



# ASPECTOS DE FILTRAÇÃO PARA FILTRO TIPO BOLSA NA SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DE HERBICIDAS

D. T. CHAVES<sup>1</sup>, J. R. D. FINZER<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

**RESUMO** – *No setor agrícola, os avanços dos últimos anos podem ser relacionados com a evolução dos equipamentos, sementes e agroquímicos. No processo produtivo de agroquímicos líquidos, pode haver particulados que não são de interesse e assim, necessitam ser retirados. A remoção de partículas sólidas de um meio líquido pode ser por filtração. O filtro tipo bag ou bolsa possui um mecanismo simples, de baixo custo e de fácil acesso para limpeza. Para avaliar os aspectos deste tipo de filtro e a eficiência de visual em um sistema de filtração, a determinação da resistência do meio, determinação da resistência específica da torta, eficiência e características da bomba utilizada para a transferência do líquido são aspectos importantes. Em um processo produtivo de herbicidas líquidos, realizou-se um estudo para cálculo de eficiência do sistema de filtração (tipo bag). Através da quantificação da área do elemento filtrante ( $0,460 \text{ m}^2$ ), da densidade da torta ( $0,99 \text{ g/cm}^3$ ), da concentração de sólidos na suspensão ( $0,01058 \text{ kg/m}^3$ ), da massa de torta por unidade de área de filtração ( $0,92 \text{ kg/m}^2$ ), espessura média da torta ( $0,09 \text{ cm}$ ), a porosidade da torta (22%), a resistência específica da torta ( $0,8436 \text{ m/kg}$ ) e a resistência do meio ( $94966315 \text{ m}^{-1}$ ) comprovou-se a viabilidade do sistema de filtração na remoção de particulados de herbicidas.*

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o seu desenvolvimento inicial, a produção agrícola está diretamente relacionada a aplicação de produtos que controlam as pragas que atacam as lavouras e prejudicam as colheitas (PRIMEL, et. al, 2005). Os avanços do setor agrícola nos últimos anos podem ser considerados como resultado da evolução de equipamentos, sementes e agroquímicos (VELASCO, CAPANEMA, 2006).

A maioria dos processos industriais em larga escala envolve alguma etapa de separação sólido-líquido. Nestas etapas de separação, estão envolvidas diversas formas de tecnologias e equipamentos (RUSHTON, WARD, HOLDICH, 2000). Na produção de agroquímicos líquidos, pode haver particulados não reativos oriundos de matérias primas e do processo que necessitam ser retirados para garantir a qualidade do produto final.

O sistema de filtração pode ser constituído por diferentes tipos de filtros, que podem ser operados em variadas formas (RUSHTON, WARD, HOLDICH, 2000). O sistema de filtração do tipo *bag* ou bolsa consiste em um mecanismo simples de separação sólido-líquido. Este tipo de filtro



possui baixo custo operacional, rápido acesso ao elemento filtrante e é uma excelente opção para otimização técnica da etapa de filtração. A retirada de particulados em herbicidas deve possuir uma alta eficiência, pois está diretamente ligada a qualidade do produto obtido (DAS et al., 2003). Em casos de particulados que não alteram a eficiência de herbicidas, como neste estudo, também é necessário manter uma alta eficiência de filtração, pois particulados visíveis a olho nu impactam diretamente na aceitação do produto no mercado.

Objetiva-se neste trabalho estudar os aspectos da filtração para remoção de partículas não reativas em herbicidas usando filtro do tipo bolsa, bem como os fatores que influenciam na filtração, as equações de filtração e a apresentação do estudo de viabilidade do sistema de filtração.

## 2. FILTRO DO TIPO BOLSA

No sistema de filtração do tipo *bag* (Figura 1), os componentes principais são: vaso de pressão ou carcaça, o cesto (suporte) e o elemento filtrante (*bag* ou bolsa). O fluido a ser filtrado é direcionado sob pressão na parte superior da carcaça, onde entra em contato com o elemento filtrante suportado pelo cesto, assegurando assim uma distribuição completa e uniforme de todo o fluido pela superfície interna do elemento e garantindo um escoamento distribuído por toda a bolsa sem qualquer efeito negativo de turbulência.



