

## DEGRADAÇÃO DE MEIOS FILTRANTES NA FILTRAGEM A VÁCUO

A. C. SILVA<sup>1</sup>, E. M. S. SILVA<sup>2</sup>, F. V. LIMA<sup>3</sup> e M. S. SANTOS<sup>4</sup><sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Minas, Campus Catalão, UFG. andrecarlos@catalao.ufg.br<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Minas, Campus Catalão, UFG. elenice@catalao.ufg.br<sup>3</sup> Graduanda em Engenharia de Minas, Campus Catalão, UFG. francielevlima@hotmail.com<sup>4</sup> Engenheira de Minas, Anglo American Fosfatos, Catalão. marilia.silva@angloamerican.com

Artigo submetido em novembro/2013 e aceito em dezembro/2013

DOI: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2014.1773>

## RESUMO

A filtragem é uma operação de separação sólido-líquido que consiste em separar mecanicamente as partículas sólidas de uma suspensão líquida com o auxílio de um leito poroso, chamado de meio filtrante. Para o correto dimensionamento, tanto do filtro quanto das suas manutenções, é necessário o conhecimento de desgaste, seja a nível de ruptura do meio filtrante ou de seu entupimento. O objetivo do trabalho era o estudo da

obstrução de meios filtrantes utilizados na indústria mineral em operações de filtragem a vácuo, permitindo assim uma maior compreensão dos fatores operacionais que podem afetar a obstrução de meios filtrantes e por consequência reduzir a vida útil do mesmo. Tal compreensão é necessária para, no futuro, modelar e simular o processo de obstrução de meios filtrantes industriais.

**PALAVRAS-CHAVE:** filtragem, meios filtrantes, degradação, filtragem a vácuo

## FILTRATION MEDIA DEGRADATION IN THE VACUUM FILTRATION

## ABSTRACT

Filtration is a solid-liquid separation operation that consists in mechanic separate the solid particles from a liquid suspension aided by a porous bed, called as filtration media. For filter and maintenances correct dimensioning it is necessary to know the filtration media degradation, been in rupture or obstruction level. This work aimed in the study of the mineral industry filtration

media obstruction in the vacuum filtration, allowing a better understanding of the operational factors which can affect the filtration media obstruction and reduce it life. This comprehension is necessary to, in the future, model and simulates the filtration media obstruction process applied to industrial filtration media.

**KEYWORDS:** filtration, filtration media, degradation, vacuum filtration

## 1 INTRODUÇÃO

A filtração é uma operação de separação sólido-líquido que consiste em separar mecanicamente as partículas sólidas de uma suspensão líquida com o auxílio de um leito poroso, chamado de meio filtrante. A suspensão ou polpa é forçada através do meio filtrante, ficando o sólido retido antes do meio filtrante, formando um depósito denominado “torta” e cuja espessura aumenta em função do decorrer da operação. O líquido clarificado obtido é chamado de filtrado. Uma força de propulsão faz-se necessária ao processo, dependendo do tipo de filtro utilizado tal força pode ser gravitacional, vácuo, pressão ou centrífuga.

O processo de filtração pode ser realizado através de três maneiras básicas: com formação de torta, sem formação de torta e em leitos profundos. No processamento mineral, utiliza-se mais comumente o primeiro tipo, onde ocorre a deposição de uma camada de sólido sobre a superfície filtrante, sendo os poros do meio filtrante menor ou igual ao tamanho da maior partícula. A utilização do processo de filtração no processamento mineral tem como objetivos básicos a retirada de água de concentrados e rejeitos finais, adequando-os para os processos de aglomeração, tais como a pelotização e sinterização, ou mesma para a disposição final da torta.

Para o correto dimensionamento, tanto do filtro quanto das suas manutenções, é necessário o conhecimento de desgaste, seja a nível de ruptura do meio filtrante ou de seu entupimento. O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um simulador capaz de modelar a obstrução do meio filtrante durante o processo de filtração dado as características da polpa e do material sólido presente nesta.

