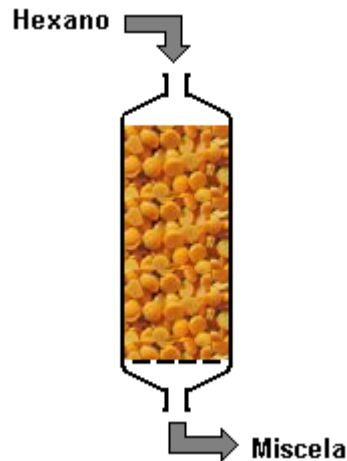


Figura 1. Coluna de Extração

2.5. Constante de Equilíbrio

A relação de equilíbrio entre o conteúdo de óleo residual numa amostra de lâminas de soja e a quantidade de óleo extraída pelo solvente foi determinada através da medição das frações mássicas (base úmida) de ambas fases. A constante de equilíbrio é determinada pela tangente da curva.

Cada ponto da curva corresponde a diferente massa de lâminas de soja colocada num volume constante de 50mL, sendo que as frações mássicas foram medidas após 1 hora de agitação num banho termostático (marca Nova Ética, modelo 304) a 27°C. Para medir a massa de óleo extraída pelo solvente, foi utilizado o dispositivo porta-filtro para seringas de policarbonato (marca Sartorius, modelo 16514/17E). Foi determinada a diferença em massa após evaporação, em tubos de vidro.

Foi admitida a condição de equilíbrio instantâneo.

3. Formulação Numérica

O modelo matemático que descreve o processo de extração do óleo a partir da semente de soja em um extrator de leito fixo compreende as equações de conservação da massa, de conservação da espécie química -óleo- para as fases fluida e sólida. O modelo proposto aqui está baseado no trabalho apresentado por Majumdar et al. (1995). O modelo considera os seguintes fenômenos:

- regime transiente;
- transferência de óleo da fase poro para a fase fluida por diferença de concentração;
- transferência do óleo por difusão, no sentido oposto ao fluxo da miscela;
- passagem do óleo entre as fases, sólida e poro;

e as seguintes hipóteses,

- óleo, como único componente solúvel;
- sólidos com macro-poros completos de óleo (fase estagnada);
- ausência de gradientes de concentração radiais na fase fluida;
- porosidade do leito e da partícula constante e uniforme;
- temperatura constante e uniforme;
- geração de calor nula;
- viscosidade e densidade da miscela constantes.

3.1. Equações Governantes

Equação de Conservação da Massa

$$\frac{\partial V_s}{\partial Z} = \frac{1 - \varepsilon_b}{\varepsilon_b} k_f a_p (C_p - C) \quad (1)$$

Equação de Conservação da Espécie Química, Óleo – Fase Fluida

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (V_s C)}{\partial Z} = D_{ab} \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} + \frac{1 - \varepsilon_b}{\varepsilon_b} a_p k_f (C_p - C) \quad (2)$$

Equação de Conservação da Espécie Química, Óleo – Fase Sólida

$$\frac{\partial C_p}{\partial t} \left[\varepsilon_p + (1 - \varepsilon_p) \frac{\partial N}{\partial C_p} \right] = -a_p k_f (C_p - C) \quad (3)$$

onde V_s é a velocidade intersticial da fase fluida; C é a fração mássica de óleo na fase fluida; C_p é a fração mássica de óleo na fase sólida; Z é a coordenada vertical do leito; ε_b é a porosidade do leito; ε_p é a porosidade da partícula; k_f é o coeficiente de transferência de massa; a_p é a área interfacial da partícula; t é o tempo de extração; D_{ab} é o coeficiente de difusão; N é a fração mássica de óleo na fase sólida da partícula.

