

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO VOLUMÉTRICA NA ALIMENTAÇÃO DE HIDROCICLONES FILTRANTES

SALVADOR, F.F.¹, SILVA, D.O.², BARROZO, M.A.S.³, VIEIRA, L.G.M.⁴

¹Universidade Federal de Uberlândia. ffs.salvador@gmail.com

²Universidade Federal de Uberlândia. danylosilva@gmail.com

³Universidade Federal de Uberlândia. masbarrozo@ufu.br

⁴Universidade Federal de Uberlândia. luizgustavo@feq.ufu.br

RESUMO

Hidrociclones são separadores centrífugos empregados em separações sólido-líquido e líquido-líquido. Sua constituição baseia-se em uma seção cônica acoplada por uma seção cilíndrica na sua parte superior, por onde a suspensão é tangencialmente injetada, a fim de provocar um *vortex* dentro do equipamento que propicia a separação das partículas. A suspensão diluída deixa o equipamento pelo topo (*overflow*) e a suspensão concentrada deixa-o através de um orifício na base do hidrociclone (*underflow*). Os hidrociclones podem possuir paredes filtrantes, neste caso, observa-se uma corrente adicional: a corrente de filtrado. Diante do que foi exposto, o objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho do hidrociclone HCiF (hidrociclone de parte cilíndrica filtrante e cônica maciça) e HCoF (hidrociclone de parte cônica filtrante e cilíndrica maciça) para diferentes concentrações volumétricas de sólidos na alimentação (1, 2, 3 e 4%) a partir da comparação da eficiência de separação, do gasto energético e do poder de classificação do equipamento. De acordo com os principais resultados, foi possível concluir que os hidrociclones filtrantes podem tecnicamente operar com concentrações volumétricas de até 4% sem prejuízo da eficiência total e com patamares energéticos razoáveis.

PALAVRAS-CHAVE: hidrociclone; filtração; concentração de sólidos.

ABSTRACT

Hydrocyclones are centrifugal separators used in solid-liquid and liquid-liquid separation. A hydrocyclone is basically a conic section coupled with a cylindrical section in its upper part, where the suspension is tangentially injected in order to cause a vortex inside the equipment which promotes the separation of the particles. The diluted suspension leaves the equipment at the top (*overflow*) and the concentrated suspension leaves it through an orifice at the base of hydrocyclone (*underflow*). The hydrocyclones may have filtering walls; in this case, there is an additional stream: the filtrate. Based on the foregoing, the objective of this study was to compare the performance of the hydrocyclone called HCIF (hydrocyclone with a cylindrical filtering wall) and the one called HCoF (hydrocyclone with a conical filtering wall) for different volumetric concentrations of feed inlet (1, 2, 3 and 4%) based on separation efficiency, energy consumption and the classification power of the equipment. According to the main findings, it was concluded that the filtering hydrocyclones can technically operate with volumetric concentrations of up to 4% without loss of overall efficiency and with reasonable energy levels.

KEYWORDS: hydrocyclone; filtering hydrocyclone; solids concentration.

1. INTRODUÇÃO

Os hidrociclones são equipamentos usados nas indústrias químicas para separação de fases por centrifugação. A sua principal vantagem é não ter partes móveis. A fase particulada pode ser constituída por um material sólido granulado ou gotículas líquidas em suspensão na fase líquida contínua (SVAROVSKY, 1984). Hidrociclones são constituídos por uma seção cônica acoplada por uma seção cilíndrica na sua parte superior. A suspensão é injetada no equipamento de forma a proporcionar um vórtice externo, que por sua vez provoca uma força centrífuga responsável pela separação das fases. A suspensão diluída deixa o equipamento pelo topo do cilindro (*overflow*) e a suspensão concentrada deixa-o através de um orifício na base cônica do hidrociclone (*underflow*).

A corrente de *underflow* é responsável por retirar as partículas maiores e mais pesadas, já as partículas menores e menos densas são arrastadas para o centro do equipamento, onde se forma um movimento em espiral ascendente e estas saem por um orifício nomeado de duto de *overflow*. As vazões volumétricas do *underflow* e *overflow* dependem dos diâmetros destas descargas, bem como da pressão a que estão submetidos.

