

## CAPÍTULO 24 – ENSAIOS DE FILTRAGEM EM FILTRO DE FOLHA (LEAF TEST)

### **Silvia Cristina Alves França**

Engenheira Química/UFS, Mestre e Doutora em  
Engenharia Química/COPPE-UFRJ  
Tecnologista III do CETEM/MCT

### **Rui de Góes Casqueira**

Engenheiro Químico/UFRRJ, Mestre em  
Engenharia de Materiais/UFSCar e Doutor em  
Engenharia Metalúrgica/PUC-Rio  
Professor de Engenharia Química da UFRRJ



## 1. INTRODUÇÃO

Pode-se definir a filtração como a operação de separação de sólidos contidos em uma polpa na qual a fase líquida, denominada filtrado, é forçada a passar através de um meio poroso, também chamado de meio filtrante, enquanto a fase sólida, chamada de torta de filtração, forma uma camada sobre a superfície do meio poroso (França e Massarani, 2004).

Se o líquido passar pelo meio filtrante apenas pelo efeito da pressão hidrostática, a operação é chamada apenas de filtração por gravidade. Se uma pressão diferente da atmosférica for usada para este fim, ela receberá o nome de filtração sob pressão (pressões positivas) ou a filtração a vácuo (subatmosférica). Há ainda a filtração centrífuga, quando forças centrífugas são aplicadas ao meio filtrante.

## 2. FATORES QUE INFLUENCIAM A FILTRAÇÃO

A viscosidade, temperatura e densidade da polpa, além da espessura da torta e da velocidade média influem no processo de filtração, como pode ser observado nas considerações seguintes:

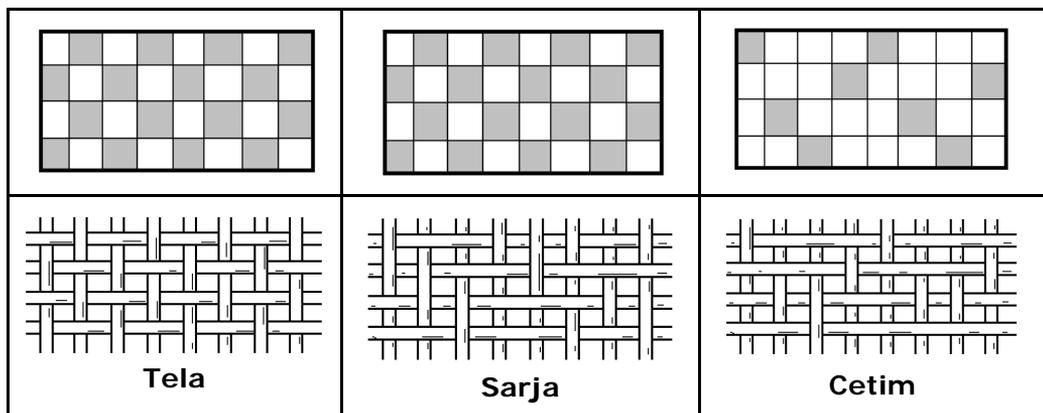
- (i) a viscosidade da polpa é inversamente proporcional à razão de filtração;
- (ii) a temperatura da polpa tem importância maior quando altera significativamente a viscosidade ou quando altera as propriedades do meio filtrante;
- (iii) a espessura da torta é importante para o ciclo de operação;
- (iv) a velocidade média de filtração para uma dada quantidade de filtrado ou de torta é inversamente proporcional ao quadrado da espessura da torta no final da filtração;

Em geral, quanto maior a densidade da polpa, maior a razão de filtração e menor a sua velocidade. Quanto mais grossa a granulometria do minério que compõe a torta, serão maiores a razão e a velocidade de filtração e menor a umidade da torta.