Figura 1: Filtro do tipo bolsa

O processo de fabricação de herbicidas ocorre por batelada. O filtro do tipo *bag* se mostra como um equipamento de custo-benefício adequado, sendo as condições operacionais propícias ao processo produtivo de agroquímicos onde se necessita de um rápido e fácil acesso ao elemento filtrante e condições de operação que aperfeiçoem o processo como um todo e diminuam as paradas. As impurezas mais encontradas neste estudo possuem coloração escura e densidade menor que a do produto, ficando assim, em grande parte, como sobrenadante nos tanques de armazenamento e possuem características adesivas que fazem com que boa parte do particulado fique aderida nas paredes dos tanques.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo produtivo de herbicidas ocorre por bateladas. Nestas bateladas, são utilizados diferentes lotes de matérias primas e para obtenção de resultados confiáveis, e neste estudo todos os experimentos foram feitos em triplicata. Com o auxílio de um filtro instalado para a realização do estudo de eficiência de remoção de particulados de herbicidas, pode-se selecionar o tipo de elemento filtrante a ser utilizado e também sua abertura que se relaciona com a permeabilidade.

De acordo com as pesquisas de mercado, o elemento filtrante de poliéster é recomendado para utilização em temperaturas ambientes. Para verificar a aplicabilidade do elemento filtrante de poliéster, mediu-se a temperatura do produto acabado antes do envase. Os testes foram realizados em triplicata, obtendo a temperatura média de 31°C, o que indica ser o elemento filtrante aplicável. Como as partículas a serem retiradas do processo produtivo não são quimicamente prejudiciais, o interesse maior é que fossem retiradas as partículas visíveis a olho nu.

Realizaram-se testes para a definição do tamanho das partículas do resíduo a ser retido. Como o material aglomera-se com facilidade e tem características gelatinosas, ao realizar a determinação do tamanho das partículas com o auxílio de um medidor de tamanho de partículas, não foi possível obter um resultado significativo. O mercado disponibiliza elementos filtrantes em poliéster de 1µm, 5µm, 10µm, 25µm, 40µm, dentre outros. Como o menor limite de visibilidade a olho nu é 40 µm, para garantir a total retirada do particulado visível da suspensão, selecionou-se um tecido filtrante de 25µm.

A concentração de sólidos na suspensão é dada pela massa de sólidos pela unidade de volume filtrado ( $\text{kg/m}^3$ ). Considerou-se como densidade média dos herbicidas 1,20  $\text{g/cm}^3$ . Os dados foram coletados em triplicata e a concentração média de sólidos na suspensão determinada em 0,01058  $\text{kg/m}^3$ .

Sendo determinada a área do elemento filtrante utilizado e a concentração de sólidos na suspensão, foi quantificada a massa de torta por unidade de área de filtração. Este cálculo se refere à massa das partículas (torta) depositadas no elemento filtrante por unidade de área do mesmo e se dá em função do tempo de batelada ou volume de filtrado. Para se obter a massa de torta ( $w$ ) por unidade de área ( $A$ ), deve-se conhecer a concentração de sólidos na suspensão ( $c$ ) bem como o volume de filtrado ( $V$ ). Os cálculos estequiométricos resultaram em 0,92  $\text{kg/m}^2$ .

Para determinar a densidade média da torta retida no filtrante ( $\rho_s$ ), em triplicata, quantificou-se o volume ( $V$ ) com o auxílio de uma bureta, da massa ( $m$ ) de material retido nas paredes internas do elemento filtrante, e obteve-se uma densidade média de 0,99  $\text{g/cm}^3$ .

A espessura média da torta está relacionada ao volume de torta retido no elemento filtrante ( $V$ ) dividido pela área deste elemento filtrante ( $A$ ). Com os dados obtidos, identificou-se a massa de torta retida no elemento filtrante como sendo a massa da torta por unidade de área ( $w = 0,92 \text{ g/m}^2$ ) multiplicada pela área do bag ( $A = 0,460 \text{ m}^2$ ), a massa retida é de 423,2 g.



Após a determinação da massa de torta no elemento filtrante (423,2 g) e com o valor de densidade da torta ( $\rho = 0,99 \text{ g/cm}^3$ ) foi obtido o volume de torta no elemento filtrante (V), 427,5 cm<sup>3</sup>. Com estes resultados determinou-se a espessura média da torta em 0,09 cm.

