

INVESTIGAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE SEPARAÇÃO DA ESPIRAL DE REICHERT LD9 UTILIZANDO  
UMA ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL BINÁRIA

Cavalcante, G.F. (1) e Sampaio, C.H. (2)

(1) Doutorando, M.Sc., Eng. Minas - LAPROM/PPGEMM/UFRGS  
(2) Dr.- Ing., M.Sc., Eng. Minas - Prof. Adj. LAPROM/PPGEMM/UFRGS

**Resumo**

A espiral de Reichert tem sido desenvolvida para o beneficiamento de finos de carvão, na faixa -3,00 +0,10 mm. Foi realizado um estudo sistemático com o objetivo de investigar a eficiência de separação da espiral de Reichert LD 9, utilizando-se uma alimentação artificial (carvão lavado, 100% -2,00 g/cm<sup>3</sup> e calcário 100% +2,80 g/cm<sup>3</sup>), simulando um carvão 100% liberado com 50% de cinzas. Com isso, procurou-se investigar o efeito de seis faixas granulométricas, distribuídas dentro da faixa ótima (-2,00 +0,10 mm). Cada faixa foi testada em três taxas de concentração de sólidos: 20%, 30% e 40% (P/V).

Foi adotado o critério do material deslocado, para simplificar os procedimentos de análise densimétrica envolvida na investigação de performance.

Os resultados mostram que a quantidade de carvão lavado transportado para o rejeito é sempre maior do que a quantidade de rejeito transportado para o carvão lavado. A quantidade de ambos cresce com o aumento da granulometria e da concentração de sólidos. Algumas relações sobre estas variações com a densidade de corte são consideradas.

**Palavras-chave:** Espiral Concentradora, Performance, Granulometria, Concentração de Sólidos

**Abstract**

The Reichert spiral was developed for the beneficiation of fine coals in the size range of -3,00 +0,10 mm. A systematic study was carried out to test the separation efficiency of the Reichert spiral LD 9 on an artificial feed (clean coal, 100% -2,00 g/cm<sup>3</sup> and calcareous, 100% +2,80 g/cm<sup>3</sup>). This study investigates the effect of six size fractions into the size range -2,00 +0,15 mm. Three feeds, 20%, 30% and 40% (P/V), were tested for each fraction. Dislocated materials criteria were used to simplify the densimetric analytical procedures of the performance analyses.

The results showed that the quantity of clean coal transported to the refuse is always higher than the quantity of refuse transported to the clean coal. The quantity of both materials grows with the increase of the size and the solids content. Some relationships between the change and the separation density are considered.

**Keys-word:** Spiral Concentrator, Performance, Size Range, Solids Content

**Laboratório de Processamento Mineral**  
**Programa de Pós-Graduação Eng. Metalúrgica e dos Materiais**  
**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
Av. Osvaldo Aranha, 99 s.516  
90.035-190 Porto Alegre RS Brasil  
Fone: +55 51 228-1633 ramal 3548 Fax: +55 51 227-5715

## Introdução

As espirais concentradoras têm sido alvo de constante desenvolvimento, visando o processamento de minerais na faixa -3,00 +0,10 mm. As espirais são consideradas excelente alternativa de aplicação frente as mesas concentradoras, ao jigue de finos, ao ciclone autógeno e em alguns casos, a flotação.

Particularmente, para o caso do carvão, as espirais mais utilizadas são as da linha Reichert, as quais apresentam quatro modelos: LD 2, LD 4, LD 9 (altos teores de cinzas e pirita) e LD 10 (baixos teores de cinzas e pirita).

Fundamentalmente, os parâmetros mais influentes na performance da espiral estão divididos em: parâmetros de projeto (raio e passo do helicóide, perfil da calha, ângulos, etc.), e parâmetros de operação (taxa de alimentação, concentração de sólidos, faixa granulométrica, etc.)<sup>1-3</sup>.

O objetivo central do presente trabalho foi estudar o comportamento da Espiral de Reichert LD 9, ante duas variáveis operacionais, a saber, granulometria e concentração de sólidos. Para tanto utilizou-se uma alimentação artificial, semelhante a técnica dos traçadores densimétricos, porém, restrita a duas densidades. Os ensaios se realizaram com seis diferentes faixas granulométricas e três taxas de concentração de sólidos.