### 3. MEIOS FILTRANTES

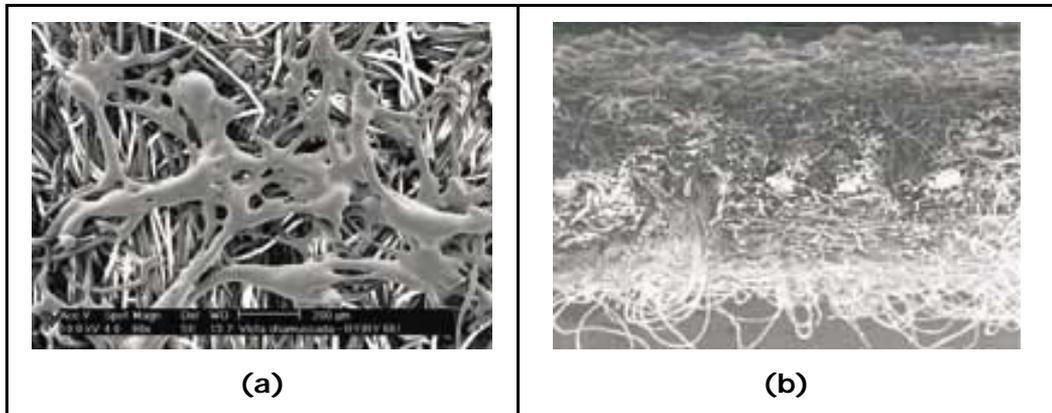
Embora nas indústrias químicas e metalúrgicas sejam empregados materiais como telas metálicas, plásticos porosos, vidros sinterizados e membranas porosas, na indústria mineral a escolha se restringe a tecidos. A seleção é muito ampla e não abrange somente a natureza química das fibras como também a maneira como elas são tecidas.

A tessitura do pano pode ser feita de muitas maneiras, das quais as mais importantes são: trama simples ou tela (*plain*), sarjas (*twill*) e cetim (*satim*), conforme mostrado na Figura 1. O uso do feltro também é comum em filtros de manga por causa de sua alta resistência mecânica, além disso, também depende do tipo de acabamento, conforme ilustra a Figura 2.



Fonte: Chaves, 1996.

Figura 1 – Tessituras básicas dos tecidos usados na filtragem de polpas de minérios.



Fonte: Pacheco, 2002.

Figura 2 – Acabamento chamuscado do feltro: (a) vista frontal com aumento de 60 vezes e (b) vista lateral com aumento de 20 vezes.

#### 4. TESTES EM ESCALA DE LABORATÓRIO

##### Dimensionamento de Filtros

Os parâmetros de dimensionamento de um filtro para uma determinada situação são obtidos por meio de ensaios em escala de laboratório. Apenas por meio desses experimentos, torna-se possível estudar o comportamento de um determinado produto a ser filtrado (França e Massarani, 2004).

##### Teste de Folha (*leaf test*)

O teste de folha é o método de filtragem, em escala de bancada, empregado universalmente para o dimensionamento de filtros contínuos industriais. Estes ensaios requerem equipamentos relativamente simples, de pequena escala e de fácil montagem.

Segundo Chaves (1996), o ensaio de teste de folha deve ser feito usando-se um suporte de filtragem padrão, de área 1/10 ft<sup>2</sup>, revestido com a tela mais adequada à polpa que se quer filtrar. Esse suporte então deve ser ligado, por meio de mangueiras de plástico, a um kitasato, a uma bomba de vácuo e a um rotâmetro. Para polpas homogêneas, o ensaio é feito conforme a seqüência representada nas Figuras 3 e 4.

Um programa de ensaios de filtragem deve ser iniciado com uma série de investigações preliminares a fim de observar a ordem de grandeza do tempo de formação de torta, o desaguamento ou secagem, o nível de vácuo e a seleção do meio filtrante, que passam a fornecer os resultados desejados.

Para iniciar o ensaio, o vácuo é ligado e a folha de ensaio (meio filtrante) é totalmente imersa na polpa a ser filtrada, a qual é mantida levemente agitada durante o tempo pré-determinado para a formação da torta, como mostrado na Figura 3. Após esse período, retira-se a folha de ensaio da polpa, invertendo-a de modo a ser posicionada com o tubo de drenagem para baixo, iniciando a secagem da torta durante o tempo escolhido. A seguir, a torta é descarregada com o auxílio de um sopro de ar comprimido no tubo de drenagem.