A curva de saturação está relacionada ao tempo necessário para que o elemento filtrante, operando a uma determinada vazão, esteja saturado, ou seja, o material depositado no mesmo impeça que o solvente escoe adequadamente no meio de filtração. Essa situação faz que ocorra um aumento de pressão no meio e, neste caso, como é utilizada uma bomba centrífuga, haja também uma diminuição da vazão. De acordo com o fabricante do elemento filtrante, o mesmo atinge sua condição de saturação com o aumento de 1,5 a 2 kgf/cm<sup>2</sup> da pressão registrada na entrada ao operar com o elemento de filtração limpo.

Os dados da pressão de entrada em relação ao tempo foram quantificados em triplicata em dois pontos: na bomba de transferência e no filtro, e sendo os dados de pressão da bomba muito próximos aos do filtro (cerca de 0,5 kgf/cm<sup>2</sup> de perda de carga), para os cálculos, foram consideradas as médias das pressões. Com estes dados, plotou-se a curva de saturação em relação à pressão (Figura 2). De acordo com os dados da curva, deve-se realizar a troca de elemento filtrante a cada 240 minutos de filtração.

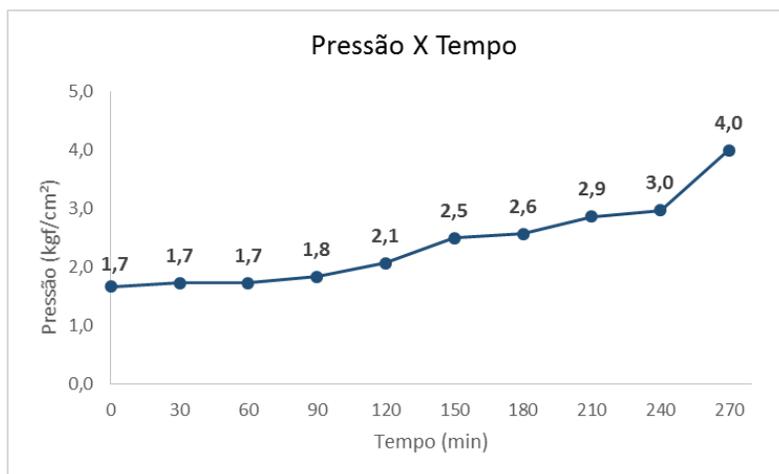


Figura 2: Curva de saturação do elemento filtrante

Verificou-se também que, ao término da filtração de uma batelada, o filtro apresentava um súbito aumento de pressão. Este rápido aumento está relacionado às partículas residuais que, em sua maioria, possuem menor densidade que o herbicida em questão e muitas permanecem sobrenadantes na suspensão e ao final da filtração ficam aderidas ao meio de filtração.

A bomba utilizada para a transferência do produto é uma bomba centrífuga com corpo espiral dividido radialmente. Este modelo possui rotação de 3500 rpm, com diâmetro nominal do rotor de 160 mm e largura de passagem do rotor de 5 mm. De acordo com as especificações da bomba utilizada para a filtração (Figura 3). Sendo o diferencial de pressão relacionada à pressão manométrica



quantificada no filtro, calculou-se a altura manométrica para cada pressão obtida em função do tempo de filtração (Tabela 1).

