



**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

CARTA PATENTE Nº BR 102018016579-8

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

**(21) Número do Depósito:** BR 102018016579-8

**(22) Data do Depósito:** 14/08/2018

**(43) Data da Publicação Nacional:** 10/03/2020

**(51) Classificação Internacional:** C02F 1/465; C02F 101/14; C02F 101/20; C02F 101/30; C02F 101/32; C02F 101/34.

**(52) Classificação CPC:** C02F 1/465; C02F 2101/14; C02F 2101/20; C02F 2101/308; C02F 2101/32; C02F 2101/345.

**(54) Título:** REATOR DE ELETROFLOCULAÇÃO, CILÍNDRICO, COM ENTRADA DE EFLUENTE TANGENCIAL E DE OPERAÇÃO CONTÍNUA

**(73) Titular:** UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - UFES, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 32479123000143. Endereço: AVENIDA FERNANDO FERRARI,514, GOIABEIRAS, CAMPUS I, Vitória, ES, BRASIL(BR), 29075-910, Brasileira

**(72) Inventor:** PAULO SÉRGIO DA SILVA PORTO; DOMÊNICO ANDREATTA.

**Prazo de Validade:** 20 (vinte) anos contados a partir de 14/08/2018, observadas as condições legais

**Expedida em:** 31/12/2024

Assinado digitalmente por:  
**Alexandre Gomes Ciancio**

Diretor Substituto de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

“REATOR DE ELETROFLOCULAÇÃO, CILÍNDRICO, COM ENTRADA DE EFLUENTE TANGENCIAL E DE OPERAÇÃO CONTÍNUA”

[001] A presente patente de invenção refere-se a um reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua. Esse modelo pode ser utilizado no tratamento de efluentes oleoso ou gorduroso, efluentes contendo corantes, tratamento de água com flúor, tratamento de água com polifenóis, tratamento de água para remoção de laticínios, tratamento de água para remoção de certos metais pesados entre outros.

[002] Atualmente, para o tratamento de água produzida de petróleo são utilizadas baterias de hidrociclones e câmara de flotação por ar dissolvido ou ar induzido. No tratamento de efluentes com corantes ou certos produtos químicos são utilizados tratamento químico via coagulação. Em tratamento de água contendo metais pesados empregam-se a precipitação química ou a filtração por membrana. Uma técnica que vem sendo utilizada é o processo de eletrofloculação. Entretanto, esta apresenta alguns inconvenientes como: a necessidade da substituição dos eletrodos regularmente, caso sofram passivação; consumo de energia elétrica, levando-se em consideração que em alguns lugares este consumo possa apresentar um custo significativo; formação de uma película de óxido impermeável sobre o cátodo, o que permitirá conduzir à perda da eficiência da célula eletrolítica; e, também por requerer alta condutividade do efluente.

[003] Visto os inconvenientes encontrados no estado da técnica e com o intuito de propor uma nova alternativa para este segmento, foi desenvolvido o um Reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial no interior do reator. Esse modelo foi projetado para que o efluente entre tangencialmente à parede do reator de eletrofloculação. Após a entrada, o efluente ao encontrar-se com o eletrodo que é composto por placas côncavas ganham continuidade ao movimento circular, internamente. A alimentação do efluente no equipamento pode ocorrer de modo descendente (topo) ou ascendente (fundo). É necessário mencionar que o eletrodo, que é composto por placas côncavas, é arranjado de modo monopolar, conectado em paralelo. Este, por sua vez, é ligado a uma fonte de energia elétrica para proporcionar a diferença de potencial.

[004] Em consequência de seu funcionamento e propriedades, é possível citar vantagens ao equipamento, tais como:

- Águas residuais tratadas pela eletrofloculação resultam em água com 85-90% de soluto removido;
- Remoção de partículas coloidais menores, pois o campo elétrico aplicado promove mais rapidamente o contato entre elas, facilitando a coagulação; este método produz efluentes com menor teor de sólidos totais dissolvidos (STD) em comparação com os tratamentos químicos.
- As bolhas de gás produzidas durante a eletrólise podem transportar o poluente ao topo da solução, por flotação, concentrando-o. Isto facilita sua remoção, posteriormente;
- A célula eletrolítica pode ser controlada sem a necessidade de dispositivos adicionais, reduzindo a manutenção;
- Em vez de usar produtos químicos ou micro-organismos, esse sistema emprega somente elétrons para facilitar o tratamento de efluentes;
- A eletrofloculação requer equipamentos simples e de fácil operação, em que a corrente e o potencial aplicado, podem ser medidos e controlados de maneira automatizada;
- Há controle maior na liberação do agente coagulante, em comparação com os processos físico-químicos convencionais;
- Os flocos formados pela eletrofloculação são semelhantes aos flocos químicos, porém são maiores e mais estáveis, podendo ser removidos por filtração rápida.