É sabido da teoria do peneiramento que partículas inferiores a 50% do tamanho da abertura da peneira passam para pela superfície de peneiramento, partículas com 150% do tamanho da abertura da peneira ficam retidas e que partículas com tamanho entre 50 e 150% do tamanho da abertura da peneira possuem probabilidade não nula de passem por esta (Luz et al., 1995). No presente trabalho foi testada a hipótese de que a teoria do peneiramento sobre a passagem ou retenção de partículas em uma superfície de peneiramento poderia ser similar ao ocorrido nos meios filtrantes, bem como tentou-se correlacionar a obstrução dos meios filtrantes com a granulometria do filtrado.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho era o estudo da obstrução de meios filtrantes utilizados na indústria mineral em operações de filtração a vácuo, permitindo assim uma maior compreensão dos fatores operacionais que podem afetar a obstrução de meios filtrantes e por consequência reduzir a vida útil do mesmo. Tal compreensão é necessária para, no futuro, modelar e simular o processo de obstrução de meios filtrantes industriais.

## 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho abrangeu a caracterização das amostras de areia de quartzo oriundas de leito de rios da região de Catalão - GO (usadas nos ensaios de

filtragem), a realização de ensaios de filtragem a vácuo e testes de folha. Em ambos os ensaios de filtragem foram utilizadas amostras bitoladas de areia de quartzo e brim como meio filtrante. Ao final dos ensaios de filtragem o material retido no meio filtrante (torta) era encaminhado para secagem em estufa e posterior pesagem.

### 3.1 Caracterização granulométrica e morfológica da areia de quartzo utilizada nos ensaios de filtragem

Para caracterização granulométrica da areia de quartzo a ser filtrada foram realizados ensaios de peneiramento utilizando um peneirador mecânico e peneiras da série Tyler com tempo de peneiramento de quinze minutos cada. A massa de areia de quartzo peneirada em cada ensaio de peneiramento era igual a 600g. A figura 1 mostra a análise granulométrica típica da areia de quartzo utilizada nos ensaios de filtragem.

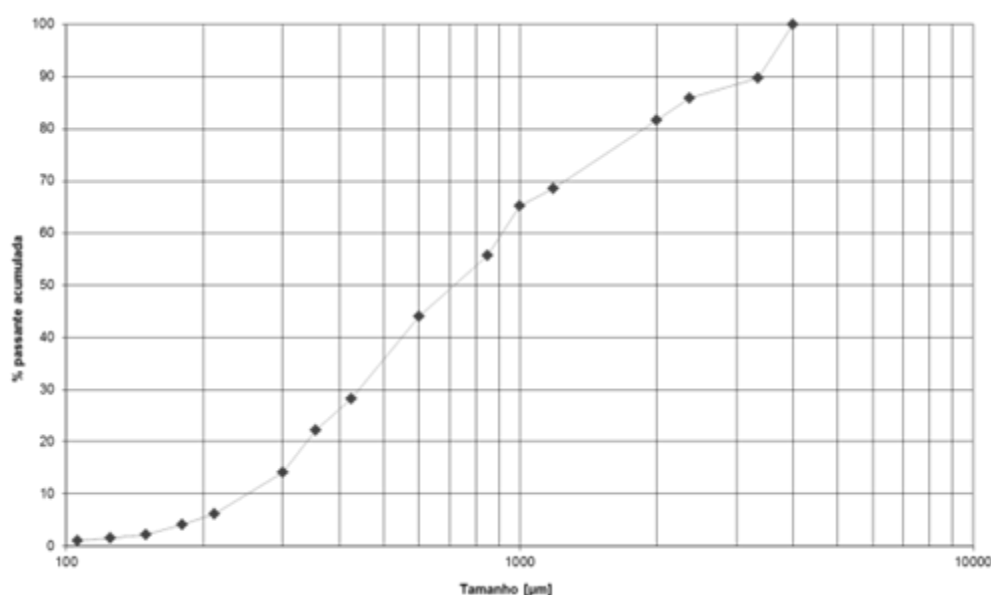


Figura 1 - Análise granulométrica da areia de quartzo utilizada nos ensaios de filtragem.