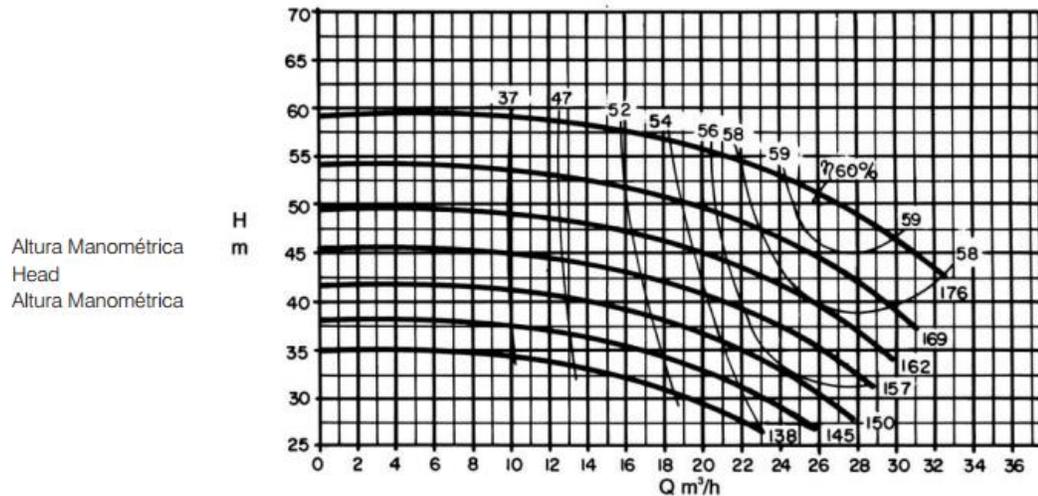


Figura 3: Curva Característica da bomba centrífuga

**Tabela 1** - Vazão relacionada com a pressão

<i>Tempo (min)</i>	<i>Pressão média (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Altura Manométrica (m)</i>	<i>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</i>
0	1,7	14,52	37
30	1,7	14,52	37
60	1,7	14,52	37
90	1,8	15,37	36,5
120	2,1	17,93	36
150	2,5	21,35	35,5
180	2,6	22,21	35
210	2,9	24,77	34,5
240	3	25,62	34
270	4	34	30



De acordo com a leitura do gráfico de eficiência da bomba (Figura 3), e a recomendação do fornecedor de que de acordo com a largura de passagem do rotor (5 mm) seja reduzido 3 pontos na eficiência da bomba, a eficiência máxima alcançada para este modelo é de 53%.

A porosidade da torta ( $\epsilon$ ) pode ser calculada quantificando o volume de espaços vazios e dividindo pelo volume da torta. O volume dos espaços vazios pode ser quantificado através da evaporação da água presente em uma amostra da torta saturada com água. Para obter a porosidade da torta, com o uso de uma bureta, determinou-se, em triplicata, o volume de parte da torta de diferentes bateladas e com uma balança analítica a massa das amostras. Em uma estufa mantida a temperatura de 105°C, secou-se as amostras até que toda a água fosse eliminada, quando a massa residual se manteve constante, o que ocorreu em 24 h. A massa média de água evaporada foi de 0,36 g. Com a densidade da torta (0,99 g/cm<sup>3</sup>) e da massa seca (0,36 g) da torta, quantificou-se o volume de espaços vazios na amostra (0,36 cm<sup>3</sup>). Determinou-se a porosidade da torta ( $\epsilon=22\%$ ), dada pelo volume de espaços vazios (0,36 cm<sup>3</sup>) pelo volume da torta (1,58 cm<sup>3</sup>).

Para determinar a resistência específica da torta e a resistência do meio é necessário compreender se a filtração se dá a pressão constante ou variável e se a vazão de entrada da suspensão no sistema varia. O filtro do tipo bag utilizado neste estudo tem como uma de suas características a operação com variação da pressão com o tempo. A vazão de filtrado pode ser quantificada com a curva característica da bomba utilizada na filtração.

A medida que o elemento filtrante recebe o particulado da suspensão a ser filtrada e forma-se a torta, há um leve aumento da pressão do sistema, havendo assim uma dificuldade do fluido em seguir seu escoamento, ocorrendo uma pequena diminuição da vazão. Como a variação da vazão neste estudo é de pequenas proporções, pode-se calcular a resistência específica da torta e a resistência específica do meio através das equações básicas de projeto para pressão variável e vazão constante utilizando uma média da vazão.

Usando os dados de vazão média ( $Q = 35,25 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e da área do elemento filtrante ( $A = 0,462 \text{ m}^2$ ), calculou-se a velocidade do filtrado ( $v = 0,0211 \text{ m/s}$ ). Utilizando a simplificação da equação geral de filtração tem-se as Equações 1, 2 e 3 (SVAROVSKY, 2000):

$$a = \alpha \mu c \quad (1)$$

$$b = \mu R \quad (2)$$

$$\Delta p = av^2t + bv \quad (3)$$

Com o gráfico que relaciona o diferencial de pressão e o tempo de filtração, através da linha de tendência com a equação da reta (Figura 4) quantifica-se  $bv$  (133.252 N/m<sup>2</sup>). Sendo a viscosidade da suspensão  $\mu = 0,0665 \text{ Pa.s}$ , utilizando a Equação 2 tem-se e o coeficiente linear da reta, quantifica-se a resistência do meio de filtração,  $R = 94966315 \text{ m}^{-1}$ .



