



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0406106-3 A**

(22) Data de Depósito: 16/09/2004  
(43) Data de Publicação: **02/05/2006**  
(RPI 1843)



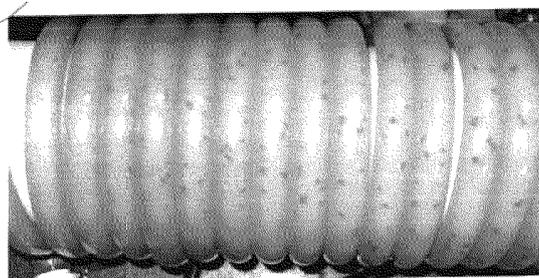
(51) Int. Cl<sup>7</sup>.:  
C02F 1/24  
C02F 1/52

(54) Título: **REATOR GERADOR DE FLOCOS E PROCESSO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES**

(71) Depositante(s): Universidade Federal do Rio Grande do Sul (BR/RS)

(72) Inventor(es): Jorge Rubio Rojas, Elvis Carissimi

(57) Resumo: "REATOR GERADOR DE FLOCOS E PROCESSO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES". A presente invenção descreve um reator para a geração de flocos, para ser utilizado em sistemas de floculação que aproveitam a energia cinética do fluxo hidráulico e compreende a formação de flocos aerados assim como também um sistema de tratamento de efluentes por floculação, em linha, utilizando o referido reator.



Relatório Descritivo  
**Reator Gerador de Flocos e  
Processo para Tratamento de Águas e Efluentes**

5 **Campo da invenção**

A presente invenção se refere equipamentos e processos de floculação. Mais especificamente, se refere a um reator útil em sistemas de floculação que aproveitam a energia cinética do fluxo hidráulico, para promover a agitação necessária à dispersão de um floculante resultando na geração de flocos. Adicionalmente, a presente invenção se refere a um sistema de floculação em linha para o tratamento de misturas líquido/sólido, utilizando o referido reator.

**Antecedentes da Invenção**

A degradação dos cursos d'água é um claro indicador da inadequação do processo de ocupação do território, tanto em áreas urbanas como rurais. O crescimento populacional e a necessidade de desenvolvimento têm exigido maior consumo de água para as mais diversas finalidades. A água, que pelo ciclo hidrológico foi considerada um recurso mineral renovável, atualmente, é reconhecida pela legislação de diversos países, incluindo o Brasil, como um recurso não renovável, tamanha a fragilidade e importância da preservação deste recurso. O processo contínuo de utilização de água disponível evidencia, cada vez mais, que sua conservação, além da importância ambiental, assume um caráter de sobrevivência, sendo considerada o "ouro azul" do século XXI.

A incorporação de políticas e leis severas aos poluidores tem encorajado o desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento de efluentes líquidos para limitar a degradação ambiental causada pela ação antropogênica, adequando-os dentro das normas vigentes, objetivando a minimização dos efeitos danosos aos corpos receptores, e, como segunda alternativa, a reutilização ou reuso da água tratada dentro de padrões pré-estabelecidos de qualidade.

No tratamento de águas e efluentes é necessário gerar uma desestabilização dos sistemas coloidais, a qual pode ser realizada através da

adição de eletrólitos inorgânicos, polímeros floculantes, tensoativos e óleos, ocorrendo a agregação ou aglomeração (no caso de óleos) das partículas ultrafinas ou coloidais ( $<1\mu\text{m}$ ) formando unidades maiores. O tratamento hoje empregado para remover partículas sólidas de efluentes líquidos envolve a  
5 desestabilização através da agregação.

De acordo com Adachi (1995) e Thomas *et al.* (1993), em todas as etapas para separação de fases das plantas de tratamento de águas e efluentes, tais como sedimentação, flotação, filtração e espessamento de lodos, há uma forte dependência do estágio precedente de agregação das  
10 partículas finas para que a separação seja efetiva, sendo então considerada uma das etapas mais importantes no tratamento de águas e efluentes líquidos.

Uma das formas mais eficientes de se agregar partículas sólidas é a utilização de um processo de floculação. O processo de floculação convencional é realizado em tanques de agitação mecânica ou em sistemas  
15 que aproveitam o fluxo hidráulico para promover a dispersão e o contato dos agentes floculantes. Esta última opção representa, em muitos casos, a substituição das etapas de mistura lenta e mistura rápida do processo convencional dos floculadores em plantas de tratamento, representando um custo oneroso às estações de tratamento, em termos de manutenção e  
20 consumo energético necessário para prover a agitação.

Adicionalmente, as características do floco e do processo formado influenciam bastante no resultado final. Portanto, é necessário que sejam bem definidas as demandas para parâmetros como, por exemplo, resistência dos flocos, dimensão fractal, velocidade de sedimentação (flocos não aerados) e  
25 velocidade de ascensão (flocos aerados).