[005] O reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua poderá ser melhor compreendido pela descrição detalhada em consonância com as figuras em anexo, em que:

FIGURA 01 Apresenta uma vista lateral do reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua.

FIGURA 02 Apresenta uma vista superior reator eletrolítico do reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua.

FIGURA 03 Apresenta uma vista em perspectiva de um diagrama esquemático com a disposição dos eletrodos do reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua.

FIGURA 04 Apresenta uma vista lateral dos eletrodos de alumínio do reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua.

FIGURA 05 Apresenta uma vista superior dos eletrodos de alumínio do reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua.

FIGURA 06 Apresenta uma vista superior do movimento do fluido entrando no fundo do reator  $\theta$ , do reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua.

FIGURA 07 Apresenta uma vista superior de um diagrama esquemático com a disposição dos eletrodos do reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua.

FIGURA 08 Apresenta uma imagem da unidade piloto de eletrofloculação do reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua.

[006] Em conformidade com as figura acima pode-se observar que o reator de eletrofloculação, cilíndrico, com entrada de efluente tangencial e de operação contínua compreende um reator eletrolítico (1) confeccionado em material não metálico para operar em regime contínuo. O equipamento possui geometria cilíndrica com capacidade volumétrica que pode variar de acordo com a vazão do efluente que se deseja tratar.

[007] Na parte inferior (Figura 01) localiza-se a tubulação de alimentação (ou entrada) (2), enquanto que na lateral superior a tubulação de saída do rejeito (3). Dependendo do tipo de efluente a ser tratado, essa disposição pode ser invertida. No topo, uma tampa (4) (Figura 02) de material não metálico que foi confeccionada para não somente tampar o reator eletrolítico (1), mas servir como suporte para fixação das placas (5). Outra possibilidade de fixação das placas (5) é o fundo do reator eletrolítico (1).

[008] Na Figura 03 é possível a visualização do desenho esquemático que explica a conformidade dos eletrodos (6) dentro do reator eletrolítico (1) desenvolvido para o projeto. A concavidade dos eletrodos (6), juntamente com o distanciamento entre placas (5) e o arranjo são específicos para o bom desempenho do processo.

[009] Conforme a necessidade do processo, quanto à variação da distância entre as placas (5), o projeto deve atender fielmente o distanciamento. A Figura 04

retrata a vista lateral da alocação dos acessórios antes de inserida no interior do reator eletrolítico (1). A variação do espaçamento pode ser modificada dependendo a exigência de cada experimento. Essa variação pode ser realizada por meio de ajuste manual. Também, Figura 03, além da montagem, verifica-se que o conjunto é composto por placas (5) côncavas, sendo distintas: a(s) que compõem o anodo e a(s) que compõem o catodo. É necessário ressaltar que o número de pares pode ser variável conforme necessidade. No centro da placa (5) existe um parafuso (7), isolado (revestido de plástico), que atuou apenas para preservar a distância entre as placas (5). A instalação do eletrodo (5) no interior do reator eletrolítico (1) ocorre de modo vertical, enquanto que a disposição das placas (5) ocorre no formato paralelo (Figura 05).

[010] Quando o efluente entra tangencialmente no reator eletrolítico (1) e, em seguida, ocorre o contato com o conjunto de eletrodos (6) de alumínio, provoca um movimento circular devido ao arranjo em pares das placas (5) côncavas. Isso facilita a continuação desse movimento causado pela entrada. As placas (5), por sua vez, foram conectadas à fonte de alimentação (energia) de forma alternada para que houvesse a sequência de catodo e anodo. O movimento circular adquirido no interior do reator pode ser modificado por meio da angulação que pode variar de entre 0 e 90°, de acordo com os ajustes necessário para cada efluente.