3.2. Condições Iniciais e de Contorno

$$V_s(0, t) = V_{si} \quad \text{para } 0 \leq t \leq t_f \quad (4)$$

$$C(z, 0) = C_i \quad \text{para } 0 \leq z \leq L \quad (5)$$

$$C_p(z, 0) = C_{pi} \quad \text{para } 0 \leq z \leq L \quad (6)$$

$$\frac{\partial C}{\partial Z}(L, t) = 0 \quad \text{para } 0 \leq t \leq t_f \quad (7)$$

$$\frac{V_s C}{V_{si}} - \frac{D_{ab}}{V_{si}} \frac{\partial C}{\partial Z}(0, t) = C_i \quad \text{para } 0 \leq t \leq t_f \quad (8)$$

3.3. Avaliação das Propriedades Físicas

O coeficiente de transferência de massa, k_f , necessário nas equações governantes, é calculado mediante a seguinte expressão matemática:

$$k_f = \frac{Sh D_{ab}}{d_p} \quad (9)$$

Por sua vez, o diâmetro da partícula (d_p) é determinado experimentalmente e o número de Sherwood (Sh) é calculado utilizando as correlações disponibilizadas por Majumdar et al. (1995):

$$Sh = 2,4 Re^{0,34} Sc^{0,42} \quad \text{para } 0,08 < Re < 0,125 \quad (10)$$

$$Sh = 0,442 Re^{0,69} Sc^{0,42} \quad \text{para } 0,125 < Re < 5000 \quad (11)$$

O coeficiente de difusão, D_{ab} , possui o valor de $1,3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$, encontrado no trabalho de Krioukov e Iskhakova (2001).

O número de Reynolds (Re) e o número de Schmidt (Sc) são definidos da seguinte forma:

$$Re = \frac{V_s d_p \rho}{\mu} \quad (12)$$

$$Sc = \frac{\mu}{D_{ab} \rho} \quad (13)$$

A área interfacial da partícula cilíndrica, a_p , encontrada nas equações governantes, é estimada a partir da seguinte expressão:

$$a_p = \frac{2\pi L}{\pi^2 L} = \frac{2}{r} = \frac{4}{d_p} \quad (14)$$

onde r é o raio da partícula; L é o comprimento da coluna; ρ é a massa específica e μ é a viscosidade do hexano.

3.4. Algoritmo Computacional

Para resolver as equações do modelo, devem ser conhecidos: o estado inicial do leito e as condições de contorno dadas pelas Equações 4 a 8, juntamente com a relação de equilíbrio entre C_p e N .

A solução numérica é desenvolvida dividindo o leito em uma série de elementos discretos, de comprimento dz , como mostrado na Fig. (2), sendo empregado o Método de Volumes Finitos (Maliska, 1995). As equações são integradas espacial e temporalmente sobre os diversos volumes de controle, aplicando o esquema de Diferenças Centrais (CDS) e “upwind” (UDS), como função de interpolação, obtendo-se uma equação para cada volume elementar. O conjunto de equações algébricas resultantes é resolvido pelo Método de Jacobi (Maliska, 1995). É assumido que as variáveis são uniformes dentro de cada volume de controle.

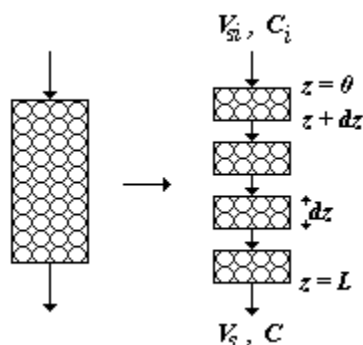


Figura 2. Discretização do modelo de leito fixo.

4. Resultados e Discussão

4.1. Resultados Experimentais

4.1.1. Conteúdo de Óleo

Através do método de extração por Soxhlet, empregado para determinar o conteúdo de óleo presente nas lâminas de soja, obteve-se a massa inicial de 24,33g de óleo de soja por cada 100g de lâminas.

O cultivar, a localização e fatores ambientais afetam o conteúdo de óleo da soja. No trabalho de Marschalek (1995), foram caracterizados cultivares de soja provenientes de diferentes Estados do Brasil. O cultivar Buriti, característico do estado de Mato Grosso do Sul, apresenta maior teor de óleo. A matéria prima em análise é proveniente desta região, com alto conteúdo de óleo, sendo cultivar tipo Buriti.

4.1.2. Granulometria

Foi feita uma análise granulométrica das partículas, tendo sido escolhida a fração de partículas que atravessam as aberturas da peneira de 4 mesh e as partículas retidas pela peneira de 8 mesh, para utilização na coluna de leito fixo. Com os valores da abertura das peneiras No. 4 e No. 8, e as massas obtidas em cada peneira, foi calculado o diâmetro médio das partículas de soja, cujo valor resultou em 0,357cm.