### 3.2 Ensaios de filtragem a vácuo

Segundo França et al. (2007) 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, sendo que a seleção do tecido a ser usado é muito ampla e não abrange somente a natureza química das fibras, como também a maneira como elas são tecidas. Como meio filtrante foram utilizados discos de 12,5 cm de diâmetro de Brim (ou Denim), que é um tipo de tecido de algodão em que somente os fios do urdume (longitudinal) são tingidos com corante índigo, normalmente com ligamento do tipo sarja. Tal ligamento é uma estrutura (ou padrão) de tecelagem que possui repetição mínima de três fios de urdume e trama, e distingue-se por sua diagonal bem definida.

Os ensaios de filtragem foram realizados através de uma montagem simples que consistia na ligação de uma bomba de vácuo Primatec 132 a um frasco de Kitasato de 2000 ml. Um funil de

Büchner de 560 ml foi acoplado ao frasco de Kitasato, onde foram colocados o material a ser filtrado e o meio filtrante. A figura 2 apresenta o aparato experimental utilizado para a realização dos ensaios de filtragem a vácuo. Diferentemente de um teste de folha (*leaf test*) nos ensaios realizados a polpa era colocada acima do meio filtrante no interior do funil. Desta forma a torta formada não se mantinha aderida ao meio filtrante, mas sim retida neste.

Foram preparadas polpas contendo 600ml de água e 50g de areia para a realização dos ensaios de filtragem. Para cada granulometria de areia de quartzo ensaiada a massa de material na polpa foi incrementada 50g até 250g. Após a filtragem tanto a torta formada quanto o meio filtrante foram secos em estufa a 150°C por duas horas. Tanto a torta seca gerada quanto o meio filtrante usado foram pesados após a secagem, de modo a mensurar o ganho de peso do meio filtrante e a quantidade de material retido por este.



Figura 2 - Aparato experimental utilizado nos ensaios de filtragem a vácuo.

### 3.3 Teste de folha

A segunda etapa experimental se deu a partir da realização dos testes de folha, o meio filtrante foi cortado em quadrados 25 x 25 cm, utilizando o mesmo tecido anteriormente adotado. A montagem do teste de folha consistiu na ligação da bomba de vácuo marca Primatec modelo M-132 a um frasco de Kitasato de 2000 ml. Um funil de Büchner de 560 ml, cujas abas foram removidas, foi acoplado ao frasco de Kitasato através de uma mangueira de borracha de ½". O meio filtrante foi instalado de maneira a revestir o funil de Büchner conforme mostrado na figura 8. De modo a evitar a sedimentação da polpa durante o ensaio esta foi colocada em um recipiente sob agitação mecânica produzida por um agitador mecânico microprocessado com haste e hélice com capacidade para agitação de seis litros de água e rotação variável de 100 a 2000 rpm. A montagem experimental utilizada no teste de folha pode ser vista na figura 3.



Figura 3 - Meio filtrante instalado no funil de Kitasato sem abas.

Para a realização dos testes de folha foi necessária a determinação previa dos parâmetros operacionais dos testes, tais como o tempo de imersão do meio filtrante na polpa e o tempo de secagem da torta. Em virtude da granulometria do material utilizado (material bitolado que passou por processo de lavagem para remoção de lamas e de matéria orgânica) a operação de lavagem da torta foi descartada. Desta forma o tempo de ciclo da operação (imersão + secagem) foi definido considerando-se o volume de filtrado máximo que se poderia gerar, que no caso em particular da montagem realizada era o volume do frasco de Kitasato utilizado igual a dois litros. Para o vácuo máximo de trabalho da bomba estabeleceu-se um tempo de ciclo médio de 15 segundos, sendo 5 segundos de imersão e 10 segundos de secagem.