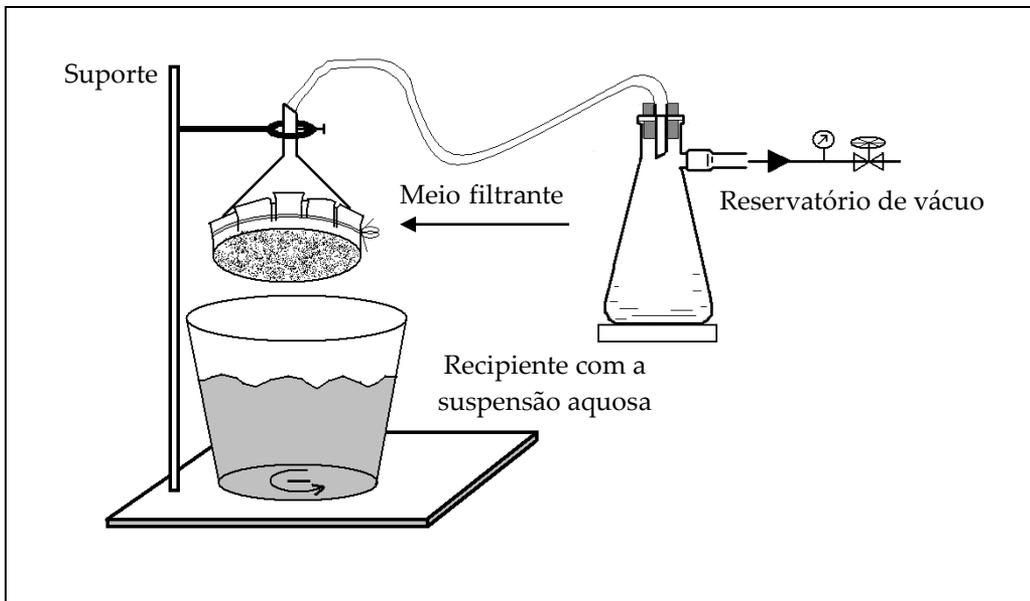


Figura 3 – Primeira etapa do ensaio de teste de folha (formação da torta).

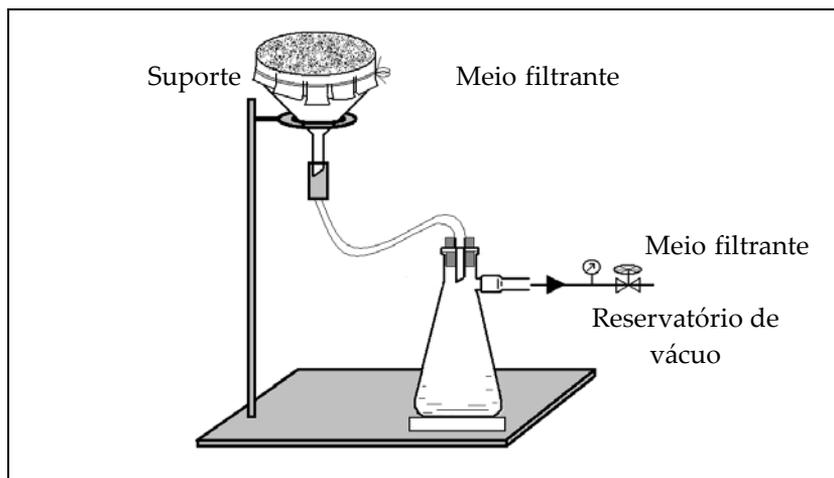


Figura 4 – Segunda etapa do ensaio de teste de folha (secagem).

As variáveis mais estudadas neste tipo de ensaio são: temperatura da polpa, concentração de sólidos em suspensão, tratamento prévio da polpa com a adição de agentes auxiliares, nível de vácuo e a lavagem do tecido. Os principais dados obtidos nos testes de folha são: tempo total de filtração, volume de filtrado, espessura e uniformidade da torta, bem como o nível do vácuo (pressão utilizada).