4.1.3. Constante de Equilíbrio

A relação de equilíbrio entre as fases sólida e fluida da partícula foi obtida experimentalmente. A variável C é a fração mássica de óleo na fase líquida, q é a fração mássica de óleo na lâmina de soja, C_p é a fração mássica de óleo nos poros e N é a fração mássica na fase sólida, como ilustrado na Fig. (3).

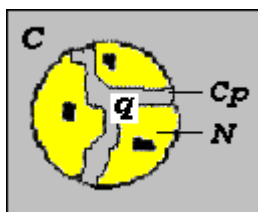


Figura 3. Lâmina de Soja

A Figura (4) mostra os resultados obtidos, relacionando fração mássica de óleo na fase fluida e a fração mássica de óleo na partícula. Pode-se observar uma relação linear entre os pontos, com um coeficiente de correlação (r) de 0,9406.

O valor da tangente da curva $\partial q/\partial C$ foi igual a 0,3065. Foi admitida a condição de equilíbrio instantâneo, onde $\partial q/\partial C = (1 - \epsilon_p)\partial N/\partial C_p$, que possibilita a determinação da relação de equilíbrio entre as fases sólida e fluida, segundo a seguinte expressão:

$$q = 0,3065C \tag{15}$$

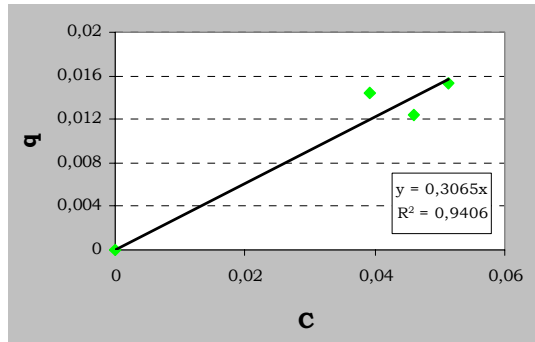


Figura 4. Relação de Equilíbrio medida experimentalmente.

4.1.4. Extração em uma Coluna de Leito Fixo

O processo de extração do óleo a partir das lâminas de soja foi realizado experimentalmente mantendo-se constante a altura de empacotamento do leito com as lâminas de soja, sendo que, foram utilizadas diferentes vazões de entrada do solvente, hexano. Estes resultados estão ilustrados juntamente com os resultados numéricos obtidos neste trabalho.

4.2. Resultados Numéricos

4.2.1. Análise e Comparação com os Dados Experimentais

A resolução numérica do processo de extração com solvente em um leito empacotado fixo foi realizada nas condições de operação experimentais, ou seja, o algoritmo computacional foi resolvido para uma dada altura de recheio e diferentes vazões de entrada. Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros utilizados no algoritmo numérico. A relação entre o diâmetro da partícula e o diâmetro do leito é de 0,223, para garantir a adequada percolação do solvente através do leito.

Tabela 1. Parâmetros utilizados no algoritmo numérico.

Valores
$C_i = 0 \%$
$C_{pi} = 24,33 \%$
$d_p = 0,357 \text{ cm}$
$D = 1,6 \text{ cm}$
$\rho = 0,6759 \text{ g/mL}$
$\mu = 0,0071 \text{ g/cms}$
$\epsilon_p = 0,3$
$a_p = 11,20 \text{ cm}^{-1}$
$D_{ab} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

Os dados específicos de cada extração, realizada com uma altura de recheio em torno de 6cm, são mostrados na Tab. (2) que, juntamente com os dados da Tab. (1), possibilitam a simulação numérica.

Tabela 2. Dados específicos da extração com altura de recheio em torno de 6cm.

Extração 1	Extração 2	Extração 3
$L = 6,2 \text{ cm}$	$L = 6,3 \text{ cm}$	$L = 6,5 \text{ cm}$
$\epsilon_b = 0,40$	$\epsilon_b = 0,43$	$\epsilon_b = 0,39$
$Q = 5 \text{ mL/min}$	$Q = 10 \text{ mL/min}$	$Q = 15 \text{ mL/min}$

Os resultados numéricos e os resultados experimentais da Extração 1 são apresentados na Fig. (5). Pode-se observar que os resultados numéricos obtidos pela solução do modelo matemático descrito anteriormente conseguem descrever

com bastante precisão o comportamento da extração experimental. O resultado numérico fornece o pico máximo da massa de óleo extraída, no mesmo intervalo de tempo que o resultado experimental, sendo aproximadamente de 0,25g.