Com o intuito de relacionar a qualidade da torta e a obstrução do meio filtrante os ensaio foram realizados através da variação do vácuo e da porcentagem de sólidos contidos na polpa. Inicialmente foram realizados ensaios com vácuo de 100 mmHg e 2 l de polpa com porcentagem de sólidos de 4,5%, 6% e 9%, utilizando areia de quartzo com granulometria -180+150  $\mu\text{m}$  (-80+100#). Em seguida foram realizados ensaios variando o vácuo para 200 mmHg e 300 mmHg. A tabela I apresenta o sumário dos testes de folha realizados.

Tabela 1 - Sumário dos testes de folha realizados.

VÁCUO [MMHG]	% DE SÓLIDOS	NÚMERO DE TESTES	% DE SÓLIDOS	NÚMERO DE TESTES	% DE SÓLIDOS	NÚMERO DE TESTES
100	4,5	14	6,0	14	9,0	14
200	4,5	5	6,0	5	9,0	5
300	4,5	7	6,0	7	9,0	7

Após a realização do ensaio tanto o meio filtrante quanto a torta foram fotografados, pesados e secos por duas horas em estufa à temperatura de 150 °C. Após secagem a torta e o meio filtrante foram novamente pesados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Filtragem a vácuo

A tabela 2 apresenta os resultados encontrados para os ensaios de filtragem a vácuo. Os valores exibidos se referem à massa percentual retida pelo meio filtrante após o ensaio. Para os dados obtidos foi executada uma análise do tipo ANOVA de fator duplo sem repetição (vide tabela 3) para verificar as seguintes hipóteses:

1. Dada uma granulometria a massa de sólidos na polpa altera o resultado da filtragem e
2. Para uma mesma massa a granulometria do sólido altera o resultado da filtragem.

**Tabela 2 - Massa percentual retida pelo meio filtrante nos ensaios de filtragem a vácuo.**

MASSA DE SÓLIDOS [G]	TAMANHO DA PENEIRA [MM]						
	3350	2368	2000	1184	850	600	425
50	92,230	92,419	92,622	92,314	92,478	92,366	92,302
100	96,224	96,165	96,260	96,129	96,089	96,078	96,124
150	97,364	97,455	97,411	97,501	97,341	97,295	97,393
200	98,076	98,048	98,096	98,073	97,916	97,998	98,024
250	98,403	98,462	98,432	98,413	98,331	98,439	98,412

**Tabela 3 - Resultado do teste ANOVA para os dados da tabela 1.**

FONTE DA VARIAÇÃO	SQ	gl	MQ	F	VALOR-P	F CRÍTICO
Linhas	166,7168	4	41,67921	8097,96	3,52E-37	2,776289
Colunas	0,068005	6	0,011334	2,202129	0,078169	2,508189
Erro	0,123525	24	0,005147			
Total	166,9084	34				

Para verificar a degradação do meio filtrante após a realização dos ensaios de filtragem estes foram pesados após a secagem. Os resultados encontrados são apresentados na tabela 3, sendo que a massa média inicial do meio filtrante era de 3,067g. A figura 5 apresenta uma fotografia adquirida via microscopia ótica do meio filtrante após a realização do ensaio com 150g de areia de quartzo na faixa granulométrica -1000+850µm. Para os dados obtidos para o meio filtrante foi executada uma análise do tipo ANOVA de fator duplo sem repetição (vide tabela 4) para verificar as seguintes hipóteses:

1. Dada uma granulometria a massa de sólidos na polpa influencia na obstrução do meio filtrante e

2. Para uma mesma massa a granulometria do sólido influencia na obstrução do meio filtrante.

**Tabela 4 - Massa (em gramas) do meio filtrante após realização dos ensaios de filtragem a vácuo (massa média inicial do meio filtrante 3,067g).**