A etapa de agregação de partículas finas por floculação polimérica é de fundamental importância no tratamento de efluentes, uma vez que a estrutura dos flocos apresenta um papel fundamental num processo posterior de separação de fases. Entretanto, a eficiência desse processo depende de sua  
30 capacidade de formar flocos ou agregados com características apropriadas para uma etapa posterior de separação sólido/líquido. No caso de uma

separação por sedimentação, é desejável a formação de flocos grandes; para uma separação por filtração é desejável a formação de flocos com elevada porosidade.

A formação dos flocos depende de variáveis físicas tais como, por exemplo, intensidade de agitação, taxa e forma de adição polimérica, tempo de floculação, etc. Os parâmetros químicos mais relevantes dependem da carga (distribuição ou densidade de cargas), do peso molecular e da dosagem do polímero floculante. Outras propriedades da suspensão tais como: pH, força iônica e temperatura, também podem influenciar no processo de floculação (Moudgil e Springgate, 1989). Outra parte importante de processos de tratamentos de efluentes é a escolha dos reatores. Reatores são unidades (vasos ou tanques) onde os processos unitários são realizados.

Sob o ponto de vista prático, as taxas nas quais as reações físicas, químicas e biológicas e as conversões acontecem são importantes, pois afetam o dimensionamento dessas unidades de tratamento. Segundo Metcalf e Eddy (2003), as taxas nas quais as reações e conversões ocorrem são geralmente função, por exemplo, dos constituintes envolvidos, da temperatura e do tipo de reator. Os reatores variam conforme sua característica hidráulica e desempenho e os mais comumente empregados no tratamento de efluentes são mostrados na tabela abaixo.

Tipo de Reator	Descrição
Fluxo pistão	O fluxo de pistão ocorre quando as lâminas líquidas de espessura "d" movem-se paralelamente ao sentido do fluxo, com uma pequena ou sem dispersão longitudinal. Toda massa líquida que entra no tempo $t_0$ apresenta o mesmo tempo de retenção $t_r$ .
Mistura completa	Nesse tipo de reator, assume-se que a mistura completa acontece instantaneamente e uniformemente assim que as partículas presentes na massa líquida entram no reator. O tempo necessário para alcançar as condições de mistura completa irá depender fundamentalmente da geometria do reator e da potência imposta (Arboleda, 1973). Ainda, os reatores de mistura completa podem apresentar curto-circuitos ou zonas mortas.
Mistura completa em série	A série de reatores de mistura completa é empregada para modelar o regime de fluxo existente entre o modelo de fluxo ideal correspondente aos reatores de mistura completa e fluxo pistão. Um exemplo típico

	deste tipo de reator é o sistema de tratamento de lagoas.
Batelada	No reator de batelada o fluxo entra, é tratado, e posteriormente descartado, não havendo entrada e saída simultânea do fluxo. O conteúdo líquido é misturado completamente.
Leito fixo	O reator de leito fixo é preenchido com algum tipo de material de enchimento (pedra, cerâmica, plástico, carvão ativado) e pode ser operado em regime ascendente ou descendente.
Leito fluidizado	O reator de leito fluidizado é similar ao reator de leito fixo em muitos aspectos, porém, o material de enchimento é expandido pelo movimento ascensional do fluido através do leito. A variação na expansão do material é obtida através do controle da vazão de alimentação do fluxo.

O efeito das condições hidrodinâmicas é um outro fator relevante na desestabilização de sistemas coloidais através de eletrólitos hidrolisáveis e/ou polímeros floculantes. Para que a agregação das partículas ocorra, dois processos devem ocorrer de forma seqüencial. Primeiramente, as partículas devem colidir umas com as outras, e, posteriormente, sob a influência das forças coloidais devem se agrupar formando agregados.

Outro parâmetro importante na influência da floculação é o número de Reynolds (Re), obtido pela relação entre o produto da densidade do meio ( $\rho$ ), da velocidade de escoamento (V) e do diâmetro do tubo (D), considerando-se seção plena de escoamento pela viscosidade da massa líquida ( $\mu$ ).

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

No processo de tratamento de águas e efluentes por desestabilização dos sistemas coloidais por floculação, existe ainda a escolha dos floculadores, que são os equipamentos onde os flocos serão formados. Os floculadores empregados no tratamento de águas e efluentes são classificados em três categorias principais: hidráulicos, mecânicos e pneumáticos (Sincero *et al.*, 2003).

Os floculadores hidráulicos aproveitam a energia que o fluxo adquire ao escoar por um conduto, para agitação da massa líquida. Conforme o sentido da

corrente hídrica, no interior das câmaras, os referidos floculadores subdividem-se em: fluxo horizontal, fluxo vertical e fluxo helicoidal. Os floculadores mecânicos, por outro lado, são classificados em conformidade com o tipo de movimento dos agitadores, podendo ser alternados ou rotativos (Arboleda, 5 1973). Por fim, os floculadores pneumáticos empregam ar para promover a agitação.

A tabela abaixo ilustra a classificação geral dos floculadores.