## Experimental

Foram escolhidas as faixas: -2,00 +1,65 mm, -1,65 +1,00 mm, -1,00 +0,75 mm, -0,75 +0,50 mm, -0,50 +0,25 mm e -0,25 +0,15 mm e duas densidades diferentes (carvão, 100% - 2,00 g/cm<sup>3</sup> e calcário, 100% +2,80 g/cm<sup>3</sup>). As taxas de concentração de sólidos escolhidas foram: 20%, 30% e 40% (P/V).

Desta forma, estabeleceram-se várias composições desejáveis de alimentação, com o objetivo de se analisar a performance da espiral, em cada faixa granulométrica e para cada taxa de concentração de sólidos, com a certeza de estar fornecendo todas as condições operacionais para se obter a separação ideal.

Para a execução dos testes, padronizou-se que a composição da alimentação seria de 50% em peso (b.s.) de cada sólido, simulando um carvão com 50% de cinzas e 100% liberado.

Dentro da proposta de trabalho estabelecida, o critério de avaliação escolhido para quantificar a precisão da separação, na densidade de corte estabelecida previamente (2,00 g/cm<sup>3</sup>), foi o material deslocado.

O conceito de material deslocado expressa as perdas dos produtos que são reportados para o lugar errado. Basicamente o conceito se divide em: carvão lavado no rejeito ( $MD_{cl/rj}$ ), rejeito no carvão lavado ( $MD_{rj/cl}$ ) e material deslocado total ( $MD_{tot}$ ). A obtenção dos dois primeiros é feita por ensaio de amostras dos produtos: carvão lavado e rejeito, respectivamente, em líquido denso com a densidade de corte utilizada no processamento. O material deslocado total por sua vez, é a quantidade de carvão lavado presente no rejeito somado quantidade de rejeito presente no carvão lavado, guardando as respectivas proporções. Essas quantidades são medidas em termos percentuais<sup>4 e 5</sup>.

Nas figuras a seguir, é mostrado o comportamento dos materiais deslocados: carvão lavado no rejeito e rejeito no carvão lavado, ao longo de todas as faixas granulométricas e taxas de concentração de sólidos.

## Material Deslocado Carvão Lavado no Rejeito

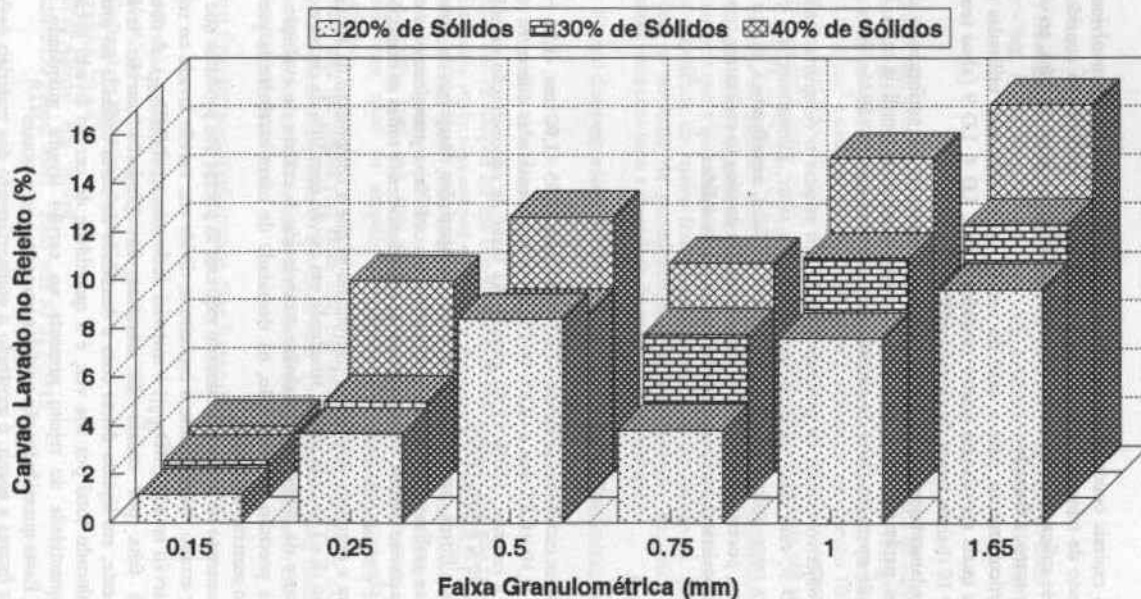


Figura 01:Variação de Material Deslocado com a Granulometria e a Concentração de Sólidos

