



IPI INSTITUTO
NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
**Assinado
Digitalmente**

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102015010562-2

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 102015010562-2

(22) Data do Depósito: 08/05/2015

(43) Data da Publicação Nacional: 18/07/2017

(51) Classificação Internacional: C02F 3/28; C02F 3/32.

(54) Título: REATOR UASB COM SEPARADOR TRIFÁSICO

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI, Pessoa Jurídica. CGC/CPF: 21186804000105. Endereço: PRAÇA FREI ORLANDO, 170, CENTRO, SÃO JOÃO DEL-REI, MG, BRASIL (BR), 36307-352

(72) Inventor: JACKSON DE OLIVEIRA PEREIRA; AUGUSTO FACHINNI RODRIGUES; GUTEMBERG GERALDO VILAÇA FALEIRO; JOSIELLE MARQUES DA ROCHA; LORRANNA RUST RAPOSO; WELLINGTON DOUGLAS SILVA AGUIAR.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 08/05/2015, observadas as condições legais

Expedida em: 10/05/2022

Assinado digitalmente por:

Alexandre Dantas Rodrigues

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



Reator UASB com separador trifásico

[01] A presente invenção refere-se a um modelo de reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) para tratamento de águas residuárias, dotado de um dispositivo de separação de fases conjugado, que tem por objetivo solucionar o problema da espuma no interior do separador trifásico, a perda de biogás dissolvido no líquido e a perda de sólidos no efluente.

[02] Apesar da grande aplicabilidade e de todas as vantagens apresentadas pelos reatores UASB, o estado da técnica revela a existência de sérios problemas na sua aplicação no tratamento de águas residuárias complexas como os esgotos domésticos, tais como: (i) o acúmulo de espuma no separador trifásico; (ii) a perda de gases dissolvidos no efluente (H_2S , CH_4); e (iii) a perda de sólidos no efluente (CHERNICHARO, C. A. L., 2007, no livro, *Reatores anaeróbios*).

[03] A espuma é um subproduto sólido composto de materiais flutuantes presentes no esgoto tais como óleos, gorduras, ceras, sabões, cascas e caroços de frutas, vegetais, pontas de cigarro, cabelo, plásticos, algodão, lodo flotado, entre outros materiais fibrosos. No interior dos reatores UASB estes constituintes se separam do esgoto por flotação, ocupando as superfícies líquidas do separador trifásico (na interface de liberação do biogás da fase líquida) e dos decantadores. O acúmulo de espuma no interior do separador trifásico bloqueia a interface de separação do biogás da fase líquida, ocasionando sérios problemas em reatores UASB em escala real, tais como: i) perda do biogás para a zona de decantação, criando uma turbulência indesejada nessa região, e o arraste dos sólidos em processo de sedimentação

para o efluente final, prejudicando a eficiência do reator (LETTINGA & HULSHOFF POL, 1991, no artigo "*Process design for various types of wastewaters*"); ii) maior emissão de odores, devido à perda descontrolada do biogás pela região de decantação, sobretudo no caso de reatores com decantadores abertos para atmosfera (VAN LIER, J.B.; VASHI, A.; VAN DER LUBBE, J.; HEFFERNAN, B. 2011, no livro, "*Anaerobic sewage treatment using UASB reactors: Engineering and operational aspects. In: Fang, H.H.P. (Editor) Environmental anaerobic technology: applications and new developments*"); iii) aumento na perda de gases dissolvidos no efluente, devido à supersaturação na fase líquida (uma vez que os gases estão impedidos de passar da fase líquida para fase gasosa) (GOMES, C.S.; ALVES, H.B.; SQUIBA, L.M. 2007, no artigo "*Escumas como pesadelos dos tratamentos RALF e UASB, para esgotos sanitários*"); obstrução de tubulações de remoção da espuma do separador (CHERNICHARO, C. A. L.; ALMEIDA, P. G. S.; COUTO T. C.; SOUZA, C. L.; BORGES, J. M. 2009, no artigo "*Contribuição para a melhoria do projeto e da operação de reatores UASB tratando esgotos domésticos: gerenciamento da espuma*"); e o rompimento estrutural do separador trifásico (MIKI, M. K., 2010, no artigo "*Dilemas do UASB*". Seção "*Práticas operacionais e de Empreendimento*"). Para garantir que o biogás consiga trespassar a camada de espuma, evitando a ocorrência dos problemas supracitados, os reatores são projetados com dimensões que resultem em uma taxa mínima de liberação do biogás da fase líquida de $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, conforme recomendado por Souza (1986), no artigo "*Criteria for utilization, design and operation of UASB reactors*". Esse critério, entretanto, conduz ao projeto de separadores trifásicos com dimensões reduzidas na sua porção superior ("pescoço da coifa"), o que, antagonicamente, propiciará à formação de uma camada de espuma de maior espessura, devido ao menor espaço disponível para sua acomodação. Como consequência, a taxa de projeto adotada não será mais suficiente para atravessar o selo formado pela espuma, desencadeando a ocorrência dos problemas associados ao acúmulo da espuma.