<b>Tipo</b>	<b>Classificação</b>	<b>Exemplo</b>
a) Hidráulicos	1. Fluxo Horizontal	Chicanas intercaladas de forma transversal ao tanque
	2. Fluxo Vertical	Chicanas intercaladas acima e abaixo, no tanque
	3. Fluxo Helicoidal	Tanque com dispositivos de entrada e saída em sentidos opostos
b) Mecânicos	1. Rotativos	Palhetas giratórias de eixo horizontal ou vertical
	2. Alternados	Palhetas oscilantes
c) Pneumáticos		Difusores de ar

A literatura patentária contempla alguns exemplos de sistemas de tratamento de efluentes líquidos. O pedido internacional de patente WO 10 9814258, de Microsep International, descreve um processo de floculação onde se faz uso de uma etapa de recirculação para aumentar a taxa de crescimento dos flocos e aumentar a sedimentação diferencial dos flocos. No entanto, o referido documento reivindica um reator com recirculação interna, aumentando 15 o tamanho do mesmo e custo do processo.

A patente norte americana US 6,319,412, de New Working Waters, descreve um processo de tratamento de água residual. O processo consiste em ajustar o pH da água, contactá-la com uma mistura pastosa, em seguida tratá-la com um agente precipitante e um agente floculante e então separar a

água dos resíduos sólidos. No entanto, no referido processo é necessária a adição de um agente precipitante, além do agente floculante.

O pedido de patente europeu EP 1371613, de Ebara Corporation, apresenta um método de floculação para tratamento de líquidos caracterizado pelo fato de manter o líquido sob uma pressão reduzida, para modificar a porção gasosa contida no líquido. No entanto, o referido processo ocorre sob baixa pressão, aumentando a complexidade da planta.

Baseando-se nos conhecimentos descritos e visando contornar as limitações dos processos desenvolvidos até a data da presente invenção, os inventores desenvolveram um novo reator para a formação de flocos em processos de tratamento de água ou de efluentes líquidos industriais.

No desenvolvimento do novo aparelho para tratamento de águas e efluentes líquidos, foram utilizadas configurações curvas de tubos circulares, freqüentemente utilizadas na indústria, principalmente como trocadores de calor, reatores químicos, unidades de osmose reversa, membranas helicoidais de oxigenação de sangue (Agrawal e Nigam, 2001) e reações de polimerização enzimática (Buchanan *et al.*, 1998). De acordo com Streeter (1961), tubulações fechadas, de seção quadrada ou circular, apresentam um fluxo secundário que se caracteriza por um fluxo centrípeto, com um movimento ao longo das paredes laterais e próximo ao centro do tubo, aumentando a resistência ao escoamento. Segundo Agrawal e Nigam (2001), o fluxo secundário que é característico de tubos helicoidais apresenta as seguintes vantagens:

- maior gradiente de pressão axial;
- maior número de Reynolds para transição para fluxo turbulento;
- distribuição do tempo de residência que se aproxima a um fluxo pistão;
- maiores taxas de transferência de calor e de massa por unidade de pressão axial.

O emprego de sistemas tubulares como floculadores, já foi avaliado em escala de laboratório, na formação de flocos de levedura (Gregory, 1988) e bentonita (Elmaleh e Jabbouri, 1991). De acordo com os referidos autores, o

sistema tubular possibilita eficientemente a formação de flocos, proporcionando a formação de flocos densos que são facilmente separados por sedimentação.

Entretanto, não há evidências na literatura quanto à aplicação de unidades desse tipo como tecnologias aplicadas no tratamento de águas servidas.

### **Sumário da invenção**

É um objeto da presente invenção fornecer um reator gerador de flocos para tratamento de águas e efluentes líquidos.

Em um outro aspecto, sendo, portanto, um adicional objeto da presente invenção, os inventores fronecem um novo processo de tratamento de águas e efluentes, caracterizado pelo uso de um reator gerador de flocos.

### **Breve Descrição das Figuras**

A figura 1 mostra o modelo de fluxo radial no reator tubular helicoidal.

A figura 2 mostra o Reator Gerador de Flocos.

A figura 3 mostra a formação dos flocos ao longo do Reator Gerador de Flocos.

A figura 4 mostra a formação de flocos aerados ao longo do Reator Gerador de Flocos.

A figura 5 mostra um modelo do processo de floculação em linha desenvolvido na presente invenção.

A figura 6 mostra o sistema projetado para caracterizar o processo de floculação em linha da presente invenção (exemplo 1).

### **Descrição Detalhada da Invenção**

A presente invenção descreve o desenvolvimento de uma técnica de floculação em linha para a geração de flocos, aproveitando a energia cinética do fluxo hidráulico ao longo do reator tubular helicoidal, promovendo a agitação necessária para formação dos flocos com baixo tempo de residência. Adicionalmente, a presente invenção descreve a formação de flocos aerados, permitindo obter uma cinética de separação via flotação (foco-flotação) superior em relação à simples sedimentação dos flocos.