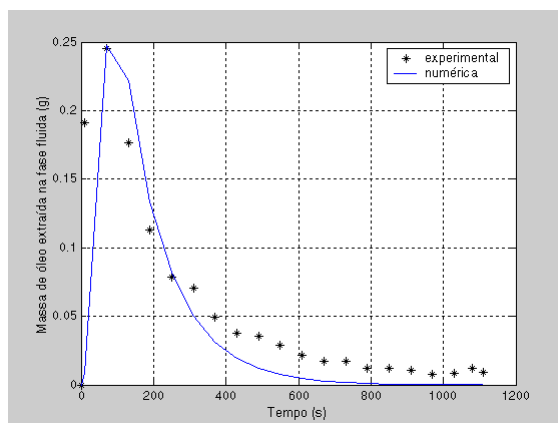


Figura 5. Massa de óleo extraída na fase fluida em cada intervalo de tempo na saída da coluna – Extração 1.

Como previsto na literatura, cabe ressaltar que a maior extração experimental se consegue no início do processo, onde o solvente puro extrai o óleo livre obtido das células quebradas no processo de pré-tratamento da matéria prima, neste caso em forma de lâminas. No final da extração, o processo se torna mais lento em função da difusão através das paredes das células e da diminuição da solubilidade das últimas porções de óleo.

Nas Figuras (6) e (7), são apresentados ambos os resultados, numérico e experimental, para duas vazões de hexano, 10 e 15mL/min, respectivamente, com comprimento de leito em torno de 6cm. Ainda para vazões diferentes, o modelo matemático descreve o comportamento da extração experimental com apreciável precisão.

Para os resultados da Extração 2, mostrada na Fig. (6), o valor máximo de óleo obtido numericamente foi de 0,225g, enquanto o valor experimental obtido é de 0,173g. Para o caso da Extração 3, Fig. (7), foi obtido numericamente o valor máximo de 0,315g e experimentalmente de 0,267g. Os picos máximos obtidos nas Extrações 2 e 3, numérica e experimentalmente, ocorreram nos mesmos tempos de extração.

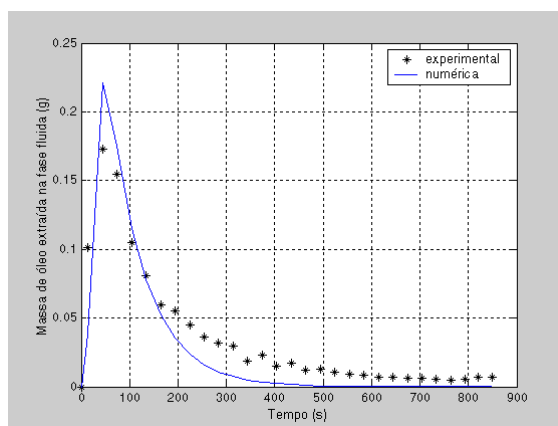


Figura 6. Massa de óleo extraída na fase fluida em cada intervalo de tempo na saída da coluna – Extração 2.

A Figura (8) apresenta a massa total extraída na fase fluida ao longo do tempo, obtida numericamente e experimentalmente, para a Extração 3. Novamente verifica-se a razoável concordância entre as duas situações apresentadas onde, através dos resultados numéricos, obtém-se 0,88g de massa acumulada em 563s, tempo em que cessa a operação. Experimentalmente, obteve-se a massa total extraída de 1,10g. A massa inicial de óleo é de 1,35g, para a Extração 3. Desta forma, comparando-se a massa de óleo total na fase fluida, obtida numericamente, com os dados experimentais, obtém-se um erro máximo acumulado de 21,32%. Nas condições utilizadas na Extração 3, verifica-se que somente foi possível extrair 65,18% da massa inicial.