Sendo  $av^2=12,525$  s, segundo a equação da reta ajustada, Figura 4, tem-se  $a = 593,60$  Pa.s.m<sup>-2</sup>. Sendo a viscosidade da suspensão  $\mu = 0,0665$  Pa.s e a concentração de sólidos na suspensão  $c = 0,01058$  kg/m<sup>3</sup>, utilizando a Equação 1 tem-se a resistência específica da torta ( $\alpha = 0,843687$  m·kg<sup>-1</sup>).

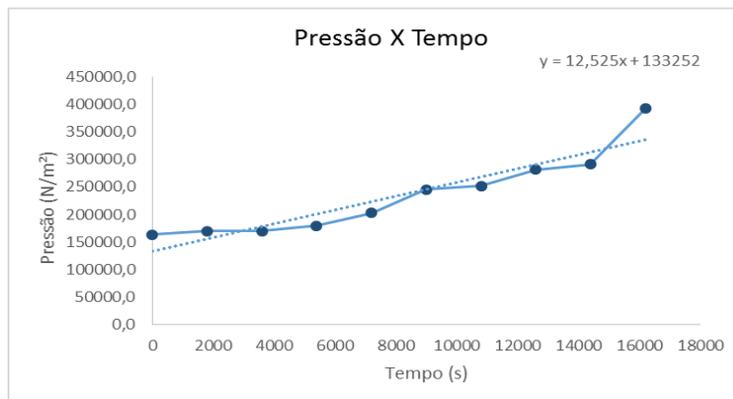


Figura 4: Diferença de pressão em relação ao tempo

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo estudar os aspectos e os cálculos da eficiência de um sistema de filtração para a retirada de resíduos na formulação de herbicidas. Foram avaliados aspectos operacionais e cálculos de eficiência. O papel principal do elemento filtrante neste sistema de filtração foi atuar na retenção das partículas indesejadas presentes na suspensão que se mostravam visíveis a olho nu. Além da realização de cálculos, verificou-se também a eficiência do elemento filtrante através da visualização do filtrado e das características do mesmo.

Ao realizar a medição de temperatura do processo (média de 31°C), confirmou-se a viabilidade de uso do elemento filtrante em poliéster. Sendo a densidade dos resíduos (torta) calculada em 0,99 g/cm<sup>3</sup> e a densidade dos herbicidas sendo em média de 1,20 g/cm<sup>3</sup>, o resíduo a ser retirado pelo sistema de filtração, permanece sobrenadante na suspensão. Com a instalação do filtro tipo bag, verificou-se que o particulado, antes sobrenadante, ficava de fato retido no sistema de filtração (Figuras 5 e 6), comprovando assim, visualmente, a eficiência deste sistema de filtração.



Figura 5: Tanque de armazenamento sem resíduos.



Figura 6: Tanque de armazenamento sem resíduos.

Também, através do acompanhamento visual, verificou-se que para este tipo de filtro podem ocorrer problemas operacionais, caso o mesmo não seja operado de acordo com as orientações do fornecedor. Se o sistema de filtração for montado sem o encaixe entre o cesto e a carcaça do equipamento, pode ocorrer escoamento de particulados para fora do elemento filtrante.

Por cálculo, determinou-se também a concentração de sólidos na suspensão. Esta concentração foi determinada em  $0,01058 \text{ kg/m}^3$ . Considerando-se que em uma batelada de  $40 \text{ m}^3$ , encontra-se em média  $0,4232 \text{ kg}$  de resíduos a serem retirados da suspensão pelo sistema de filtração e calculando-se a porcentagem de resíduos em volume/volume, com o uso da densidade da torta ( $0,99 \text{ g/cm}^3$ ), estes representam em média  $0,00002\%$  do volume de uma batelada.