Por um lado, quando se utilizam misturadores do tipo fluxo pistão são empregados gradientes de velocidade muito mais elevados e por um tempo mais curto, para se obter a mesma eficiência de mistura. Em contrapartida, o sistema de fluxo helicoidal não apresenta gradientes de velocidades uniformemente distribuídos.

A figura 1 mostra o fluxo centrípeto radial comum em tubulações de seção fechada cilíndrica e que ocorre em fluxo tubular helicoidal. Essa figura também mostra que quando a direção do fluxo inverte, o fluxo radial também inverte de direção. A inversão que ocorre no fluxo precisa ser muito eficiente para que ocorra uma mistura da massa líquida com os reagentes, propiciando a formação dos flocos.

Por outro lado, existe também a formação de flocos aerados, que fornece vantagens do presente sistema em relação à produção de flocos aerados.

Estudos avaliando a eficiência de geração de flocos aerados mediante a introdução de microbolhas de ar (inferiores a 70  $\mu\text{m}$ ) foram realizados. Nesse sistema, além da floculação ser favorecida (maior turbulência), ocorre a dispersão das bolhas que são capturadas e/ou aprisionadas nos flocos durante sua formação, conforme mostra a figura 4. Dessa forma, resulta a geração de flocos aerados que “flutuam” e são mais facilmente separados numa etapa posterior de flotação (ou flutuação), denominada como floco-flotação pelos inventores.

O reator gerador de flocos (RGF), no referido processo, possui uma dupla função, qual seja, a de servir, ao mesmo tempo, como floculador e intermediário do contato bolhas/flocos.

Com as informações supra mencionadas, os inventores estabeleceram parâmetros de projeto para o “design” dos reatores de floculação. O Reator Gerador de Flocos (RGF) desenvolvido na presente invenção, como é mostrado na figura 2, é constituído por um tubo transparente (1) enrolado na parte externa de uma coluna fixa (2), onde os números se referem, respectivamente:

(3) como sendo o sentido do fluxo helicoidal;

(4) como sendo a direção de escoamento do fluxo;

(5) como sendo a entrada do efluente contendo partículas coloidais e polímero;

5 (6) como sendo a injeção de microbolhas de ar;

(7) como sendo a saída dos flocos gerados para uma etapa posterior de separação sólido/líquido.

O detalhamento técnico do sistema para tratamento de águas empregado na geração dos flocos no RGF é constituído pelos seguintes itens:

10 - Unidade de preparo e dosagem de floculante, composta por um tanque, um misturador e uma bomba dosadora peristáltica, com mangueira.

- Efluente a ser tratado;

- Unidade de ar comprimido, formada por um compressor, um vaso saturador e um sistema de filtro de ar e regulador de pressão.

15 - Unidade de geração de flocos (RGF), composta por um reator gerador de flocos (RGF) fabricado com um tubo, envolto na parte externa por uma coluna fixa composto por unidades anelares.

20 - Bombas de alimentação, sendo uma bomba helicoidal para alimentação do efluente no RGF; e uma bomba helicoidal para alimentação de água de abastecimento no saturador.

25 - Instrumentação e controle, compostos por um controlador de vazão de alimentação da bomba via variador de frequência, um controlador de vazão de alimentação da bomba através de um regulador mecânico, um medidor de pressão manométrico na entrada do RGF, uma válvula agulha na saída do vaso saturador e rotâmetros de anel, para medida da vazão de saída do tanque de alimentação do vaso saturador.

A presente invenção apresenta, dentre outras, as seguintes vantagens e efeitos técnicos:

30 1. Mistura do tipo fluxo pistão, ideal para floculação, onde todas as partículas apresentam o mesmo tempo de residência;

2. Ausência de curto-circuitos ou zonas mortas;

3. Ausência de partes móveis (agitadores);
4. Ocupação de uma pequena área;
5. Ausência de necessidade de energia mecânica ou elétrica adicional;
6. Crescimento uniforme dos flocos;
- 5 7. A geração de flocos aerados aumenta a cinética de separação via floculação-flotação (flutuação);
8. Baixo custo de implantação e operação.

O protótipo contínuo do Reator Gerador de Flocos (RGF), desenvolvido para estudos de floculação em linha, mostrou elevada eficiência na geração de flocos, aerados e não aerados, com o emprego de poliacrilamida catiônica como agente floculador.

A alta velocidade de separação sólido/líquido obtida nos estudos com flocos aerados comparativamente com flocos não aerados mostram claramente a viabilidade de emprego das microbolhas na geração destes.

15 Ainda, os resultados experimentais mostraram que o RGF possui um elevado potencial como uma nova técnica de agregação em linha ou flotor-separador em operações que requerem alta taxa de separação.

### **Exemplos**

20 Visando o melhor entendimento do processo, a presente invenção, em caráter ilustrativo, mas não limitante, descreve a seguir alguns exemplos experimentais.

#### **Exemplo 1**

25 Os reagentes empregados neste ensaio de floculação foram  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  para formação dos precipitados coloidais, e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para ajuste do pH.