## Material Deslocado Rejeito no Carvão Lavado

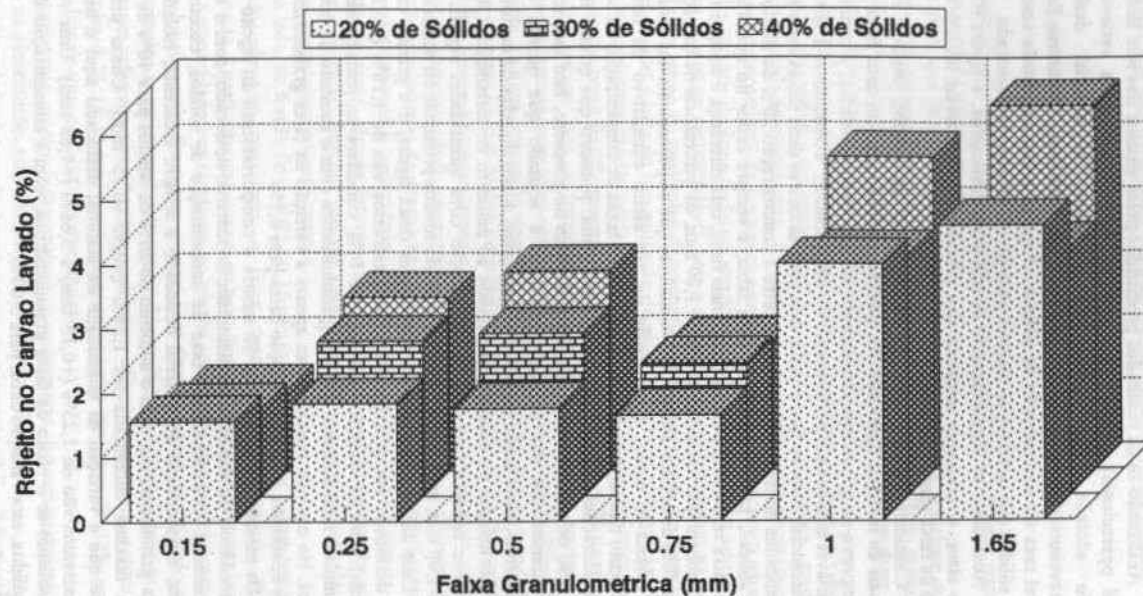


Figura 02: Variação de Material Deslocado com a Granulometria e a Concentração de Sólidos

## Resultados

Analisando-se os resultados produzidos pelos ensaios das seis faixas granulométricas (variável operacional), observa-se que existe relação entre esta variável e o critério de avaliação adotado. Nas faixas mais grosseiras, o material deslocado obtido é consideravelmente maior em detrimento das faixas mais finas. Da mesma forma, analisando-se a variável taxa de concentração de sólidos, chega-se a uma conclusão semelhante. É na taxa 40% de sólidos que ocorrem os maiores percentuais de material deslocado.

Analisando-se separadamente os materiais deslocados, a figura 01 mostra de forma bastante clara, o crescente aumento dos percentuais de carvão lavado no rejeito, com o aumento da faixa granulométrica.

Considerando-se a taxa de concentração de sólidos, nota-se o crescimento dos percentuais do material deslocado em questão, isoladamente em cada faixa granulométrica, ou seja, comprova-se que independentemente da faixa granulométrica, a concentração de sólidos como variável influência a performance do equipamento. Tomando-se a faixa  $-1,00 +0,75$  mm como referencial, nota-se que a partir dela para as outras duas faixas mais grossas, a diferença das quantidades do material deslocado entre a concentração 20% de sólidos e a concentração 40% de sólidos, isolada dentro de cada faixa, é sempre maior do que 4%. Ao passo que a partir da faixa referencial para as faixas mais finas, esta diferença é sempre menor do que 4%. Nota-se também que nas faixas acima de 1,00 mm, os percentuais de carvão lavado no rejeito, nas taxas 40% de sólidos são até 5,47% maiores que os percentuais das taxas 20% de sólidos.