Assim, a solução técnica mais eficaz que tem sido empregada para resolver o problema é a remoção periódica da espuma através de calhas, tubulações e escotilhas existentes no separador. Essa solução, entretanto, não é a mais vantajosa, em função do dispêndio de mão de obra, e da perda de estanqueidade do separador com as constantes aberturas e fechamentos de escotilhas, resultando em vazamentos incontroláveis de gases para atmosfera. As dimensões reduzidas do separador, resultantes do critério de projeto supracitado, dificultam ainda mais essa operação tornando a remoção da espuma menos eficiente. Por estas razões a espuma constitui o principal problema do estado da técnica e a solução desse problema é uma demanda premente do mercado.

[04] Com relação à problemática da perda de gases dissolvidos no efluente de UASB, Souza, C.L. 2010, na tese de doutorado "*Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB*", reporta que cerca de 50% de todo metano produzido no reator permanece solubilizado na fase líquida e se perde no efluente. Tal fato é decorrente da baixa agitação existente nos reatores que tratam esgotos domésticos, que faz com que a transferência de massa global do metano da fase líquida para fase gasosa esteja limitada pelas taxas de difusão molecular, que são excessivamente lentas. Como resultado, os gases permanecem solubilizados na fase líquida e o efluente se apresenta supersaturado de metano (ocorrendo o mesmo com gás sulfídrico, porém em menor proporção) de acordo com a Lei Henry e a Lei de Fick. Entre as consequências da perda de gases dissolvidos no efluente podem-se destacar: i) Gás sulfídrico (H_2S): geração de maus odores, reclamações por parte da comunidade circunvizinha à ETE, e a corrosão de estruturas, equipamentos e tubulações; ii) Gás Metano (CH_4): contribuição com o efeito estufa (GEE); risco de explosão; e perda de energia (já o metano é um gás passível de ser reutilizado).

[05] Finalmente, outro sério problema apresentado pelos reatores UASB, no campo do tratamento de esgotos industriais e domésticos, é a perda de sólidos no efluente. No caso do tratamento de efluentes industriais, o arraste dos sólidos do reator para o efluente final se deve à alta produção de gás, enquanto que, no caso de efluentes domésticos, se deve à elevação momentânea da velocidade ascensional do esgoto. Isso porque o reator está submetido a um regime variável da vazão afluyente (que altera a velocidade ascensional do esgoto), em consequência das variações na geração de esgoto pela população que contribui para ETE (CHERNICHARO, C. A. L., 2007, no livro, *Reatores anaeróbios*). Nos momentos de pico (chamados de “choques hidráulicos”), a vazão afluyente pode superar a vazão média de projeto do reator em até 80% (ou mais, dependendo da localidade). Como consequência, a velocidade ascensional do esgoto se eleva, propiciando o arraste dos sólidos para região de decantação, e para o efluente final. A título de comparação, a velocidade ascensional média de projeto do esgoto na zona de digestão é da ordem de 0,70 m/h, se elevando para 1,10 m/h, quando da ocorrência da vazão máxima de pico. O problema se agrava nas chamadas “aberturas de passagem para o decantador” (espaço entre duas coifas vizinhas) que interligam a zona de digestão com a zona de decantação, que pode ser considerado o ponto crítico do reator. Isso porque essas passagens são estranguladas, e a velocidade do esgoto neste ponto região é da ordem de 2,50 m/h para vazão média, atingindo o valor de 4,00 m/h quando da ocorrência da vazão máxima de pico. Fazendo-se um comparativo, a velocidade nas aberturas de passagem para o decantador, nos momentos de operação com vazão máxima (4,00 m/h), supera àquela na zona de digestão (1,10 m/h) em 360%. Assim, é pouco provável que o lodo, que eventualmente tenha sido arrastado pelo fluxo até a zona de decantação consiga retornar ao fundo do reator, sendo mais provável que o mesmo seja descarregado com o efluente final.