Foram investigadas poliacrilamidas catiônicas, de baixo, médio e alto peso molecular, como agentes floculadores.

30 Nos estudos da definição do modelo de dispersão utilizou-se o corante azul de metileno como traçador. Todos os reagentes empregados foram de pureza analítica e a água utilizada foi de abastecimento público.

Para a caracterização da presente invenção foi projetado e construído um sistema contínuo para geração de flocos (aerados ou não), com capacidade de 0,12 a 0,6 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (2 a 10 L.min<sup>-1</sup>), mostrado na figura 6.

O detalhamento técnico do sistema empregado na geração dos flocos no RGF é apresentado na figura 5, sendo constituído pelos seguintes itens:

- Unidade de preparo e dosagem do floculante, composta por um tanque de poliestireno com 5 litros de capacidade, um misturador do tipo hélice (70 W) e uma bomba dosadora peristáltica com mangueira.

- Dois tanques de fibra de vidro com FeCl<sub>3</sub>, com capacidade de 500 L cada, e com misturadores do tipo pneumático, para preparo da solução sintética de Fe(OH)<sub>3</sub>.

- Unidade de ar comprimido, caracterizada por apresentar um compressor com capacidade de deslocamento de 280 L.min<sup>-1</sup>, cuja potência do motor é de 2,0 CV; um vaso saturador com 90 cm de altura e diâmetro de 10 cm, e um leito com uma altura de 50 cm, preenchido por anéis de Pall (25mm de diâmetro e 25mm de altura) e um sistema de filtro de ar e regulador de pressão (0 a 7 kgf.cm<sup>-2</sup>).

- Unidade de geração de flocos (RGF), formada por um reator gerador de flocos (RGF) fabricado com um tubo de poliuretano com diâmetro interno de 0,0125m, envolto na parte externa de uma coluna fixa de polivinil cloreto (PVC), com raio interno de 0,05 m, composto por 32 unidades anelares.

- Bombas de alimentação, sendo uma bomba helicoidal para alimentação do efluente no RGF, com vazão de trabalho de 1 até 30 L.min<sup>-1</sup> e potência do motor de 1,5 CV, e uma bomba helicoidal para alimentação de água de abastecimento no saturador, com vazão de trabalho entre 0,4 e 5L.min<sup>-1</sup>, e potência do motor de 0,5 CV.

- Controlador de vazão de alimentação da bomba via variador de frequência; controlador de vazão de alimentação da bomba através de um regulador mecânico; medidor de pressão manométrico na entrada do RGF; válvula agulha com diâmetro de ¼" (0,635 cm) na saída do vaso saturador e rotâmetros de anel, para medida da vazão de saída do tanque de alimentação

do vaso saturador com faixa de trabalho entre 0,4 e 8 L.min<sup>-1</sup>, todos para serem utilizados na instrumentação e no controle.

Os resultados obtidos nos estudos da geração de flocos não aerados foram avaliados em função do tipo e concentração de floculante, do tipo de reator, da concentração de floculante, da vazão de alimentação, da concentração de sólidos (Fe(OH)<sub>3</sub>), e discutidos em termos das propriedades físicas dos flocos gerados. O ensaio foi feito com água de abastecimento público, em temperatura ambiente e em pH 7,5 ± 0,5.

### **Efeito do tipo de floculante**

De todos os polímeros floculantes testados, a poliacrilamida catiônica de alto peso molecular apresentou maior velocidade de sedimentação dos flocos formados. Os flocos formados com a utilização desse floculante apresentaram um maior tamanho e uma maior resistência à agitação em relação aos demais polímeros floculantes.

### **Efeito da concentração do floculante**

A taxa de agregação polimérica é função do número de partículas e do número de moléculas de polímero por unidade de volume. Nesse caso, a quantidade de polímero adicionada deve ser suficiente para promover a floculação e não deve ser excessiva em relação ao número de partículas, pois além de ter um excesso do floculante, eventualmente ocorre o processo contrário de restabilização das partículas.

### **Efeito do tipo de RGF empregado**

De todos os reatores estudados nesta etapa, o RGF com 32 anéis, 12 metros de comprimento e 1,2 litros de volume apresentou melhor eficiência em termos de velocidade de sedimentação dos flocos gerados ( $\approx 19 \text{ m.h}^{-1}$ ), na vazão de 4 L.min<sup>-1</sup>, sendo utilizado para a investigação dos demais parâmetros.

A figura 3 mostra a formação e o crescimento dos flocos de Fe(OH)<sub>3</sub> ao longo do reator (da esquerda para a direita).

### Efeito da vazão de alimentação

Os melhores resultados de velocidade de sedimentação (20 m.h<sup>-1</sup>) foram obtidos para a vazão de 3 L.min<sup>-1</sup>, que foi selecionada e utilizada no ensaio de geração de flocos.