A massa de óleo total extraída ao longo do processo de extração, obtida numericamente é comparada com a obtida experimentalmente, apresentando um erro máximo de 28,51% e 25,26%, para as Extrações 1 e 2, respectivamente.

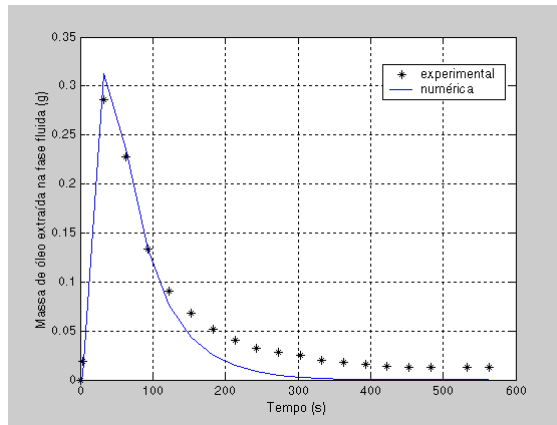


Figura 7. Massa de óleo extraída na fase fluida em cada intervalo de tempo na saída da coluna – Extração 3.

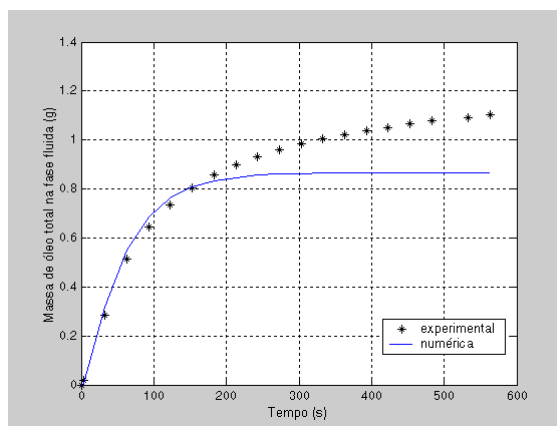


Figura 8. Massa de óleo total extraída na fase fluida, para $L = 6,5\text{cm}$ e $Q = 15\text{mL/min}$.

A Figura (9) apresenta os perfis das frações mássicas nas fases sólida e fluida na saída da coluna, obtidos a partir da resolução numérica das equações do modelo, nas condições da Extração 3. O perfil previsto para a fase sólida inicia-se com o máximo valor e cai rapidamente, obtendo-se a maior transferência de massa para a fase fluida nos primeiros 200s da extração. Após este tempo existe um óleo residual não extraído que fica retido no interior da partícula. A fase líquida, partindo de uma quantidade de óleo inicial nula, alcança o valor máximo aos 20s do início da extração e logo cai rapidamente. Este comportamento se deve ao gradiente existente entre as frações mássicas C e C_p , que inicialmente é elevado devido ao pequeno valor de C e, com o passar do tempo, diminui. Após 200s de extração, a quantidade de óleo extraída é considerada pouco significativa, considerando-se os resultados numéricos.

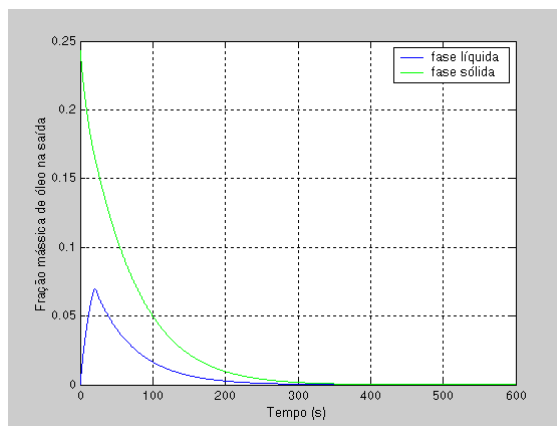


Figura 9. Extração de óleo em ambas fases na saída da coluna.