[011] Em resultado aos testes de funcionamento da bancada de experimentos obtidos, confirma-se o comportamento do fluido após a entrada tangencial a geração do movimento helicoidal. Esses testes foram comprovados após injeção de um corante (anilina azul) na linha (tubulação), antes da entrada, cuja função do corante é agir como marcador. É possível observar na Figura 06 o movimento do fluido no interior do reator logo após a entrada tangencial do corante, no fundo do reator. Nota-se que o corante é conduzido até a superfície não só por difusão, mas movimentando-se de forma circular e ascendente em torno do reator. À medida que o fluido é bombeado verifica-se a formação do vórtice, originado pelo movimento rotacional no interior do reator eletrolítico (1).

[012] O movimento circular tem por benefício aumentar o tempo de residência das partículas no interior do reator eletrolítico (1), impedindo a formação de pontos de

estagnação ou “zonas mortas” e de recirculação. Isso tende a aumentar a eficiência, além de favorecer a transferência de massa durante o processo, fator limitante em reatores de eletrofloculação. Nota-se, também, que o movimento do fluido no interior do reator eletrolítico (1) ocorre em diferentes velocidades angulares.

[013] O desenho esquemático da Figura 07 tem por objetivo uma melhor representação dessas diferenças de velocidades que ocorrem entre as placas (5) côncavas que compõem o eletrodo (6). Essa geometria contribui para formação dos caminhos circulares por onde tende o fluido percorrer, após a entrada tangencial. Nesse desenho, é possível verificar (vista superior), o conjunto de placas imersas no fluido no interior do reator eletrolítico (1), bem como as orientações de fluxo em forma de canais (a, b e c), formados pelo espaço livre entre o espaçamento das placas. É bastante provável que as velocidades sejam maiores no ponto *c*, intermediárias no ponto *b* e menores no ponto *a*, contribuindo fortemente para formação do vórtice.

[014] A velocidade (*v*) dos pontos *a*, *b* e *c*, aumenta com o aumento do tamanho do raio (*r*). Essa velocidade pode ser estimada utilizando-se a Equação 1:

$$v = w.r(1)$$

[015] Em que: “*v*” é a velocidade em  $m.s^{-1}$ ; “*w*” é a velocidade angular em  $rad.s^{-1}$ ; e, “*r*” é o raio em metros.

[016] Dessa forma, o fluido atinge velocidades maiores na região de entrada próximo das paredes, antes de entrar na camada limite. Enquanto que, velocidades menores são alcançadas no centro do reator eletrolítico (1) quando o raio (*r*) é mínimo. Essa análise visual e qualitativa do escoamento nos permite indicar que a transferência de quantidade de movimento e massa é melhor favorecida pelo escoamento nas extremidades do reator se comparada às regiões próximas do centro.

## REIVINDICAÇÕES

1. REATOR DE ELETROFLOCULAÇÃO, CILÍNDRICO, COM ENTRADA DE EFLUENTE TANGENCIAL E DE OPERAÇÃO CONTÍNUA, caracterizado por reator eletrolítico (1) confeccionado em material não metálico para operar em regime contínuo; o equipamento possui geometria cilíndrica com capacidade volumétrica que pode variar de acordo com a vazão do efluente que se deseja tratar; Possui entrada tangencial e formato côncavo dos eletrodos (6) de sacrifício para o tratamento de efluente oleoso e gorduroso, efluentes com corantes, efluentes com alta DQO, tratamento de água com alto teor de flúor, tratamento de água com polifenóis, tratamento de água para remoção de laticínios, tratamento de água para remoção de certos metais pesados entre outros.
2. REATOR DE ELETROFLOCULAÇÃO, CILÍNDRICO, COM ENTRADA DE EFLUENTE TANGENCIAL E DE OPERAÇÃO CONTÍNUA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo reator eletrolítico (1) apresentar na parte inferior a tubulação de alimentação (2) enquanto que na lateral superior a tubulação de saída do rejeito (3); No topo, uma tampa (4) de material não metálico que foi confeccionada para não somente tampar o reator eletrolítico (1), mas servir como suporte para fixação das placas (5); Outra possibilidade de fixação das placas (5) é o fundo do reator eletrolítico (1), Nesse caso, a entrada do efluente pode ser invertida e assim ser a entrada pelo topo e a saída pelo fundo.
3. REATOR DE ELETROFLOCULAÇÃO, CILÍNDRICO, COM ENTRADA DE EFLUENTE TANGENCIAL E DE OPERAÇÃO CONTÍNUA, de acordo com a reivindicação 1 e 2, caracterizado pela concavidade dos eletrodos (6), juntamente com o distanciamento entre placas (5) e o arranjo são específicos para o bom desempenho do processo; Quanto à variação da distância entre as placas (5), o projeto deve atender fielmente o distanciamento, podendo ser modificada dependendo a exigência de cada experimento.