MASSA DE SÓLIDOS [G]	TAMANHO DA PENEIRA [MM]						
	3350	2368	2000	1184	850	600	425
50	3,885	3,791	3,690	3,853	3,809	3,823	3,861
100	3,779	3,852	3,768	3,897	3,929	3,934	3,887
150	3,984	3,835	3,910	3,904	3,999	4,069	3,925
200	3,971	3,967	3,849	3,896	4,210	4,037	3,969
250	4,030	3,883	3,983	4,004	4,201	3,938	4,023

**Tabela 5 - Resultado do teste ANOVA para os dados da tabela 3.**

FONTES DA VARIACÃO	SQ	gl	MQ	F	VALOR-P	F CRÍTICO
Linhas	0,187597	4	0,046899	10,15534	5,88E-05	2,776289
Colunas	0,116085	6	0,019348	4,189442	0,005079	2,508189
Erro	0,110836	24	0,004618			
Total	0,414518	34				

#### 4.2 Teste de folha

A tabela 6 apresenta os resultados experimentais obtidos para a campanha de ensaios de folha realizada. As variáveis testadas foram a porcentagem de sólidos (4,5; 6 e 9%) e o vácuo (100, 200 e 300 mmHg).

**Tabela 6 - Resultados experimentais obtidos para os ensaios de folha.**

% DE SÓLIDOS	100 mmHg		200 mmHg		300 mmHg	
	MASSA [G]	FILTRADO [ML]	MASSA [G]	FILTRADO [ML]	MASSA [G]	FILTRADO [ML]
4,5	6,8	849,2	3,6	946,0	7,5	1137,5
6,0	10,3	853,1	8,24	1126,0	11,5	1156,3
9,0	12,3	861,5	11,7	1134,0	13,2	1177,5

A figura 4 apresenta a variação da massa da torta (em gramas) em relação à porcentagem de sólidos para três diferentes pressões de vácuo. Nota-se uma anomalia no ensaio com 100 mmHg de vácuo (curva em azul), no qual foram obtidas tortas mais pesadas quando comparado ao ensaio com 200 mmHg de vácuo (curva em marrom).