Existe também uma classe de hidrociclones denominados hidrociclones filtrantes, os quais foram desenvolvidos por pesquisadores da FEQUI/UFU, cuja diferença está na parede porosa da parte cilíndrica (HCiF) em substituição à parede maciça ou na parede porosa da parte cônica (HCoF) em substituição a parte cônica maciça (VIEIRA, 2006). Tais separadores centrífugos proporcionam um menor consumo energético (número de Euler) nas mesmas condições operacionais de um hidrociclone totalmente maciço.

A fim de potencializar ainda mais as vantagens dos hidrociclones filtrantes, este trabalho teve como objetivo principal realizar um estudo experimental acerca da influência da concentração volumétrica de material particulado sólido na corrente de alimentação sobre o desempenho dos hidrociclones HCiF (Hidrociclone Cilíndrico-Filtrante) e HCoF (Hidrociclone Cônico-Filtrante). Sabe-se que o aumento da concentração de sólidos na alimentação de hidrociclones quase sempre exerce um efeito negativo na eficiência destes equipamentos, sendo, portanto, um dos principais motivos pelo qual os processos industriais utilizam-se de suspensões muito diluídas. Assim, um estudo investigativo desta natureza pode permitir o uso de maiores concentrações de sólidos, sem, contudo, diminuir-lhes a eficiência. Tal fato representaria um ganho na etapa de hidrociclonagem porque proporcionaria uma redução de tempo gasto para se fazer o mesmo serviço de classificação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material particulado utilizado neste trabalho foi o concentrado de rocha fosfática fornecido pela FOSFERTIL/SA de Patos de Minas (MG). A densidade aparente deste material foi medida pela técnica de picnometria a gás hélio, cujo valor encontrado foi de $2980 \pm 1 \text{ kg/m}^3$. A distribuição granulométrica deste material foi levantada mediante difração a *laser*, cujos resultados adequaram-se satisfatoriamente ao modelo de Rosin-Rammler-Bennet (RRB), que correlaciona a fração mássica (X) diretamente com o respectivo diâmetro de partícula (dp).

$$X = 1 - \exp \left[- \left(\frac{dp}{10} \right)^{0.85} \right] \quad (1)$$

No que tange às dimensões geométricas dos hidrociclones Cônico-Filtrante (HCoF), Cilíndrico-Filtrante (HCiF) e totalmente maciço (HCon), foram utilizadas as mesmas do hidrociclone H11 oriundo da investigação realizada por Vieira (2006), cujos valores estão consignados na Figura 1.

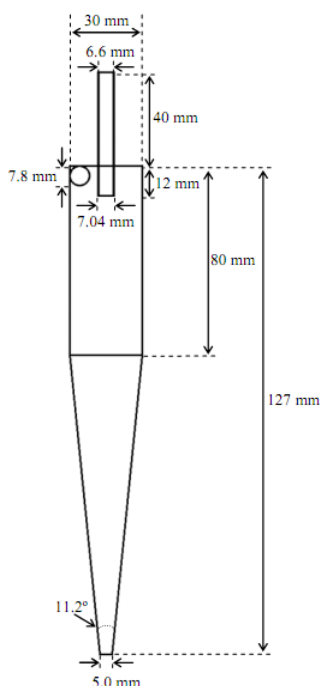


Figura 1. Principais dimensões geométricas do Hidrociclone H11.

Para o estudo do efeito de concentração volumétrica na alimentação dos hidrociclones HCon, HCoF e HCiF, foram utilizadas quatro níveis desta grandeza nos valores de 1, 2, 3 e 4%. Para cada uma das concentrações volumétrica de material particulado mencionada anteriormente, utilizou-se também quatro níveis de queda de pressão nos valores de 0,9; 1,2; 1,5 e 1,8 bar.

A taxa mássica da suspensão na alimentação dos hidrociclones foi obtida por um medidor eletromagnético do tipo Coriolis. Por sua vez, as taxas mássicas de suspensão em cada uma das correntes de descarga (*underflow*, *overflow* e filtrado) foram estimadas mediante técnicas de gravimetria. As concentrações mássicas de cada corrente foram determinadas a partir da coleta de pequenas amostras após o respectivo teste de estufa por 24 h. As distribuições granulométricas da alimentação e corrente de *underflow* eram analisadas no *Masterziser* da Malvern. Por fim, as quedas de pressão eram obtidas diretamente pela leitura de um manômetro digital de Bourdon. A permeabilidade do cilindro e cone poroso foram determinadas experimentalmente por testes de filtração em bancada, cujo valor encontrado foi de aproximadamente $1,55 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da Eficiência Total (η) para os hidrociclones cilíndrico-filtrante (HCiF) e cônico-filtrante (HCoF) são apresentados na Figura 2 e 3, respectivamente. Esta resposta representa o percentual de massa de sólidos coletado na corrente de *underflow* frente à quantidade inicialmente introduzida na alimentação do hidrociclone.