4. REATOR DE ELETROFLOCULAÇÃO, CILÍNDRICO, COM ENTRADA DE EFLUENTE TANGENCIAL E DE OPERAÇÃO CONTÍNUA, de acordo com a reivindicação 1, 2 e 3, caracterizado por compreender, o reator, é composto por placas (5) côncavas, sendo: sendo distintas: a(s) que compõem o anodo e a(s) que compõem o catodo; É necessário ressaltar que o número de pares pode ser variável conforme necessidade; No centro da placa (5) existe um parafuso (7), isolado (revestido de plástico), que atuou apenas para preservar a distância entre as placas (5); A instalação do eletrodo (5) no interior do reator eletrolítico (1) ocorre de modo vertical, enquanto que a disposição das placas (5) ocorre no formato paralelo.
5. REATOR DE ELETROFLOCULAÇÃO, CILÍNDRICO, COM ENTRADA DE EFLUENTE TANGENCIAL E DE OPERAÇÃO CONTÍNUA, de acordo com a reivindicação 1, 2, 3 e 4, caracterizado pelo fato de que quando o efluente entra tangencialmente no reator eletrolítico (1) e, em seguida, ocorre o contato com o conjunto de eletrodos (6) de alumínio, provoca um movimento circular devido ao arranjo em pares das placas (5) côncavas; Cabe enfatizar que o movimento circular do fluido é provocado pela injeção tangencial do efluente, seguido das placas côncavas contribuindo para a continuação do movimento causado pela entrada; Essa sequência faz com que o movimento do fluido não se modifique, evita turbulência no interior do reator e, assim, cisalhar os flocos formados; As placas (5), por sua vez, são conectadas à fonte de alimentação (energia) de forma alternada para que seja estabelecida a sequência de catodo e anodo; O movimento circular adquirido no interior do reator pode ser modificado por meio da angulação que pode variar de entre 0 e 90°, de acordo com os ajustes necessário para cada efluente.
6. REATOR DE ELETROFLOCULAÇÃO, CILÍNDRICO, COM ENTRADA DE EFLUENTE TANGENCIAL E DE OPERAÇÃO CONTÍNUA, de acordo com a reivindicação 1, 2, 3, 4 e 5, caracterizado pelos teste de funcionamento da bancada de experimentos obtidos, confirmarem o comportamento do fluido após a entrada tangencial a geração do movimento helicoidal, através da injeção de um

corante (anilina azul) na linha (tubulação), antes da entrada, cuja função do corante é agir como marcador; Nota-se, então, que o corante é conduzido até a superfície não só por difusão, mas movimentando-se de forma circular e ascendente em torno do reator; À medida que o fluido é bombeado verifica-se a formação do vórtice, originado o movimento rotacional no interior do reator eletrolítico (1).