Os resultados obtidos nos testes de folha são expressos em peso de sólido seco ou volume de filtrado, por unidade de área ou por ciclo, que é a razão de filtração. Essa grandeza, multiplicada pelo número de ciclos por dia, permite o cálculo da área do filtro necessária para processar e obter uma capacidade diária de uma determinada escala de produção. No cálculo do ciclo da filtração, devem ser considerados os tempos de carga, descarga, troca de tecidos, manutenção e previsão de expansão (Chaves, 1996).

A polpa a ser filtrada é colocada em um recipiente, e em seguida, o estojo de filtração (suporte da filtração e meio filtrante) é introduzido na polpa, durante o tempo necessário para formar a torta (tempo de formação). Ele é retirado da polpa e continua submetido ao vácuo (tempo de secagem). Verifica-se o tempo necessário para secar a torta, a sua espessura, a umidade, etc. Todos os tempos são registrados em um formulário, como ilustrado no

Quadro 1, além de outros parâmetros, como turbidez e volume de filtrado, umidade final e espessura da torta.

Quadro 1 – Planilha de laboratório utilizada em práticas laboratoriais, no CETEM, para controle de parâmetros operacionais do teste de folha.

 <b>CETEM</b> CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL		Projeto:				Resp:							
		Ensaio de Filtragem				Local:							
						Data / /							
Cliente:						Contrato:							
Material:						O.S. nº:							
Origem:						Amostra nº:							
OBSERVAÇÕES: ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----	Turbidez do filtrado (NTV)												
	Descrição da torta												
	kg/ft <sup>2</sup> (seco)												
	% umidade												
	Peso da torta	Seco (g)											
		Úmido (g)											
	Espessura da torta (cm)												
Material: _____ % sólidos consistindo em _____ % líquidos consistindo em _____ Data de recepção: _____ Quantidade recebida: _____ pH da polpa: _____ Tamanho do filtro: _____ ft <sup>2</sup> área: _____ Tipo de filtro: _____	Lavagem	L/h/ft <sup>2</sup>											
		MI											
	Velocidade filtragem	L/h/ft <sup>2</sup>											
		mL ciclo											
	Tempo de Filtragem	Ciclo											
		Fissuração											
		Secagem											
		Lavagem											
		Imersão											
	Vácuo (mm Hg)	Média obtida	Secagem										
			Lavagem										
			Imersão										
		Operação	Secagem										
			Imersão										
% sólidos na alimentação													
Tela													
Temperatura													
Ensaio nº:													

### Teste de Filtragem a Vácuo

Nos experimentos de laboratório, nos quais deseja-se separar uma polpa ou suspensão contendo sólidos filtráveis, em duas partes - uma torta sólida, contendo o material em suspensão, e um líquido clarificado emprega-se a filtragem a vácuo para acelerar o processo de separação.

A filtragem a vácuo consiste na aplicação de uma pressão menor que a atmosférica, o que promove o aumento da velocidade de formação da torta. O kitasato é o recipiente mais adequado para o teste em laboratório. O sistema resume-se em acoplar o kitasato a um funil de *Buchner* que, por sua vez, está ligado a uma linha de vácuo, conforme ilustrado na Figura 5. A suspensão a ser filtrada pode ser acondicionada em recipientes tipo béquer, ou até mesmo em baldes, dependendo da quantidade de material a ser filtrado. O meio filtrante normalmente empregado é um papel de filtro de porosidade conhecida e capaz de reter o material sólido.