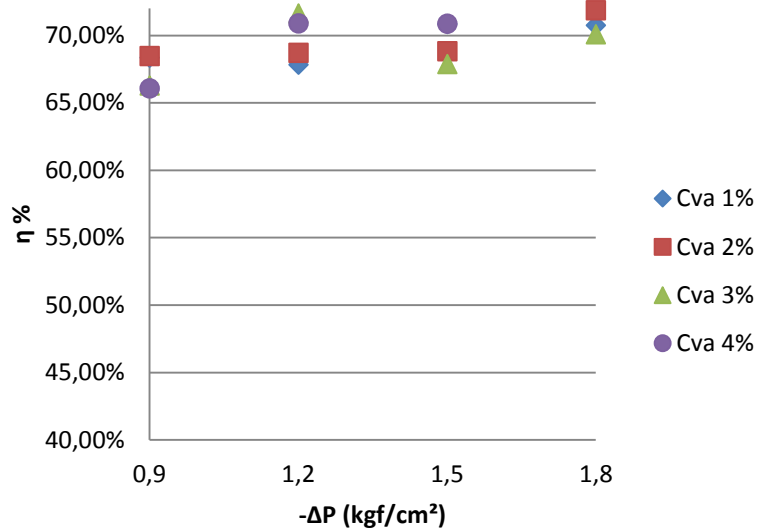


Figura 2. Eficiência total (η) do hidrociclone HCiF para diferentes concentrações e quedas de pressão.

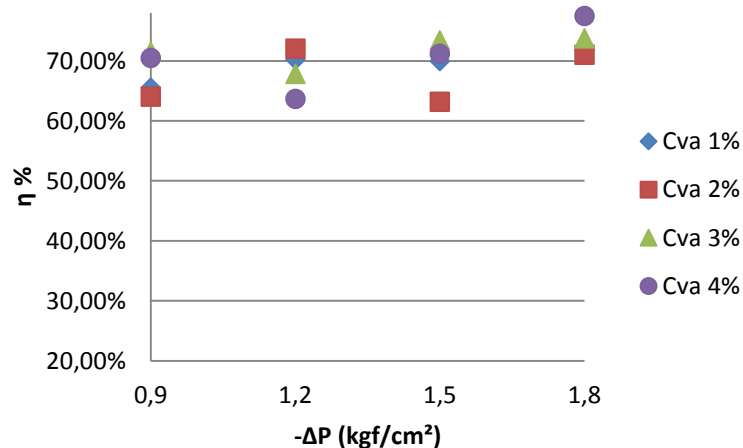


Figura 3. Eficiência total (η) do hidrociclone HCoF para diferentes concentrações e quedas de pressão.

De acordo com as informações prestadas anteriormente, nota-se que a alteração na concentração volumétrica da alimentação não trouxe significativas alterações na eficiência de separação de ambos os separadores centrífugos. No caso do hidrociclone HCoF, as flutuações observadas nos valores de η certamente foram devido às incertezas inerentes às próprias medidas experimentais, o que na média, indicou que tendem ao mesmo valor de Eficiência Total, independente da concentração volumétrica empregada.

Em regra, sabe-se que correntes de alimentação muito concentrada em sólidos tendem a prejudicar a separação de partícula nos hidrociclones por causa do efeito populacional. No entanto, em se tratando de Eficiência Total, verificou-se que a faixa de concentração volumétrica de sólidos (1 a 4%) não exerceu nenhum efeito negativo na separação dos sólidos. Tal fato foi uma constatação importante porque mostra que os hidrociclones filtrantes podem ser operados na concentração de 4% (quádruplo da usualmente sugerida no meio industrial), sem, contudo, comprometer seu desempenho classificador. Isto certamente representará uma maior capacidade de tratamento

(economia de tempo) combinada com uma menor necessidade de diluição do afluyente antes dele ser hidrociclonado.