FIGURA 01

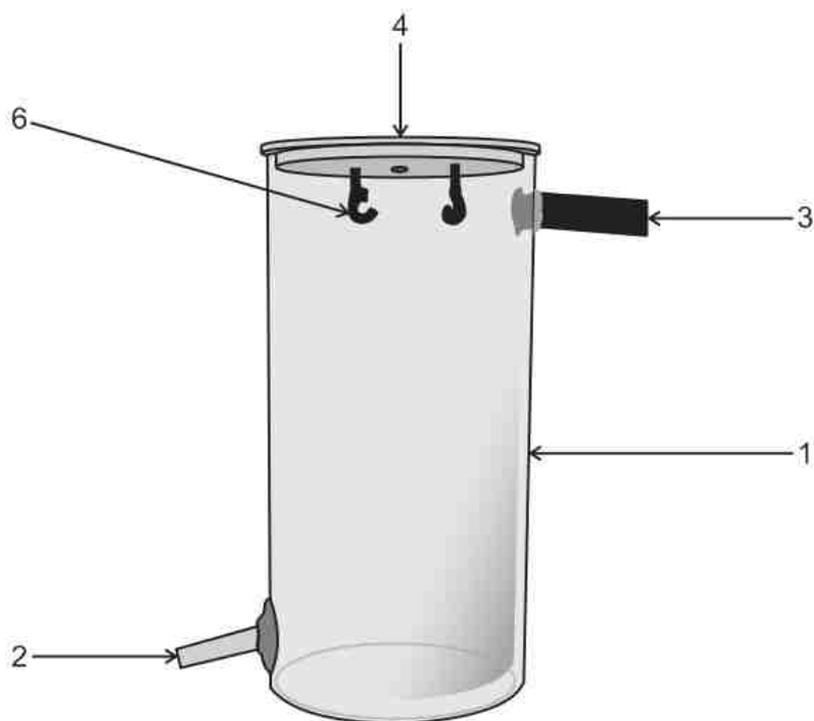


FIGURA 02

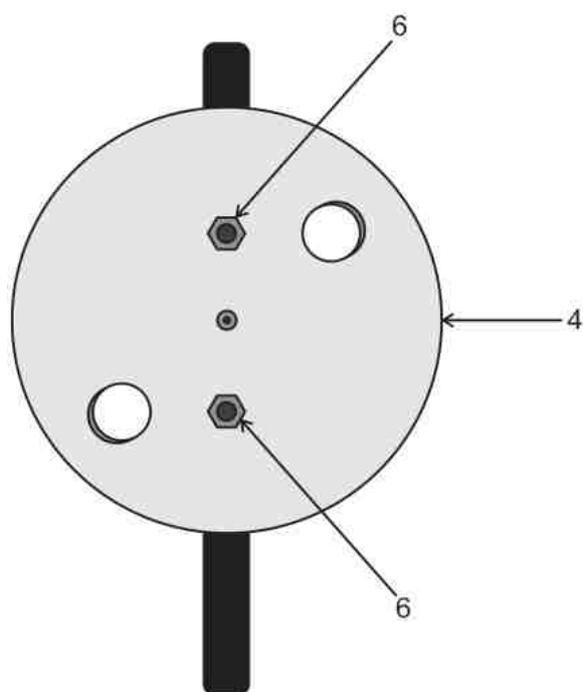


FIGURA 03

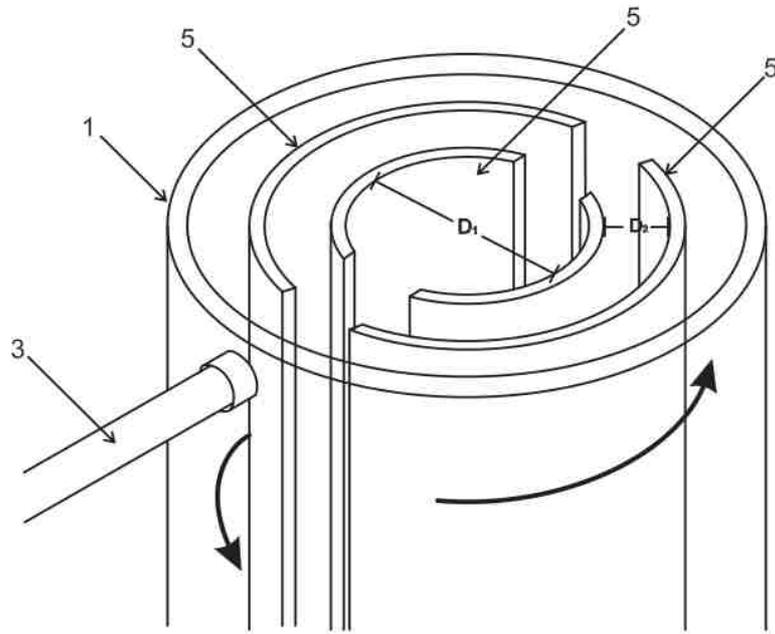


FIGURA 04