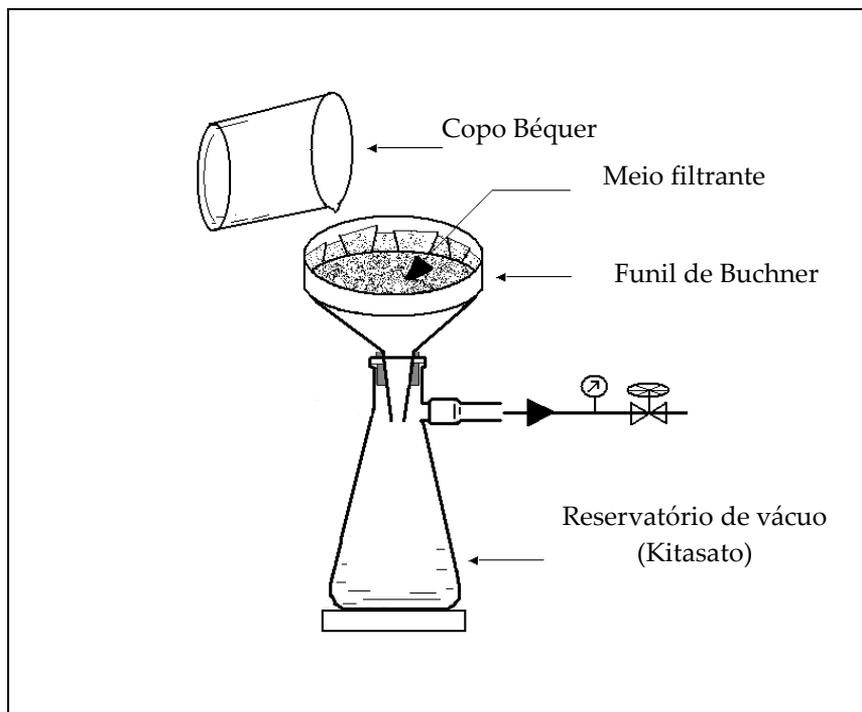


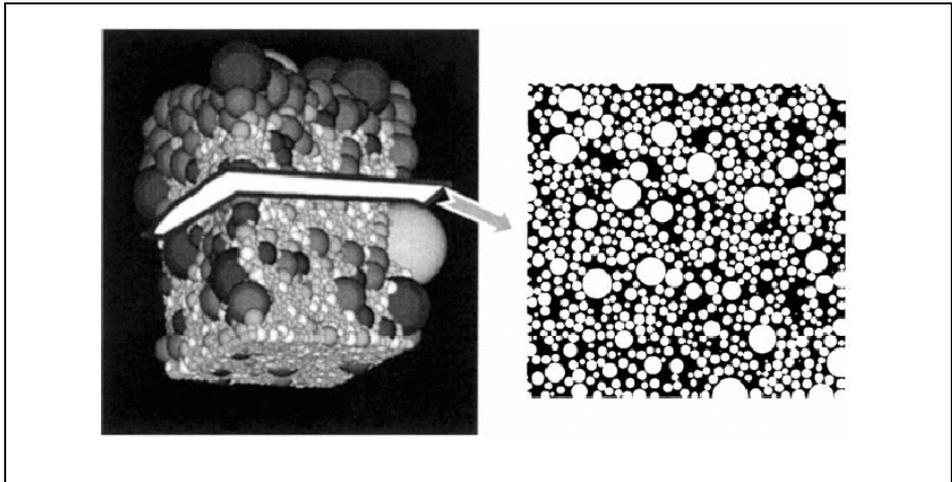
Figura 5 – Sistema de filtragem a vácuo utilizado nos laboratórios do CETEM.

A suspensão a ser filtrada deve ser vertida aos poucos sobre o papel de filtro corretamente posicionado no funil e no kitasato. Para que o papel de filtro se encaixe melhor no funil de *Buchner*, coloque-o sobre o funil e molhe-o com água usando a pisseta. Se esse for maior do que a área perfurada do funil, deve-se então dobrar o papel de filtro com as abas para cima. A adição da suspensão deve ser de tal modo que não ultrapasse a altura do papel de filtro, evitando assim o transbordo e passagem do material sólido para o kitasato.

A suspensão pode ser decantada no béquer durante a filtragem. Para evitar isso, pode-se manter o sistema em agitação permanente ou deixar a sedimentação ocorrer livremente. Quando restar pouca quantidade de material a ser filtrado, deve-se rinçar o béquer com água, utilizando a pisseta para carrear todos os sólidos que estiverem depositados no fundo e nas paredes do béquer.