Nesta resposta, vale mencionar que, na faixa de concentração e pressão utilizada, os hidrociclones HCoF e HCoF apresentaram desempenhos análogos, com Eficiência Total média de aproximadamente 69%.

O resultado do Número de Euler (Eu) em hidrociclones de parede cilíndrica filtrante (HCiF) e em hidrocilones de parede cônica filtrante (HCoF) são apresentados na Figura 4 e 5, respectivamente. Vale lembrar que este parâmetro permite inferir a energia necessária gasta no processo para determinada capacidade de operação do equipamento (VIEIRA, 2006).

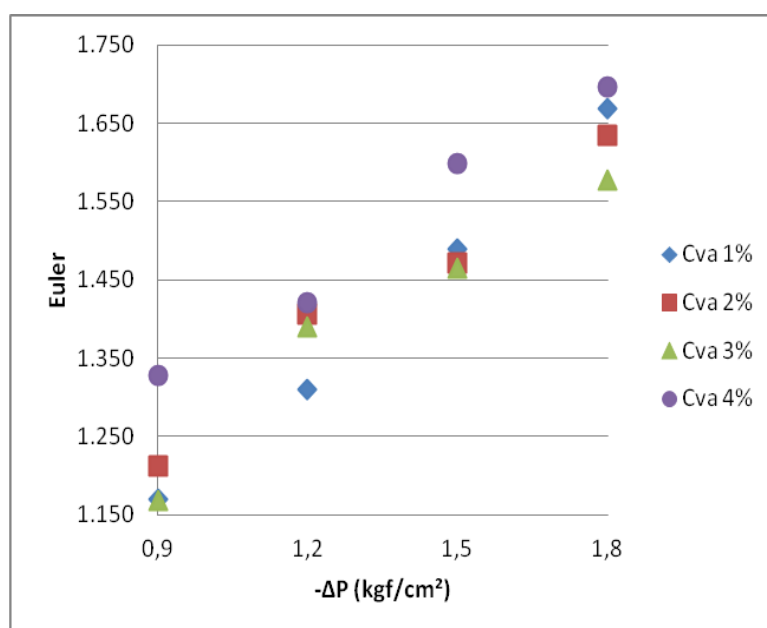


Figura 4. Número de Euler (Eu) do hidrociclone HCoF para diferentes concentrações e quedas de pressão.

Diferentemente da Eficiência Total dos hidrociclones filtrantes, os Números de Euler destes separadores sofreram o efeito da concentração de sólidos na corrente de alimentação. Fica nítido nas Figuras 4 e 5 que, à medida que suspensões mais concentradas em sólidos foram empregadas, houve um acréscimo nos respectivos Números de Euler. Certamente tal fato ocorreu por causa da majoração do atrito devido à maior área superficial de sólidos particulados expostos ao fluido ou a choques ocorridos entre as partículas ou destas com as paredes dos hidrociclones ao longo do escoamento.

De modo geral, verificou-se que o Número de Euler do hidrociclone HCoF foi mais sensível ao efeito da concentração do que quando comparado ao do Hidrociclone HCoF. Somente para fins de averiguação, ao se passar da concentração de 1 para 4%, houve um incremento médio de 27% no Número de Euler do hidrociclone HCoF e um incremento médio de 8% para o hidrociclone HCoF.

Todavia, mesmo tendo havido incremento nos Números de Euler dos hidrociclones filtrantes, tais majorações ainda são perfeitamente plausíveis à realidade industrial porque ainda mantém os custos energéticos em patamares bem aquém daqueles considerados como limite (Eu=7000).