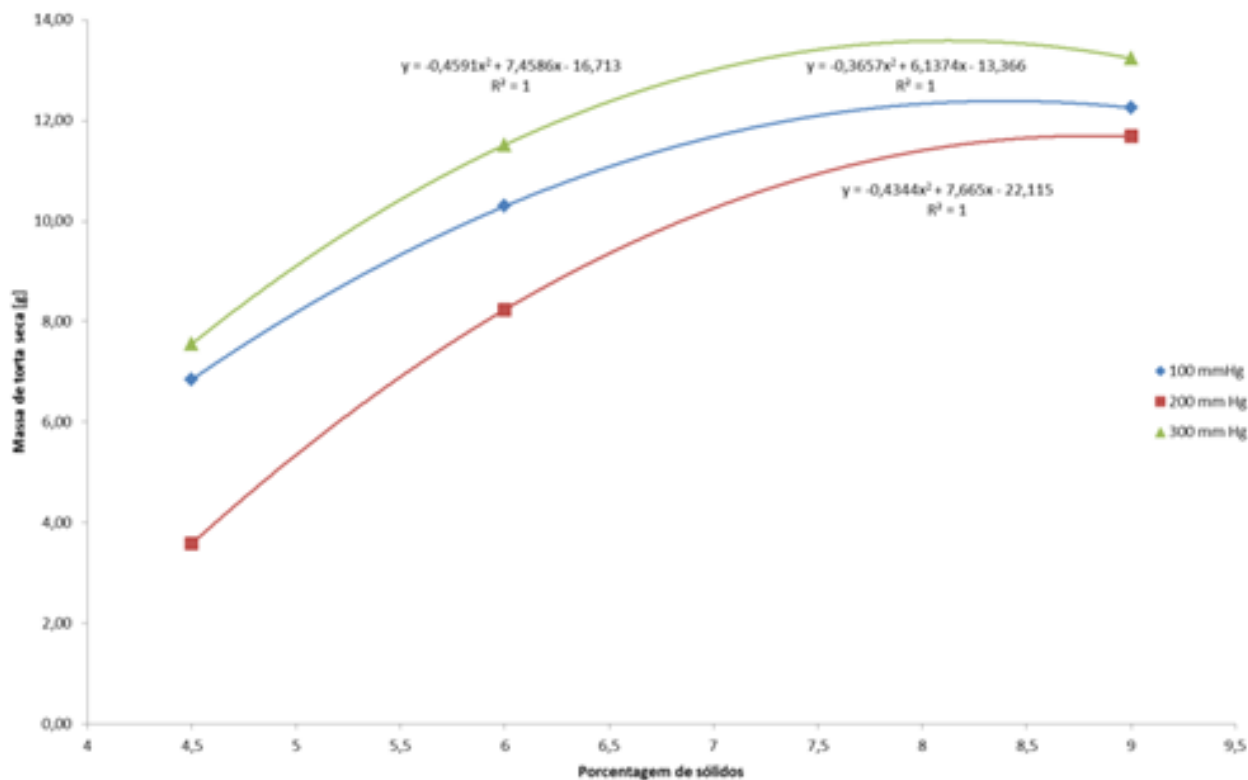


Figura 4 - Variação da massa da torta em relação à porcentagem de sólidos para diferentes pressões de vácuo.