Coloca-se então, a existência de um efeito cumulativo de fatores negativos ao processamento das faixas acima de 1,00 mm, em taxas de concentração de sólidos altas (40%). Duas considerações precisam ser levadas em conta: primeiro que quanto mais alta a taxa de concentração de sólidos, menor o volume de água no processo, fato que acarreta dificuldades para a sedimentação das partículas no leito e segundo que quanto maiores as faixas granulométricas, mais massa possuem as partículas, sendo dotadas de menor velocidade, o que acarreta dificuldades no escoamento, devido ao aumento de turbulência. Razões pelas quais, recomenda-se maiores cuidados na alimentação com quantidades significativas de material acima de 1,00 mm, em taxas de concentração de sólidos próximas ou acima de 40%.

Uma das conclusões mais importantes desta figura, é a grande variação do tipo de material deslocado em questão. Os valores extremos vão de 1,18% ( $+0,15$  mm) a 15,10% ( $+1,65$  mm). Para tal variação, praticamente 14%, considera-se, principalmente, a atuação do efeito cumulativo do aumento da faixa granulométrica com o aumento da taxa de concentração de sólidos. No caso de considerar-se apenas a variação da faixa granulométrica, fixando-se a taxa 20% de sólidos, a mesma variação baixa para 8,5%.

Da mesma forma, a figura 02 mostra o comportamento do rejeito no carvão lavado. Segue a tendência do aumento da quantidade do material deslocado, com o aumento das faixas granulométricas. Considerando a taxa de concentração de sólidos, exceto para faixa  $-0,25 +0,15$  mm, a quantidade de material deslocado é sempre crescente, isoladamente dentro de cada faixa granulométrica, com o aumento de 20% de sólidos para 40% de sólidos. Porém, a diferença máxima encontrada foi 1,34% ( $+0,50 -0,25$  mm). Como principal conclusão, ressalta-se que a variação da quantidade de material deslocado aqui é bastante menor. Os valores extremos vão de 1,25% ( $+0,15$  mm) a 5,66% ( $+1,65$  mm). Uma variação de apenas 4,41%. Isolando-se o efeito da faixa granulométrica, com a concentração de sólidos fixa em 20% de sólidos, esta variação baixa para 3,04%.

Um fato interessante a ser ressaltado, é que os materiais deslocados crescem de  $+0,15 -0,25$  mm até  $+0,50 -0,75$  mm, decrescem em  $+0,75 -1,00$  mm e voltam a crescer até  $-2,00$

+1,65 mm. Isto sugere uma variação não linear da quantidade de material deslocado, com a variação da faixa granulométrica. Este fato está intrinsecamente ligado a densidade de corte. Contudo, os dados aqui presentes não são suficientes para uma afirmação precisa. Ficando tal possibilidade amparada por uma bibliografia bastante recente, discutida mais adiante<sup>[6 a 9]</sup>.

## Discussões

Fica confirmado portanto, que a distribuição granulométrica é um fator significante e influente no desempenho da espiral concentradora.

Cabe ressaltar, que da mesma forma que a mesa concentradora, o ciclone autógeno e outros equipamentos de separação gravimétrica (via filme de polpa), a faixa granulométrica está interligada com a densidade de corte e a precisão de separação. Pode-se dizer que cada faixa granulométrica é processada com uma densidade de corte<sup>[6 a 8,10]</sup>.

No caso da espiral, as partículas das faixas mais grosseiras, -2,00 +1,65 mm e -1,65 +1,00 mm, oferecem dificuldades ao mecanismo e a precisão de separação, no tocante a sedimentação e a velocidade de escoamento. As partículas grosseiras possuem maiores massa e volume, exigindo um maior volume de água para a estratificação e o escoamento adequados do leito. O aumento do volume de água pode ser suprido paleativamente, se for adicionada água de lavagem. Porém, isso não é recomendável, pois a adição de água diretamente na calha, pode causar interferência no curso de partículas direcionadas pelo mecanismo de separação. Uma outra solução seria abaixar a taxa de concentração de sólidos. Pode-se observar nas figuras 01 e 02, que nas faixas grosseiras citadas, as quantidades de carvão lavado no rejeito dos testes com 20% de sólidos, são cerca de 6% menores do que as dos testes com 40% de sólidos.