Se a quantidade de sólidos suspensos for elevada, ou se esses sólidos forem de granulometria muito fina, a torta que se forma sobre o meio filtrante poderá tornar o processo de filtragem bastante demorado, por causa do entupimento dos poros do meio filtrante, o que provoca uma perda de carga do sistema de filtragem. A disposição das partículas sólidas sobre o meio filtrante contribui de forma decisiva para o aumento da perda de carga do sistema e conseqüente perda de eficiência do processo, conforme ilustrado na Figura 6. O espalhamento das partículas sólidas na formação da torta se dá de maneira irregular, aumentando a espessura da torta conforme o tempo de operação (Lin e Miller, 2000). Caso isso ocorra, deve-se trocar o meio filtrante por um outro novo e igual ao anterior.

Deve-se colocar o meio filtrante usado em uma bandeja e levar o conjunto à estufa, com a finalidade de remover a água remanescente, isto é, a umidade. Para isso, deve-se fechar a linha de vácuo, retirar o meio filtrante do funil de *Buchner*, colocá-lo sobre uma superfície plana e lisa para raspar, com o máximo de cuidado, a superfície do meio filtrante com uma espátula e retirar a torta formada. A torta deve ser colocada em um recipiente adequado e, na seqüência, deve-se proceder o processo de secagem em estufa. Se o meio filtrante estiver em boas condições (sem entupimentos), deverá voltar para o funil e ser reutilizado em uma nova etapa do processo de filtragem.



Fonte: Pacheco, 2002.

Figura 6 – Imagens de espalhamento de partículas sólidas em uma torta da filtragem e um corte bidimensional de uma seção da torta.

Os testes de laboratório devem ser conduzidos com uso de técnicas adequadas e operadores treinados. Os resultados obtidos serão utilizados para o dimensionamento de diversos filtros contínuos, conforme descrito nos exemplos que seguem (França e Massarani, 2004 e Chaves, 1996).

**Filtro Prensa** - os elementos do filtro prensa são os quadros e as placas separados entre si pelo meio filtrante. A suspensão alimenta o conjunto de quadros, formando-se a torta no meio filtrante. O filtrado percola o meio filtrante, escoando pelas ranhuras dos quadros e é conduzido para fora do filtro. A etapa da filtragem está concluída quando a torta ocupa todo o espaço oferecido entre os quadros (França e Massarani, 2004; Chaves, 1996).

**Filtro Rotativo a Vácuo** - caracteriza-se por produzir tortas secas de pequena espessura (inferior a 1 cm) e operar continuamente sob queda de pressão reduzida (inferior a 0,8 atm). A filtragem é feita sobre o meio filtrante, que recobre a superfície cilíndrica do equipamento.

**Filtros de Discos** - a torta é formada em ambas as faces dos discos verticais, paralelos e com o centro sobre o mesmo eixo horizontal, perpendicular ao plano dos discos. Cada disco é composto de múltiplos setores independentes, cobertos de tela e que se comunicam com as tubulações

de vácuo e de ar comprimido. A torta é formada pela aspiração da polpa para junto da tela e pela manutenção dos sólidos próximos a ela por aspiração continuada.

**Filtro Plano** - é constituído basicamente de uma superfície circular horizontal, que gira em torno de um eixo vertical, sobre a qual é apoiada a tela e entornada a polpa a ser filtrada. Destina-se basicamente às polpas heterogêneas (aquelas que sedimentam quando em repouso), sendo extremamente recomendado para o desaguamento de sólidos relativamente grossos.

**Filtro de Tambor** - trata-se de um cilindro que gira em torno de um eixo horizontal e sobre o qual a tela filtrante é apoiada. No seu movimento, o cilindro mergulha em um tanque de polpa, forma a torta por aspiração e, de modo semelhante ao filtro de discos, emerge do tanque e seca a torta, que, quando está seca, é soprada, ou raspada e, em seguida, descarregada.

**Filtro de Correia** - trata-se de um transportador de correia com projeto especial, de modo a servir de suporte para uma tela colocada sobre a correia e a permitir o escoamento do ar através da torta.