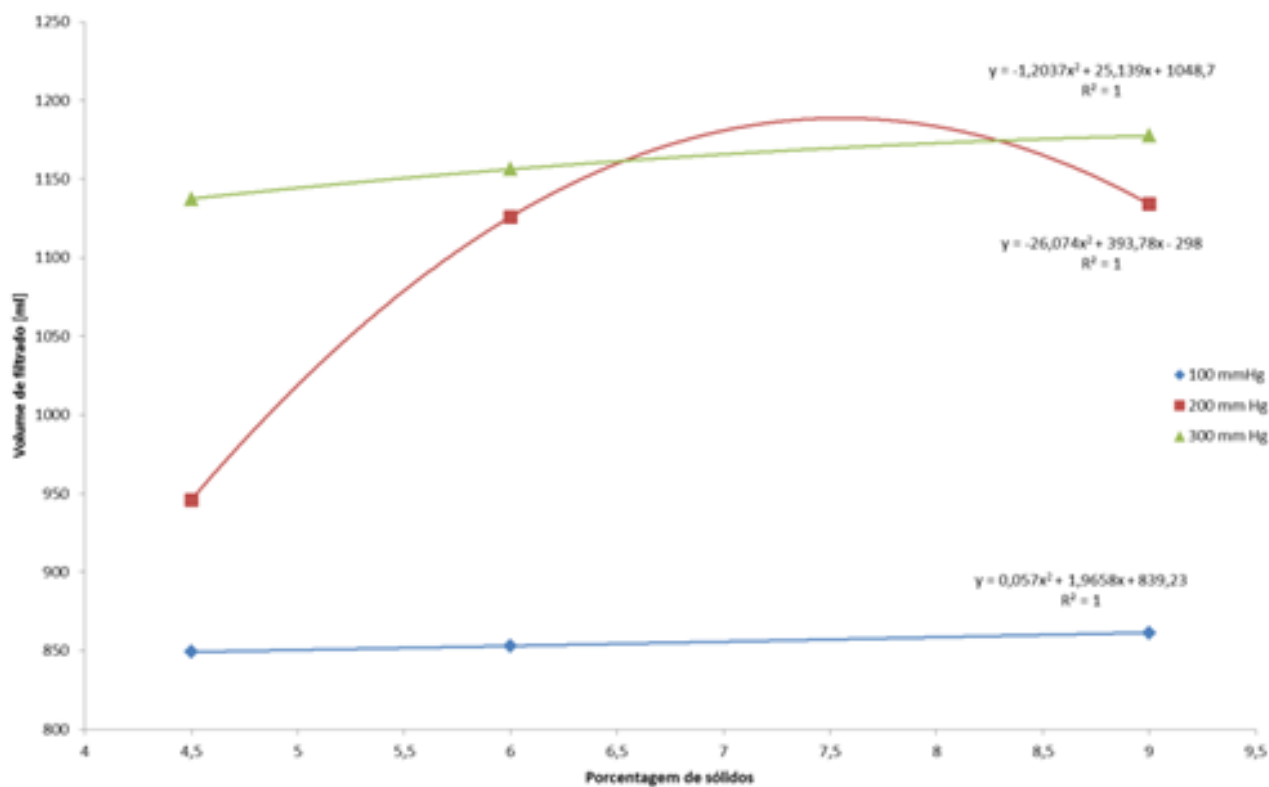


Figura 5 - Variação do volume de filtrado em relação à porcentagem de sólidos para diferentes pressões de vácuo.



Já a figura 5 apresenta a variação do volume de filtrado em relação à porcentagem de sólidos da polpa para diferentes pressões de vácuo. De modo a modelar os dados experimentais obtidos foram adicionadas linhas de tendência polinomial passando pelos pontos. Nota-se um comportamento diferenciado entre o ensaio com 200 mmHg de vácuo e os demais, visto que para 100 e 300 mmHg os resultados obtidos apontam para uma relação linear (baixos coeficientes de segunda ordem) entre o volume de filtrado e a porcentagem de sólidos da polpa. A hipótese da existência de algum erro experimental que explicasse o comportamento do ensaio com vácuo de 200 mmHg apresentado na figura 4 é corroborada pela figura 5.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho provou estatisticamente que a hipótese intuitiva de que para uma mesma massa a granulometria do sólido altera o resultado da filtração. Assim sendo, a teoria do peneiramento que estabelece uma correlação probabilística entre o tamanho da partícula e a abertura da superfície de peneiramento se mostra aplicável também à filtração. No que tange a degradação do meio filtrante, o presente trabalho indica uma correlação estatística tanto da granulometria quanto da quantidade do sólido a ser filtrado com a quantidade de material retido no próprio meio filtrante.

Novos ensaios serão realizados para a determinação de um modelo matemático para estabelecer parâmetros precisos de como o meio filtrante incorpora massa do sólido filtrado. Como trabalhos futuros pretende-se realizar de ensaios de filtração em teste de folha com minério de ferro e de fosfato, sendo que este último já se encontra disponível para a realização dos ensaios (doador pela empresa Vale Fertilizantes unidade de Pato de Minas-MG). Ao término dos ensaios pretende-se utilizar técnicas de simulação computacional para permitir o modelamento do processo obstrução dos meios filtrantes de polpas de minério, sendo que os dados gerados no presente trabalho servirão para a geração do modelo matemático e posterior validação do simulador gerado.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro, imprescindível para o desenvolvimento do presente trabalho, das agências brasileiras de fomento à pesquisa CNPq, CAPES, FAPEG e FUNAPE e à Universidade Federal de Goiás, pelo apoio dado ao mesmo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FRANÇA, S. C. A., CASQUEIRA, R. G. Ensaio de filtração em filtro de folha (leaf test). In: Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais. SAMPAIO, J. A., FRANÇA, S. C. A., BRAGA, P. F. A. (Editores), Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 2007. 570 p.
2. HOSTEN, Ç., SAN, O. Reassessment of correlations for the dewatering characteristics of filter cakes. *Minerals Engineering*, 15, p. 347-353, 2002.
3. KAPUR, P. C., LAHA, S., USHER, S., DEKRETSER, R. G., SCALES, P. Modeling of the consolidation stage in pressure filtration of compressible cakes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 256,

p. 216-222, 2002.

4. KINCL, J., DOLECEK, P., CAKL, J. Filtration model for hollow fiber membranes with compressible cake formation. *Desalination*, 240, p. 99-107, 2009.
5. LUZ, A. B., COSTA, L., POSSA, M., ALMEIDA, S. Tratamento de minérios. 4ª edição. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 2004. 867 p.