### 5 Efeito da concentração de sólidos

Em vazões de alimentação superiores a 3 L.min<sup>-1</sup>, a velocidade de sedimentação para a concentração de Fe(OH)<sub>3</sub> de 19 mg.L<sup>-1</sup> não pode ser medida devido a formação de flocos muito pequenos, com velocidades de sedimentação abaixo de 4 m.h<sup>-1</sup>, apresentando uma concentração excessiva de pequenos flocos, o que impossibilitou a medida visual do tempo de sedimentação.

Os resultados obtidos mostram, ainda, que a densidade dos flocos diminui consideravelmente à medida que o tamanho dos flocos aumenta, devido à estrutura fractal que os flocos apresentam. O valor médio da densidade dos flocos de Fe(OH)<sub>3</sub> gerados no reator foi de 1019±18 kg.m<sup>-3</sup>, para flocos com tamanhos que variaram entre 400 e 2000 μm. O valor obtido de dimensão fractal,  $d_F=(2,98)$  caracteriza um floco denso, de baixa porosidade e formato esférico. Valores de  $d_F$  próximos a 3 resultam de uma agregação em trajetórias lineares (comum em sistemas tubulares), do tipo partícula-agregado (*particle-cluster*), com a formação de uma estrutura compacta.

## Reivindicações

**Reator Gerador de Flocos e  
Processo para Tratamento de Águas e Efluentes**

- 5 1. Reator gerador de flocos com elevada formação de flocos, caracterizado pelo fato de compreender um sistema de injeção de microbolhas que proporciona a formação de flocos aerados.
2. Reator, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por fazer uso do fluxo hidráulico para aumentar a dispersão e o contato entre as partículas.
- 10 3. Reator, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de compreender uma configuração que proporciona um baixo tempo de residência dos flocos formados.
4. Reator, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de compreender uma configuração que proporciona fácil separação dos flocos por floco-flotação.
- 15 5. Reator, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender um tubo helicoidal (1).
6. Reator, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato do referido tubo helicoidal compreender unidades anelares.
- 20 7. Reator, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato do número das referidas unidades anelares estar no intervalo que varia de 10 a 50.
8. Reator, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender uma configuração que dispensa o uso de agitadores, energia mecânica e/ou energia elétrica adicional.
- 25 9. Reator, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser compacto e necessitar de uma área pequena para ser construído.
10. Processo para tratamento de águas e efluentes compreendendo uma etapa de floculação, caracterizado por compreender um reator gerador de flocos que proporciona a formação de flocos aerados a partir da injeção de
- 30 microbolhas.
11. Processo, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de adicionalmente compreender:

- uma unidade de preparo e dosagem de floculante;
  - uma unidade de ar comprimido;
  - uma unidade de geração de flocos;
  - bombas de alimentação; e
- 5 - instrumentação e controle.

12. Processo, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato da referida unidade de preparo e dosagem do floculante compreender um tanque, um misturador e uma bomba dosadora.
- 10 13. Processo, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato da referida unidade de ar comprimido compreender um compressor, um vaso saturador e regulador de pressão.
14. Processo, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato do referido agente floculante ser selecionado do grupo que compreende a classe das poliacrilamidas.
- 15 15. Processo, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato da referida poliacrilamida ser uma poliacrilamida catiônica de alto peso molecular.
16. Processo, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que o tempo de residência dos flocos formados é baixo.
- 20 17. Processo, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que os flocos formados são facilmente separados por floco-flotação.