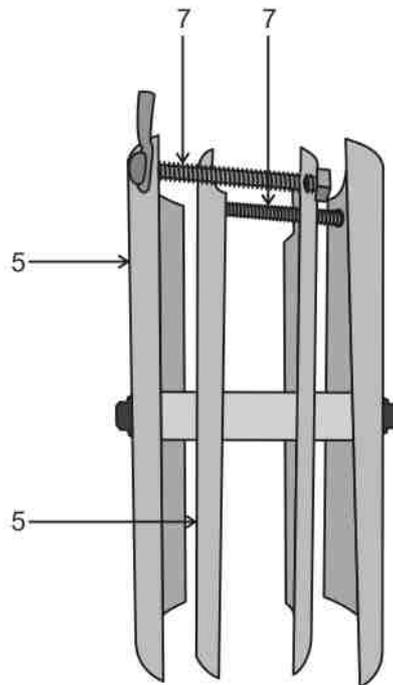


FIGURA 05

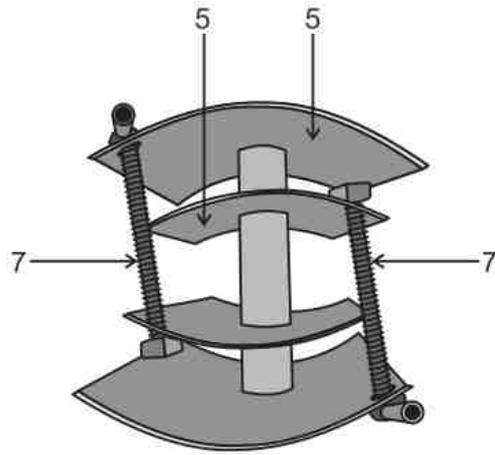


FIGURA 06

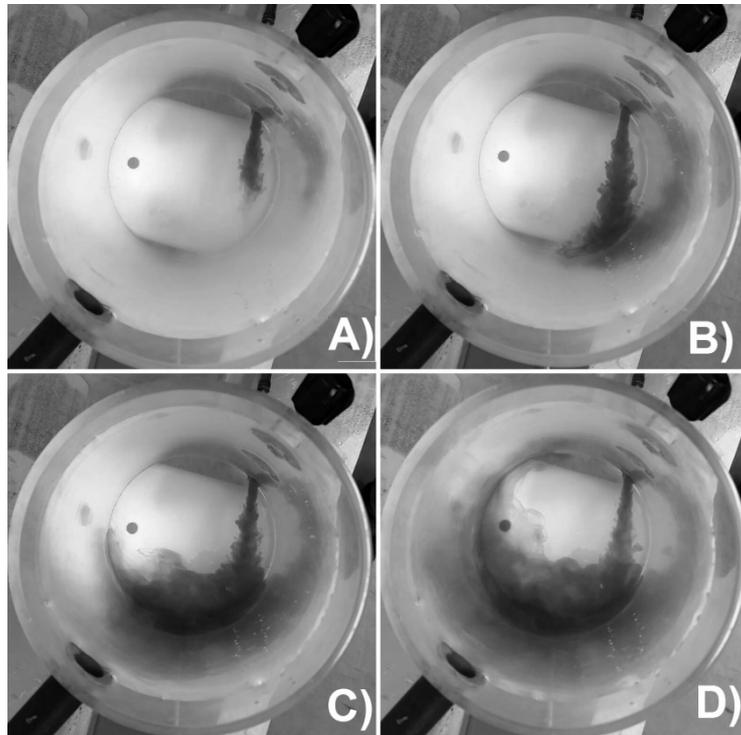


FIGURA 07

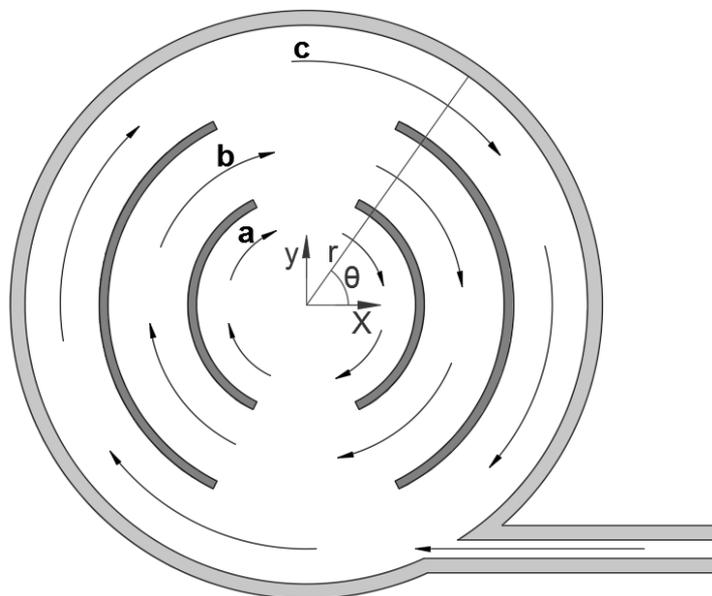


FIGURA 08