A Figura (10) ilustra o perfil de fração mássica de óleo na fase fluida, obtido numericamente para as condições da Extração 3, em três posições diferentes: $L/3$, $2L/3$ e L (final da coluna). Pela análise do comportamento do processo de

extração, pode-se constatar que, nas posições: $L/3$, $2L/3$ e no final da coluna (L), os perfis das frações mássicas atingem um máximo, caindo rapidamente com o passar do tempo. Assim, na posição $L/3$, o pico alcançado se encontra em 8,16s, com 0,0315 em fração mássica; para $2L/3$, em 14,43s e 0,0530 em fração mássica; e para L , em 20,88s e 0,0695 em fração mássica. O tempo do pico teórico é função do tempo de residência do solvente no leito, que é igual a (área da seção transversal) * (porosidade do leito) / (vazão de solvente). Os valores teóricos calculados são 6,79s, 13,59s e 20,38s para $L/3$, $2L/3$ e L respectivamente. Este comportamento já era esperado pois o hexano, na saída da coluna, percorreu todo o comprimento da coluna, extraindo uma maior quantidade de óleo.

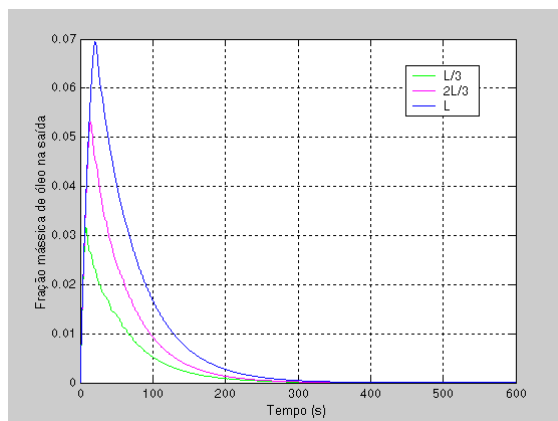


Figura 10. Perfil da fração mássica de óleo em três posições da coluna.

A variação da velocidade ao longo da coluna é representada na Fig. (11), para diferentes tempos de extração. Observa-se um aumento da velocidade ao longo da coluna, devido à incorporação do óleo, que está sendo extraído do sólido, ao fluxo que percorre a coluna. Este aumento da velocidade é mais significativo no começo da extração (menor tempo), diminuindo sua importância à medida que diminui o gradiente de concentração, diminuindo a força motriz à transferência de massa.

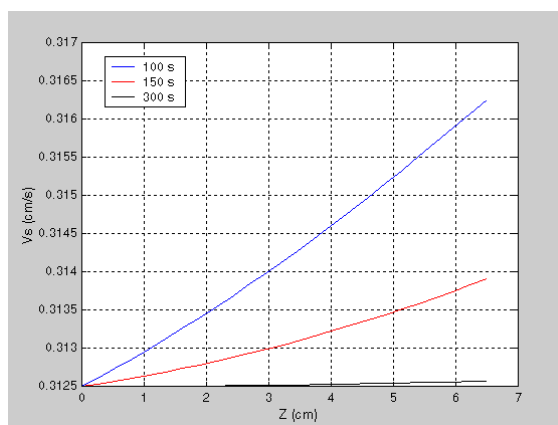


Figura 11. Perfil da velocidade ao longo da coluna para 100, 200 e 300s de extração.

5. Conclusões

Neste trabalho foi realizada a extração de óleo de lâminas de soja, com hexano, utilizando-se uma coluna de leito fixo. Foi também desenvolvido um modelo para prever o perfil de concentração de óleo ao longo do comprimento da coluna e em função do tempo, sendo os resultados numéricos comparados com os obtidos experimentalmente.

O modelo matemático compõe-se de três equações: equação de conservação da massa, equação de conservação da espécie química, óleo, na fase fluida e equação de conservação da espécie química, óleo, na fase sólida. As equações governantes foram discretizadas empregando-se o Método de Volumes Finitos e as funções de interpolação dos esquemas “Diferenças Centrais” (CDS) e “upwind” (UDS).

Os dados experimentais necessários no modelo foram obtidos num extrator de leito fixo. A soja, pré-acondicionada em forma de lâminas, é a semente escolhida para a extração do óleo, mediante solubilização com hexano. A coluna de extração foi preenchida com as lâminas de soja para a altura de aproximadamente 6cm, obtendo-se diferentes valores de concentração de óleo na saída da coluna, para vazões de alimentação de hexano de 5, 10 e 15mL/min.