Figuras

Figura 1

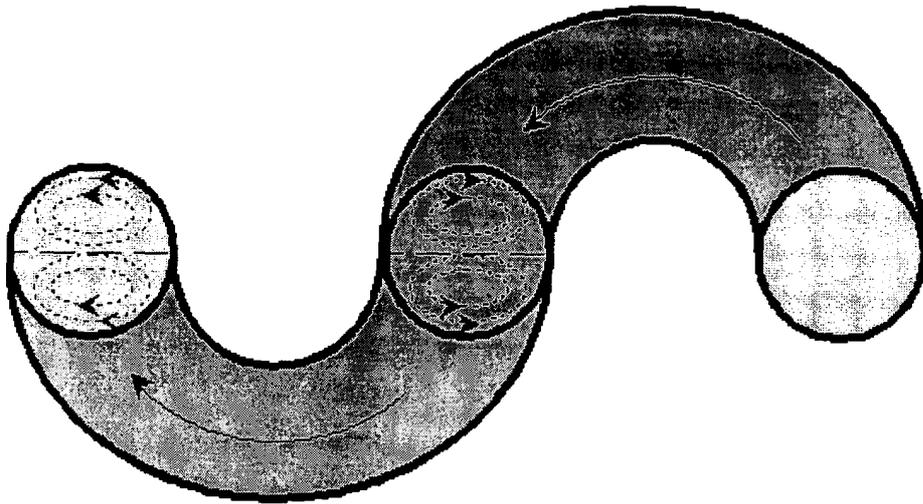


Figura 2

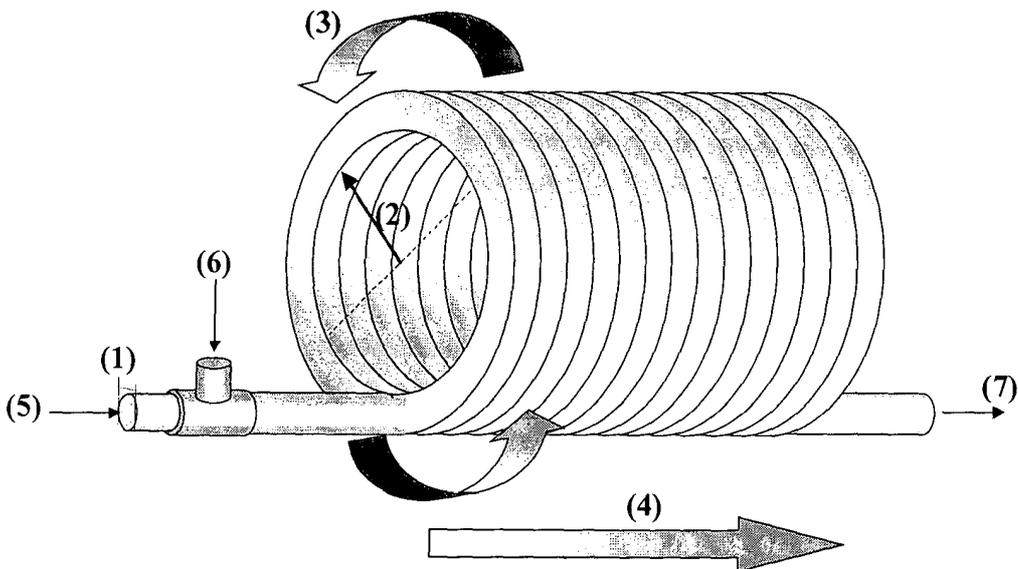


Figura 3

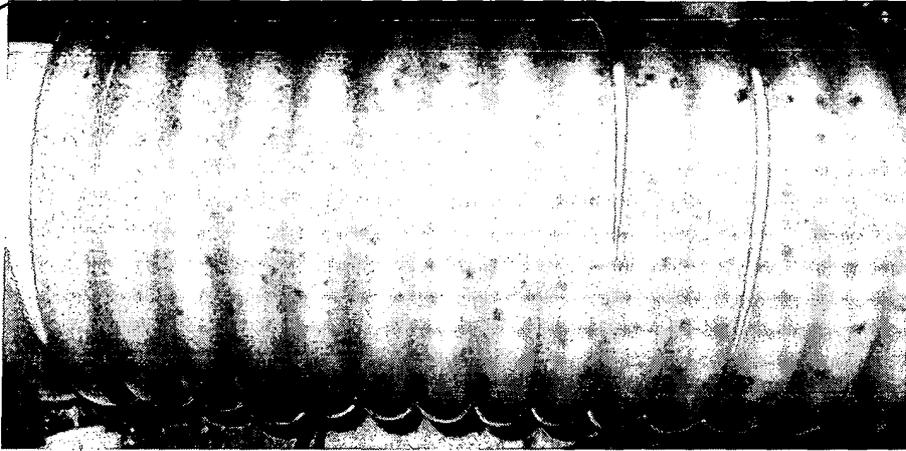


Figura 4

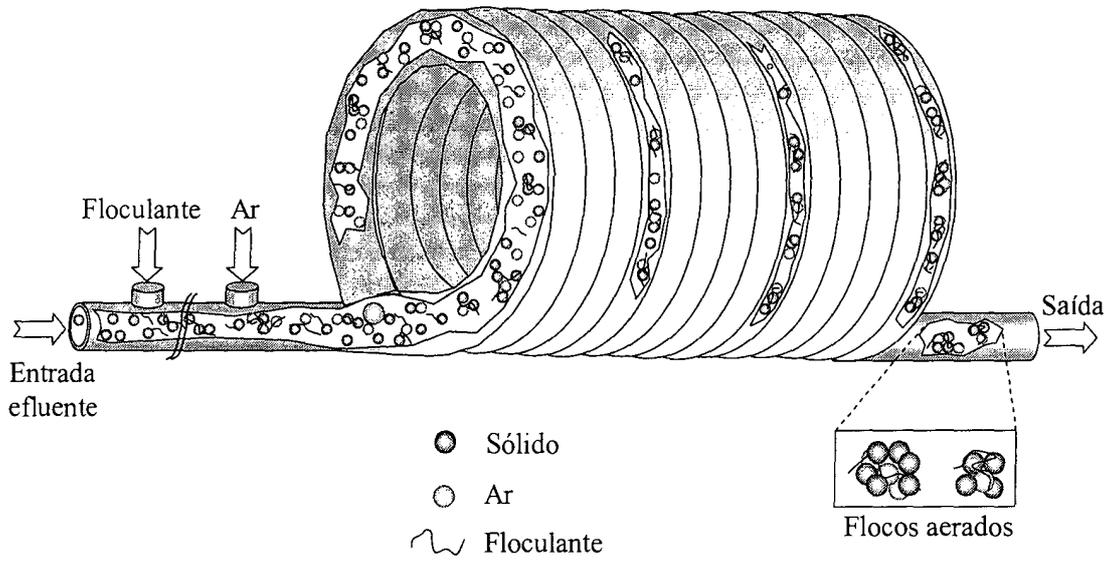


Figura 5

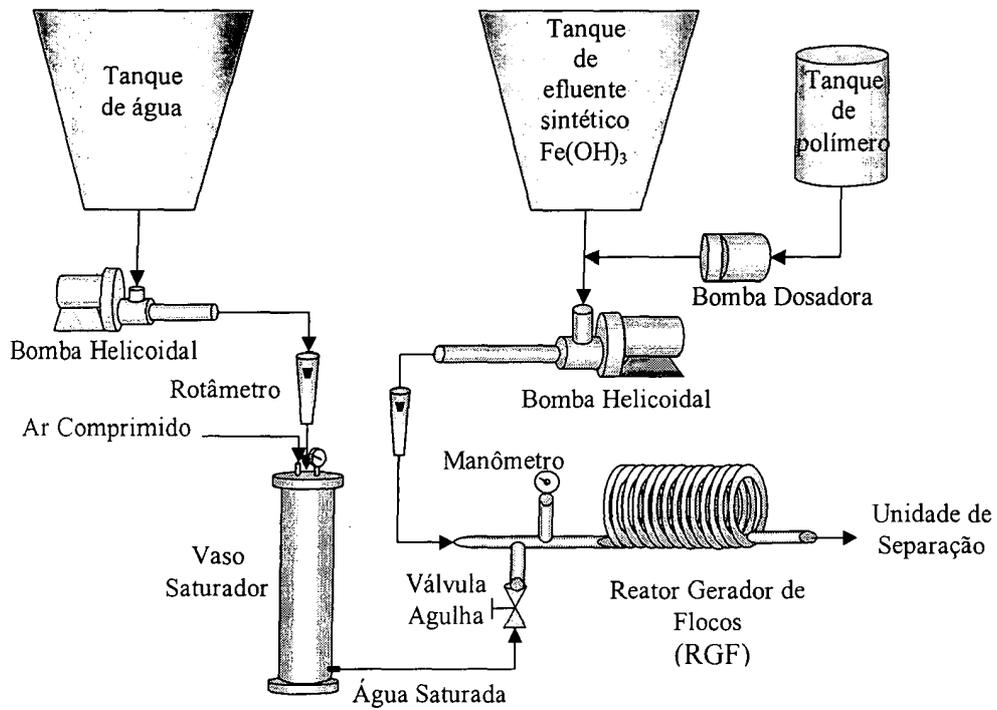
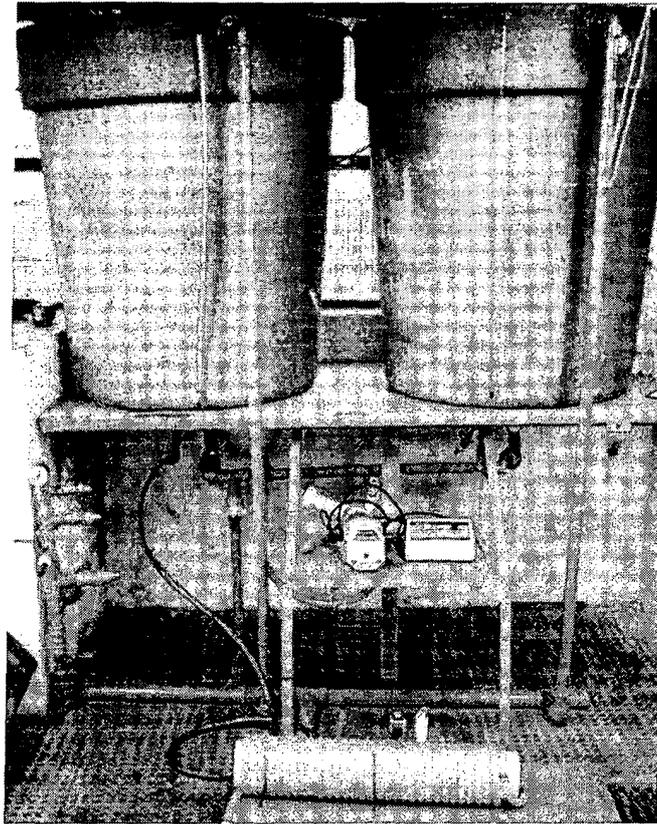


Figura 6



## Resumo

**Reator Gerador de Flocos e  
Processo para Tratamento de Águas e Efluentes**

- 5 A presente invenção descreve um reator para a geração de flocos, para ser utilizado em sistemas de floculação que aproveitam a energia cinética do fluxo hidráulico e compreende a formação de flocos aerados assim como também um sistema de tratamento de efluentes por floculação, em linha, utilizando o referido reator.