Quantificou-se, ao determinar a curva de saturação do elemento filtrante em relação a pressão, que era necessário realizar a troca do elemento filtrante em uma média de 240 minutos. Com isso, verificou-se a necessidade da instalação de um sistema de filtração com by-pass, visando diminuir os *downtimes* do processo. Com apenas um filtro, ao chegar a saturação do mesmo, a transferência da suspensão seria interrompida para a troca do elemento filtrante, impactando assim no envase do produto acabado. Já com o sistema de bypass estariam disponíveis dois filtros, ou seja, o fluido passaria apenas por um filtro de cada vez, mas ao atingir a saturação deste filtro, o segundo estaria disponível para inversão do fluxo sem causar impactos na transferência do produto acabado.

Ao realizar a leitura da eficiência da bomba na curva característica da bomba utilizada para a transferência de herbicidas ao sistema de filtração, verificou-se uma eficiência de 53% do equipamento. A eficiência máxima de operação deste modelo de bomba de acordo com o fornecedor é de 60%, sendo assim, a eficiência real está dentro de uma faixa adequada de operação. Em relação aos cálculos de massa de torta por unidade de área do elemento filtrante, obteve-se um resultado de  $0,92 \text{ kg/m}^2$ , o que caracteriza uma torta de fina espessura ( $0,09 \text{ cm}$ ). Estes cálculos foram realizados de acordo com as dimensões fornecidas pelo fabricante do elemento filtrante e com o cálculo da área.

Para os dados de porosidade, manteve-se a evaporação de toda a água contida na amostra por cerca de 24 horas em estufa a  $105^\circ\text{C}$  e quantificou-se a porosidade em 22%. Para a velocidade do filtrado, encontrou-se um valor de  $76,29 \text{ m/h}$  ou  $0,0211 \text{ m/s}$ . Neste cálculo, como a variação da vazão

quantificada não é expressiva, utilizou-se o valor de vazão média para a realização dos cálculos na operação com pressão variável.

Portanto, de acordo com os dados obtidos e características do processo, os cálculos deste sistema de filtração se deram a vazão constante e pressão variável. Os principais cálculos para determinar a eficiência do sistema de filtração foram realizados com dados da área do elemento filtrante, vazão do sistema, concentração de sólidos na suspensão e densidade da torta. A resistência do meio (R), foi determinada em  $94966315 \text{ m}^{-1}$ . Já a resistência específica da torta ( $\alpha$ ), foi calculada em  $0,843687 \text{ m}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Os dados obtidos neste estudo são singulares, ou seja, realizar a comparação com outros sistemas de filtração torna-se inviável, pois cada sistema possui características particulares. As observações visuais do filtrado e dos cálculos realizados mostraram que o sistema projetado atendeu as necessidades operacionais da empresa.

## **5. CONCLUSÃO**

De acordo com o objetivo proposto, que foi o estudo dos aspectos e eficiência do sistema de filtração do tipo bolsa para a retenção de partículas indesejáveis em herbicidas através de um filtro de testes, pode-se concluir que, através da visualização do filtrado, das condições operacionais e dos cálculos desenvolvidos para a obtenção dos valores de saturação do elemento filtrante, resistência específica da torta e resistência do meio de filtração, que o sistema de filtração é eficiente e os dados quantificados permitem projetar outros sistemas de filtração.

## **6. REFERÊNCIAS**

- DAS, A. C.; DEBNATH, A.; MUKHERJEE, D. Effect of the herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. *Chemosphere*, v. 53, n. 5, p. 217-221. 2003.
- FOUST, A. S. et.al. *Princípios das Operações Unitárias*. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed LTC, 1982.
- PRIMEL, Ednei Gilberto; et al. Poluição das Águas por Herbicidas Utilizados no Cultivo do Arroz Irrigado na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Predição Teórica e Monitoramento. *Química Nova*. V. 28, n. 4, p. 605-609, abr. 2005.
- RUSHTON, Albert; WARD, Anthony S.; HOLDICH, Richard G. *Solid-Liquid Filtration and Separation Technology*. 2. ed. Federal Republic of Germany: Wiley-Vch, 2000.
- SVAROVSKY, Ladislav. et.al. *Solid-Liquid Separation*. 4. ed. United States of America: Butterworth Heinemann, 2000.