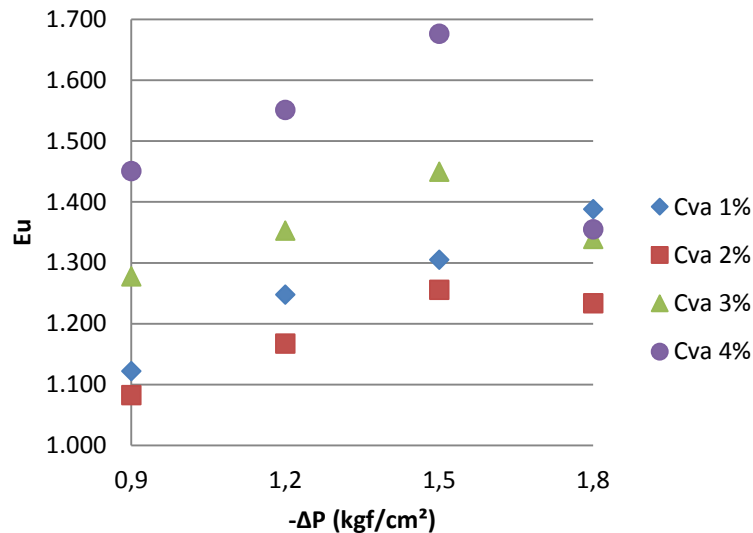


Figura 5. Número de Euler (Eu) do hidrociclone HCoF para diferentes concentrações e quedas de pressão.

Os principais resultados da Razão de Líquido (RL) dos hidrociclones filtrantes (HCiF e HCoF) são apresentados na Figura 6 e 7, respectivamente.

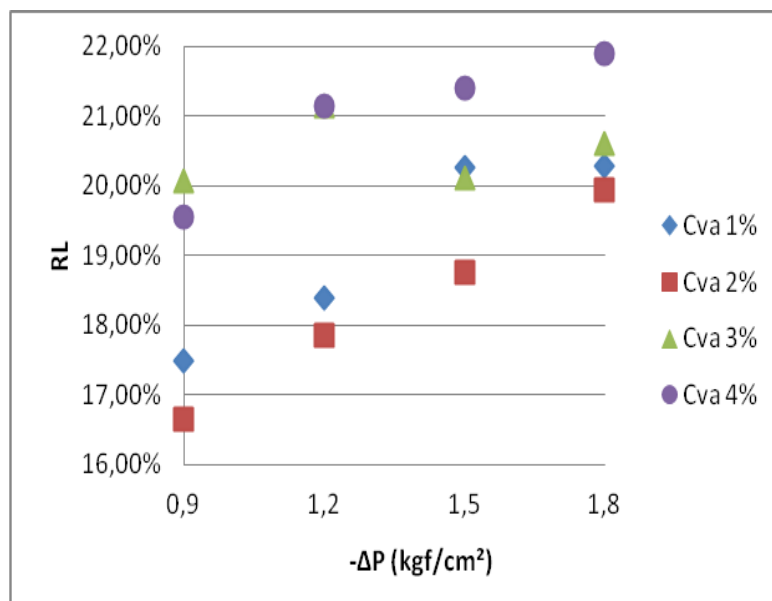


Figura 6. Razão de Líquido (RL) do hidrociclone HCiF para diferentes concentrações e quedas de pressão.

Esta resposta representa a fração de líquido que, inicialmente alimentada no hidrociclone, é coletada na corrente de *underflow*. A razão de líquido está direta e proporcionalmente relacionada com o poder de separação dos hidrociclones, já que implica na quantidade de partículas que são arrastadas pelo fluido e descarregadas pela corrente de *underflow* (concentrado). Em se tratando das Razões de Líquido (RL), foi verificado que, em regra, um aumento na concentração volumétrica de sólidos na corrente de alimentação foi capaz de aumentar a Razão de Líquido nos hidrociclones filtrantes.

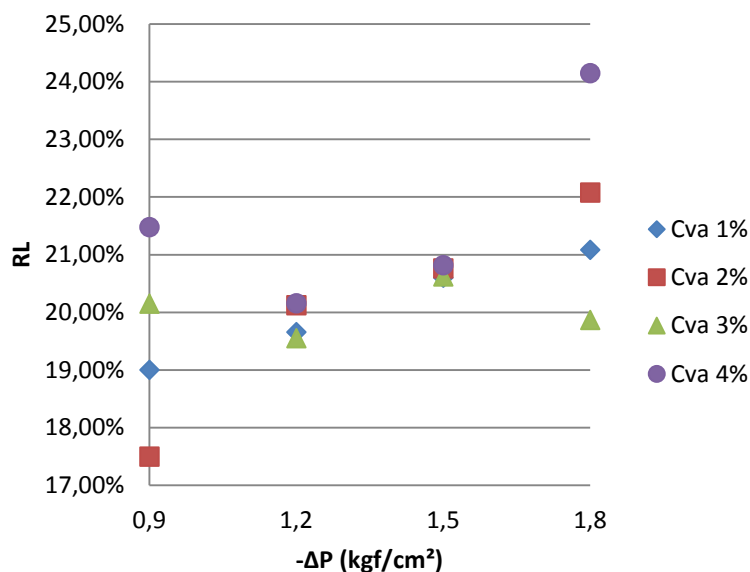


Figura 7. Razão de Líquido (RL) do hidrociclone HCoF para diferentes concentrações e quedas de pressão