Detalhando, tem-se que a estratificação do leito contendo apenas partículas grosseiras, em processamento com altas concentrações de sólidos, encontra dificuldades com o volume insuficiente de água, causando aumento de turbulência no fluxo. A turbulência por sua vez, interfere na atuação das forças centrífuga e de Bagnold, bem como na corrente rotacional secundária, afetando negativamente o mecanismo e a precisão de separação<sup>[2,3]</sup>. Estendendo melhor o raciocínio, dado um escoamento inadequado destas partículas grosseiras, as forças atuantes no mecanismo de separação são alteradas, principalmente, devido a massa ser inversamente proporcional a velocidade<sup>[11,12]</sup>. Portanto, a velocidade menor aliada ao volume insuficiente de água, são os fatores mais diretos no acarretamento da excessiva e indevida turbulência no fluxo, que por sua vez vem a deteriorar a performance da espiral ao trabalhar nas faixas granulométricas em questão.

Por outro lado, na fração fina, -0,25 +0,15 mm, apesar dos mais baixos percentuais de material deslocado, deve-se considerar o fator carregamento hidráulico. Apesar das características opostas as partículas grosseiras, ou seja, pequenos massa e volume, as partículas tendem a perder a capacidade em obedecer as leis de separação via mecânica gravitacional, tendendo a serem levadas pelo fluxo por arraste. Este fato pode ser considerado na prática, enfocando por exemplo, a recuperação de massa dos produtos. Apesar de não se apresentar os balanços de massa referente aos 18 testes realizados, afirma-se que para o teste com 20% de sólidos da fração -0,25 +0,15 mm, as recuperações estão em torno de 33% para os três produtos, dando idéia de uma equidade na distribuição.

Menos importante, porém indispensável ao comentário, as características físicas do material utilizado na alimentação, tem contribuições a serem avaliadas.

O fato da densidade do carvão lavado variar amplamente (1,3 - 2,0 g/cm<sup>3</sup>), causará influência na ação do conjunto das forças gravitacional, centrífuga e de Bagnold, bem como na

corrente rotacional transversal. De forma que as partículas da extremidade maior do intervalo, sofrem uma ação menor da associação destas forças, no sentido de mecanismo de separação, tomando-se mais suscetíveis de reportarem-se ao lugar errado.

Quanto a forma, o calcário por ser isométrico, terá maior facilidade em rolar na superfície da calha. Ao passo que o carvão lavado, com partículas em sua maioria de forma cúbica e planar, oferecerão maior resistência hidrodinâmica sedimentação. Ainda em termos de forma, quanto mais próximo do pontual (esfera) for a base da partícula, maior é a atuação da força de Bagnold, na elevação das partículas. O que é desfavorável para as partículas planares. Contudo, a questão forma foi pouco investigada até o momento, não sendo possível alongar uma conclusão melhor explicada.

Retomando a variação não linear do material deslocado com o aumento da faixa granulométrica, embasado em que na faixa  $-0,50 +0,75$  mm, ocorre decréscimo seguido de acréscimo nos percentuais, permite-se estender que pelo critério de avaliação em questão, há bons indícios de que a variação da faixa granulométrica também influencia a densidade de corte a ter um comportamento não linear.

Tal enfoque não possui um forte embasamento experimental, considerando apenas o critério do material deslocado, o qual, cabe lembrar, é de cunho dependente da alimentação. Contudo, trabalhos bastante recentes<sup>7 a 9)</sup>, que abordam especificamente esse assunto, mostram que a densidade de corte é influenciada pela granulometria de forma não linear. G. K. Sulasingue e E. G. Kelly, mostram que para as faixas granulométricas:  $-1,70 +0,85$  mm,  $-0,85 +0,30$  mm,  $-0,30 +0,10$  mm e  $-0,10 +0,03$  mm, a faixa que é processada com a menor densidade de corte é a  $-0,85 +0,30$  mm. Da mesma forma, M. Li, C. J. Wood e J. J. Davis e ainda, E. Gallagher *et alii*, encontraram essa variação não linear da densidade de corte com a granulometria.

## Conclusões

A partir dos resultados discutidos até aqui, em torno da variável faixa granulométrica, permite-se dizer que proporcionalmente, com o decaimento da faixa granulométrica  $-2,00 +1,65$  mm até a faixa  $-0,50 +0,25$  mm, as partículas têm melhores condições de reportarem-se para o produto adequado. Quanto a taxa de concentração de sólidos, fica claro sua influência, tanto dentro de uma faixa granulométrica específica, como associada a variação da faixa granulométrica formando um efeito cumulativo.