O problema é de grande importância econômica e ambiental, visto que o efluente do reator UASB não é capaz de atender aos padrões de lançamento.

E, neste caso, uma grande quantidade de recursos vem sendo alocados na construção de etapas de pós-tratamento, que são capazes apenas dar um polimento no efluente dos reatores UASB, deixando de cumprir seu verdadeiro papel de remoção de nutrientes, garantindo a proteção dos corpos de água contra a eutrofização.

Vantagens da invenção

[06] Diante dos problemas evidenciados no estado da técnica, e ainda que inovações tecnológicas tenham sido desenvolvidas para solução dos mesmos, ainda hoje, é a versão original do reator UASB (concebida nos anos 70) que apresenta maior aplicabilidade para tratamento de esgoto doméstico no mundo. Isso porque a demanda do mercado de tratamento de esgoto é por um reator configurado para solucionar de forma eficiente estes três problemas, mantendo-se suas vantagens econômicas.

[07] O reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket) foi desenvolvido e testado na década de 70, pelo grupo de pesquisadores holandeses liderados pelo professor Gatzke Lettinga, no tratamento de efluentes industriais solúveis (cuja matéria orgânica apresenta-se totalmente dissolvida e de fácil assimilação pelos microrganismos), como indústrias de açúcar, cervejarias, entre outras. (LETTINGA, G.; VAN VELSEN, A.F.M.; HOBMA, S.W.; DE ZEEUW, W.; KLAPWIJK, A. 1980, no artigo “Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment”). O funcionamento do reator se baseia na passagem do esgoto em fluxo ascendente por um leito concentrado de microrganismos, agregados na forma de grânulos com elevada sedimentabilidade (situado junto ao fundo, na região denominada de zona de digestão), que são responsáveis por promover a degradação da matéria orgânica por via anaeróbia. Como resultado tem-se a formação do biogás (sendo 70% constituído de metano - gás combustível e reutilizável) e novas células microbianas que constitui o lodo biológico anaeróbio.

As três fases (sólido-líquido-gás) são separadas no reator pelo elemento denominado "separador trifásico" (elemento que tem o formato de uma "coifa"), o qual se localiza na parte superior do reator e o divide em duas zonas de separação, uma, sólido-líquido (parte externa do separador), e a outra, gás-líquido (interior do separador). O biogás produzido na zona de digestão segue em fluxo ascensional, para ser coletado na parte interna da coifa, enquanto que o esgoto segue em fluxo ascensional para parte externa da mesma, onde, sem a presença da turbulência promovida pelas bolhas de gás, os grânulos encontram condições de se separar da fase líquida por decantação e retornar ao fundo do reator; em seguida, o esgoto tratado é coletado por calhas posicionadas na parte mais alta da zona de decantação.

[08] Os bons resultados observados motivaram sua aplicação para outros tipos águas residuárias complexas (como os efluentes de matadouros, laticínios, esgotos domésticos, entre outros), sendo assim denominadas por apresentar boa parte da matéria orgânica na forma particulada, altos teores a gorduras, compostos inibidores, entre outros componentes. Para estes tipos águas residuárias, porém, os reatores UASB defrontaram-se com limitações tais como: a formação de biomassa de pobre sedimentabilidade (lodo não granular, ou floculento); a hidrólise como etapa limitante do processo e o acúmulo de sólidos suspensos do afluente no lodo; a redução da atividade biológica dos microrganismos, a baixa produção de biogás, a perda de sólidos e o acúmulo de espuma no separador trifásico (KALOGO & VERSTRAETE, 1999, no artigo "*Development of anaerobic sludge bed (ASB) reactor Technologies for domestic wastewater treatment: motives and perspectives*").