**Exemplo:**

Os testes de filtragem foram executados com uma polpa de diatomita, contendo 10% de sólidos, para diferentes tempos de formação e de secagem da torta, como ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tempos de filtragem (TF) e umidades da torta (UT) resultantes de um teste de filtragem de uma polpa de diatomita.

(TF) (min)	(UT) (%)	(TF) (min)	(UT) (%)
0,0	90,8	6,0	79,80
1,0	76,77	7,0	78,29
1,5	78,01	8,0	78,09
2,0	83,40	9,0	77,47
2,5	79,94	10,0	74,81
5,0	79,64	15,0	73,91

Pressão de vácuo: 12 pol Hg (TF) Tempo de Filtragem (UT) Umidade da Torta

Com base nos resultados contidos na Tabela 1 é possível afirmar que, independente do tempo de filtração utilizado, não há grandes variações na umidade da torta formada. Isso faz pressupor que há necessidade de aplicação de forças mecânicas para um maior desaguamento desse tipo de material, pelo fato de a diatomita ser muito porosa e acumular grande volume de água em sua estrutura. Observou-se uma torta compacta após o tempo de filtração, caracterizando que o seu processo de formação foi satisfatório, porém a água intersticial da diatomita não pode ser removida por este processo.

A Figura 7 ilustra a pequena variação da umidade da torta com o tempo de filtração, comparado à umidade da suspensão inicial.

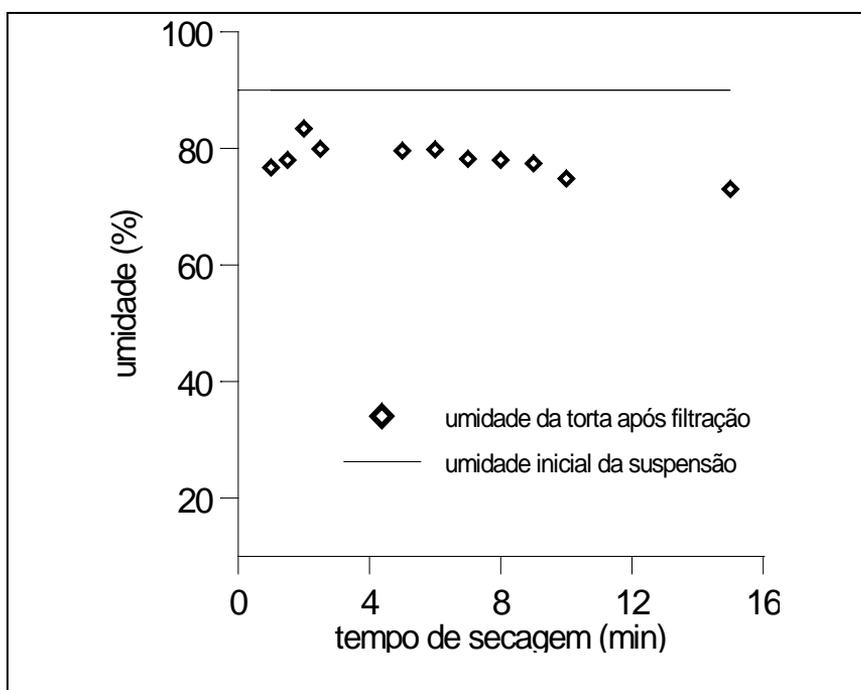


Figura 7 – Variação da umidade da torta com o tempo de filtração no *Leaf Test*.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Chaves, A. P. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios. São Paulo: Signus Editora, vol. 2., 1996, 424p.
- França, S. C. A. e Massarani, G. Separação sólido-líquido. In: Luz, A. B., Sampaio, J. A. e Almeida, S. L. M. (Ed.). Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, p. 573-607.
- Lin, C. L. e Miller, J. D. Pore structure and network analysis of filter cake. *Chemical Engineering Journal*, vol. 80, Issues 1-3, 1, December, 2000, p.221-231.
- Pacheco, T. A. Como obter o rendimento máximo dos filtros de manga. *Revista Química e Derivados*. N. 407, Agosto, 2002.