Portanto, tanto pelos presentes dados experimentais, como pelos dados da bibliografia mais atual, sugere-se que o intervalo ideal de trabalho da Espiral de Reichert LD 9 é  $-1,00 +0,25$  mm. Fora desse intervalo, para materiais com alta quantidade de  $+1,00$  mm, sugere-se trabalhar com taxa de concentração de sólidos abaixo de 30%, evitando-se fluxos muito turbulentos. Para materiais com alta quantidade de  $-0,25$  mm, recomenda-se baixas taxas de alimentação, a fim de se evitar fluxos que provoquem arraste.

Em termos práticos, problemas operacionais que distorcem a performance do processamento gravimétrico de carvão, resultarão sempre quantidades de material deslocado. Em termos de planta de beneficiamento envolvendo espirais concentradoras, um levantamento teórico-prático das prováveis causas para perdas de carvão lavado no rejeito são: carvão com teor de cinzas muito alto, aumento do rejeito fino, aumento da proporção de partículas tabulares, variações na taxa de alimentação, variações na taxa de concentração de sólidos e variações na distribuição granulométrica<sup>1 a 3)</sup>.

Sendo claro a proeminência da perda de carvão lavado reportado ao rejeito em detrimento a contaminação de rejeito reportado ao carvão lavado (produto vendável), sugere-se que em termos operacionais, a forma mais rápida de checar a performance da espiral concentradora para carvão, é avaliar a qualidade do rejeito.

Finalmente, salienta-se que em termos de planta de beneficiamento, a performance dos equipamentos se interligam. O que permite dizer que a melhora ou queda de performance de um equipamento, reflete em melhora ou queda da performance geral de toda planta.

## **Bibliografia**

1. Burt, R. **Gravity Concentration Technology**. Elsevier Science Publishers, 1984, pp. 260-287.
2. Sivamohan, R. and Forsberg, E. **Principles of Spiral Concentration**. International Journal of Mineral Processing, 1985, V.15, pp. 173-181.
3. Cavalcante, G.F.; Klujso, L.A.C. e Sampaio, C.H. **Princípios da Espiral Concentradora**. Egatea - Revista da Escola de Engenharia, UFRGS, 1992, V. 20, pp. 55-64.
4. Peng, F.F.; Walters, A.D.; Geer, M.R. and Leonard, J.W. **Coal Preparation**, The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, INC, Fourth Edition, 1979, Chapter 18.
5. Rubio, J.R. **Carvão Mineral - Caracterização e Beneficiamento**. Editora Nova Linha Artes, 1988, V.1, pp. 53-62.
6. Mikhail, M.W.; Salama, A.I.A.; Parsons, I.S. and Humeniuk, O.E. **Evaluation and Application of Spiral and Water-only Cyclones in Cleaning Fine Coal**. Coal Preparation, Gordon and Breach Science Publishers, 1988, V. 6, pp. 53-78.
7. Subasinghe, G.K.N.S. and Kelly, E.G. **Model of a Coal Washing Spiral**, Coal Preparation, Gordon and Breach Science Publishers, 1991, V. 9, pp. 1-11.
8. Li, M.; Wood, J. and Davis, J.J. **A Study of Coal Washing Spiral**. Coal Preparation, Gordon and Breach Science Publishers, 1993, V. 12, pp. 117-131.
9. Gallagher, E.; Ellis, R.; Pitt, G.; Partridge, A.C. and Randell, J.K. **The Integration of a 300 t/h Spiral Installation at the German Creek Preparation Plant**. Coal Preparation, Gordon and Breach Science Publishers, 1993, V. 12, pp. 163-186.
10. Atesok, G.; Yildirim, I. and Celik, M.S. **Application of the Reichert Spiral for Cleaning bituminous and Lignitic Coals: A Pilot Scale Study**. International Journal of Mineral Processing, Elsevier Science Publishers, 1993, V. 40, pp. 33-44.
11. Holland-Batt, A.B. **Spiral Separation: Theory and Simulation**. The Institute of Mining and Metallurgy, 1989, V. 89, pp. 46-60.
12. Holland-Batt, A.B. and Holthan, P.N. **Particle and fluid Motion on Spiral Separators**. Mineral Engineering, 1991, V. 4, pp. 457-482.