[09] A aplicação mundial dos reatores UASB para tratamento de esgoto doméstico ocorreu na metade da década de 80, a partir dos estudos realizados em Cali na Colômbia e, posteriormente no Brasil, pelas Companhias de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Os resultados promissores observados nos estudos iniciais levaram à rápida difusão da tecnologia e, devido aos seus baixos custos de implantação, operação e manutenção, os reatores UASB encontraram grande aplicabilidade para tratamento de esgoto doméstico nos países em desenvolvimento (CHERNICHARO, C. A. L., 2007, no livro, *Reatores anaeróbios*).

[010] No que diz respeito aos avanços tecnológicos, muitas concepções modificadas ou adaptadas de reatores UASB foram desenvolvidas no tratamento de efluentes industriais complexos. De acordo com estudo de mercado apresentado por VAN LIER, 2008, no artigo "*High-rate anaerobic wastewater treatment: diversifying from end-of-the-pipe treatment to resource-oriented conversion techniques*", nas duas últimas décadas se observa um declínio acentuado no número de reatores UASB implantados no setor industrial, e um aumento significativo no número de reatores EGSB (EP1806324) e IC (US7226539). Por outro lado, o mesmo não se pode dizer no campo do tratamento de águas residuárias domésticas. Embora inovações tecnológicas tenham sido desenvolvidas para este fim, ainda hoje, é a versão original do reator UASB (concebida nos anos 70) que apresenta maior aplicabilidade no tratamento de esgoto doméstico no mundo. Entre as patentes relacionadas à presente invenção, destacam-se as patentes chinesas CN203833701 e CN2652923 (Y), e a patente brasileira PI 0805736-2.

[011] A patente CN203833701, intitulada "*Improved UASB (upflow anaerobic sludge blanket) anaerobic reactor*", apresenta uma concepção de reator caracterizado por possuir tubos verticais que estão conectados ao tudo de distribuição de esgoto na sua extremidade inferior, dotados de aberturas em formato de tulipa na extremidade superior, que estão posicionadas na superfície do líquido na zona de decantação; placas defletoras ao longo da sua altura; tubo de distribuição de esgoto com extremidade final divergente; e um separador trifásico na parte superior.

O modelo, assim caracterizado, realiza a sucção da espuma acumulada na superfície do decantador para o fundo do reator, em consequência de pressões negativas que são geradas nos tubos verticais, durante a passagem do esgoto em alta velocidade pelos tubos horizontais de distribuição, solucionando o problema técnico da espuma no decantador.

[012] A patente CN2652923 (Y), intitulada "*Mechanical stirring UASB reactor*", refere-se a um reator UASB, caracterizado por possuir uma zona de reação inferior; uma zona de reação superior; grelha; misturador mecânico, separador trifásico; e defletores, dotados de tubos na sua porção superior que enviam a espuma para o separador. O reator, assim caracterizado, apresenta as seguintes vantagens em relação ao estado da técnica: o controle do grau de mistura (ou gradiente de mistura), devido à presença do misturador mecânico; redução do tempo de partida do sistema, devido à presença do misturador mecânico, que permite intensificar a mistura nessa região acelerando o crescimento dos microrganismos; granulação do lodo, que só ocorre com agitação adequada proporcionada pelo misturador; operação com elevadas cargas orgânicas, devido a maior atividade do lodo granular, facilidade de controle e automação do funcionamento.

[013] A patente PI 0805736-2 intitulada "*Reator UASB com duplo estágio de coleta de biogás*", refere-se a um reator UASB caracterizado por possuir um coletor de gases posicionado próximo ao fundo do reator (ou coletor de primeiro estágio); e por incorporar orifícios que ligam o interior do separador trifásico com a zona de decantação no separador trifásico (ou de segundo estágio), que está posicionado na parte superior do reator. O modelo, assim caracterizado, propõe solucionar o problema técnico da espuma no separador trifásico, de duas formas distintas: pela saída para o decantador e pela degradação anaeróbia.