Em tese, o incremento nas Razões de Líquido também induziria a um aumento nas Eficiências Totais dos hidrociclones, principalmente para as maiores concentrações (3 e 4%), o que não fora verificado no presente trabalho. Acredita-se que as Eficiências Totais foram realmente beneficiadas pelo incremento das concentrações (maiores Razões de Líquido). Todavia, no que tange a hidrociclones filtrantes, já foi verificado por Vieira (2006) que também ocorre uma diminuição da intensidade do movimento espiralado no interior dos hidrociclones, em face da presença das paredes porosas durante a hidrociclonagem (menores velocidades tangenciais). Assim, como há dois fenômenos concorrentes (Razão de Líquido contra Velocidade Tangencial), certamente um fenômeno foi compensado pelo outro, de modo que as Eficiências Totais dos hidrociclones HCoF e HCoF permaneceram praticamente indiferente às mudanças nas concentrações volumétricas de sólido presentes no duto de alimentação.

Por fim, foi possível concluir que, na faixa operacional de concentração volumétrica utilizada, os hidrociclones filtrantes HCoF e HCoF podem ser tecnicamente utilizados para processar suspensões com o quádruplo de material particulado das condições ordinariamente sugeridas pela literatura (1%), sem, contudo, diminuir-lhes a Eficiência Total ou aumentar-lhes demasiadamente os custos energéticos.

4. CONCLUSÕES

A variação na concentração volumétrica da alimentação não alterou significativamente a eficiência dos separadores centrífugos. Estes se mantiveram entre a faixa de 62 a 78%, sem, contudo, seguir um padrão de aumento ou diminuição na eficiência com a variação na concentração volumétrica de sólidos na alimentação.

O número de Euler, todavia, foi um parâmetro que permitiu que uma avaliação mais detalhada acerca do desempenho dos hidrociclones frente à concentração volumétrica da alimentação empregada. Houve um prejuízo energético tanto para o HCoF quanto para o HCoF para concentrações mais elevadas (3 e 4%) devido aos maiores números de Euler para as quatro quedas de pressão. Logo, o aumento da concentração na alimentação trouxe pioras no sentido de que é necessário dispendir mais energia no processo de separação. Apesar desta constatação, mesmo

assim, foi possível verificar que os números de Euler destes equipamentos ainda permaneceram em patamares bem inferiores àqueles considerados como limítrofe nos processos de hidrociclonagem ($Eu = 7000$).

Para a Razão de Líquido (RL), obtiveram-se maiores valores desta grandeza para a concentração volumétrica da alimentação em 4%. Apesar de maiores valores de RL serem indicativos de baixos diâmetros de corte (altas eficiências), isto é, melhoras no poder de separação, o mesmo não fora identificado, pois se acredita que a diminuição do campo centrífugo causada pela filtração desempenhou uma influência negativa e, portanto, contrária àquela provocada pela maximização dos gradientes axiais de velocidade (influência benéfica).

Diante do exposto, concluiu-se que a concentração volumétrica de 4% foi a que se obteve maior gasto energético para a separação centrífuga, no entanto, essa concentração trouxe benefícios na capacidade de processamento dos hidrociclones HCiF e HCoF, no sentido de ser possível o tratamento do quádruplo de material particulado em um mesmo tempo de hidrociclonagem.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelos recursos concedidos no Projeto de Participação Coletiva em Evento Científico ou Tecnológico (PCE-00019-13), bem como ao CNPq e à FAPEMIG pelo apoio financeiro para concepção e execução deste projeto.

6. REFERÊNCIAS

SVAROVSKY, L. Hydrocyclone, Holt, Rinehart & Winston, Eastbourne, 198 p., 1984.

VIEIRA, L. G. M. Otimização dos Processos de Separação em Hidrociclones Filtrantes. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, 297 p., 2006.