Nas condições de operação denominadas de Extração 1, 2 e 3, os valores de massa de óleo total extraída na fase líquida obtidos numericamente apresentam um erro máximo de 28,51%, 25,26% e 21,32%, respectivamente, quando comparados com os dados experimentais, obtidos no LABMASSA - Laboratório de Transferência de Massa do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC.

Através da comparação entre os resultados obtidos experimentalmente e os obtidos numericamente, pode-se concluir que o modelo desenvolvido prediz, com razoável precisão, o comportamento do processo de extração em coluna de leito fixo. Através da utilização do algoritmo desenvolvido neste trabalho, é possível prever as melhores condições de operação do extrator de leito fixo, visando a máxima eficiência do processo.

Como continuidade deste trabalho, encontra-se em desenvolvimento um estudo da influência de diversos parâmetros no rendimento da extração, para diferentes parâmetros operacionais.

6. Agradecimentos

O desenvolvimento deste trabalho contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

7. Referências

- Abraham, G., Hron R. J., Koltun S. P. "Modeling the Solvent Extraction of Oilseeds". J. Am. Oil Chem. Soc, v. 65, no. 1, p. 129-135, 1988
- AOAC. "Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemist". 14Ws. Whashington, DC. 1984
- Caruso, R. Soja: Uma caminhada sem fim. Fundação Cargill, 1997.
- Karnofsky, G. "Design of Oilseed Extractors. I. Oil Extraction". J. Am. Oil Chem. Soc., v. 63, no. 8, p. 1011-1014, 1986
- Karnofsky, G. "Design of Oilseed Extractors I. Oil Extraction (Supplement)". J. Am. Oil Chem. Soc., v. 64, no. 11, p. 1533-1536, 1987
- Krioukov, V. G., Iskhakova R. L. "Pesquisa Numérica dos Regimes Estacionários do Extrator Crown-Model". XXII Cilamece, Campinas-SP, 2001
- Majumdar, G. C., Samanta, A. N.; Sengupta, S. P.; "Modeling Solvent Extraction of Vegetable Oil in a Packed Bed". J. Amer. Oil Chem. Soc, v. 72, no. 9, p. 971-979, 1995
- Maliska, C. R., "Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional". Brasil: LTC – Livros Técnicos e Científicos S. A., 1995
- Marschalek, R. "Correlações Genéticas e Fenotípicas entre Produção de Grãos, teor de Proteína e teor de Óleo em Soja, em vários ambientes". Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1995
- Perry, R. H. "Manual del Ingeniero Químico". México: Editora McGraw-Hill, 1996
- Rezende, D. F., Maciel Filho, R. "Controle Clássico Proporcional e por Matriz Dinâmica para a Extração de Óleo de Uva". Cobeq, Águas de São Pedro-SP, 2000

EXTRACTION WITH SOLVENT OF VEGETAL OILS USING COLUMNS OF FIXED BED

Myriam Lorena Melgarejo Navarro

Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química
LABSIN – Laboratório de Simulação Numérica de Sistemas Químicos
Campus Universitário, 476 – Florianópolis, SC – 88040-900
myriam@enq.ufsc.br

Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza

Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química
LABSIN – Laboratório de Simulação Numérica de Sistemas Químicos
Campus Universitário, 476 – Florianópolis, SC – 88040-900
selene@enq.ufsc.br

Antônio Augusto Ulson de Souza

Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química
LABSIN – Laboratório de Simulação Numérica de Sistemas Químicos
Campus Universitário, 476 – Florianópolis, SC – 88040-900
augusto@enq.ufsc.br

Abstract. *In the present work the results of the solvent extraction of vegetable oils from soybean flakes were obtained using experimental and numerical procedures. The oil extraction was carried out in a packed fixed bed column with pretreated seeds using hexane as solvent. The same experimental conditions were numerically simulated using a transient mathematical model. The Method of Finite Volumes was utilized to solve the governing differential equations, to identify and to study the effect of the variables that influence the process. The mass conservation and chemical*

species for the solid and liquid phases equations were solved, obtaining the oil concentration profile in both phases throughout the extractor, for different operational times. The numerical results were compared to the experimental data obtained in this work. This work allowed obtaining the best operational conditions of a fixed bed extractor, aiming to maximize its efficiency.

Keywords. *extraction, vegetal oils, modeling, simulation, mass transfer.*