Tal efeito é proporcionado pelo coletor de gases de primeiro estágio, que concentra o fluxo gasoso no fundo do reator, proporcionando o efeito *air-lift*, que succiona uma parte do fluxo líquido e da biomassa para o seu interior, elevando a mistura gás-líquido-sólido até o interior do separador trifásico, com alta velocidade, provocando uma agitação suficiente para desagregar a camada de espuma. A espuma desagregada pode sair para região de decantação, pelos orifícios existentes no separador trifásico superior, enquanto que a espuma remanescente pode ser degradada pela biomassa elevada do fundo do reator. Assim, esses efeitos combinados proporcionam um efetivo controle da espuma no separador trifásico.

[014] A presente invenção, por sua vez, trata de um reator UASB caracterizado por possuir um separador trifásico conjugado por um elemento em forma de funil; por elementos de conexão da zona de digestão com a zona de decantação, que estão acoplados na sua extremidade inferior do funil; e por um elemento que em forma de chapéu que sobrepondo o funil. Comparando-se a presente invenção, assim caracterizada, com as patentes existentes no estado da técnica, é possível constatar que a mesma constitui uma contribuição original, apesar de guardar similaridades com as patentes apresentadas quanto aos problemas que soluciona.

[015] Quando comparada a patente CN203833701, a presente invenção é mais vantajosa por solucionar o problema da espuma do separador trifásico e não do decantador, além do fato de não possuir elementos extras que aumentam os custos de construção, tais como os tubos verticais, e as placas defletoras.

[016] A patente CN2652923 (Y) é tomada a título de comparação quanto ao separador trifásico existente na presente invenção.

Isso porque, de acordo com o relatório descritivo, esse dispositivo é composto de duas camadas de coletores (superior e inferior), em forma de guarda-chuva, e apresenta tubos que partem da porção superior dos coletores inferiores, que tem por objetivo impedir que espuma se acumule nessa região, sendo encaminhada para o conjunto de coletores superiores. Ressaltando que no relatório descritivo da patente CN2652923 (Y), o separador superior não possui mecanismos para evitar a acumulação de espuma na sua parte interna (que é o problema da técnica), não sendo, a solução desse problema, uma de suas reivindicações; ficando evidente a originalidade da presente invenção.

[017] Finalmente, na patente PI 0805736-2 o efeito técnico que soluciona o problema da espuma no separador é alcançado com a presença de coletores de gases, com funções distintas. O coletor próximo ao fundo do reator promove o efeito *air-lift* para que a mistura sólido-líquido-gás promova a desagregação da espuma, permitindo sua saída para o decantador, e/ou a sua degradação no separador superior. Este, por sua vez, possui orifícios na periferia do compartimento de gases para que a espuma possa sair para zona de decantação. A espuma remanescente pode ser degradada pela biomassa elevada do leito. Na presente invenção, a espuma também é encaminhada para zona de decantação, porém sem a necessidade de um coletor de gás no fundo do reator, pois a mesma consegue esse resultado sem o Efeito *air-lift*, mas com o Efeito Venturi. Cumprindo ressaltar que a patente PI 0805736-2 não solucionaria o problema da espuma sem o Efeito *air-lift* que é a força motriz do transporte da espuma do separador para o decantador. Ou seja, sem a presença do coletor de primeiro estágio. Portanto, a presente invenção é diferente da PI 0805736-2, e mais vantajosa, porque não necessita de dois coletores de gás para solucionar o problema, o que aumenta sobremaneira os custos de construção, além de solucionar outros problemas do estado da técnica que a patente PI 0805736-2 não soluciona.

[018] Visando solucionar os problemas do estado da técnica foi desenvolvido um único dispositivo capaz de abranger os três aspectos já explicados.

Este dispositivo refere-se a um reator UASB dotado de um separador de fases conjugado por três elementos, que permite que o fluxo do esgoto ocorra pelo interior do separador de fases e, aliado ao Efeito Venturi ocasionado pela geometria do dispositivo, proporciona a remoção contínua da espuma dessa região, solucionando o problema. Desta forma, o reator com separador de fases conjugado tem como vantagens a menor demanda operacional na remoção de espuma e o menor risco da ocorrência dos problemas associados à sua acumulação no separador, apontados no estado da técnica. A solução desse problema técnico agrega ainda outras vantagens, uma vez que, com a menor acumulação de espuma no separador, as dimensões do compartimento de gás não ficam limitadas à manutenção de uma taxa mínima de liberação do biogás, como no caso de um reator UASB convencional, conferindo uma liberdade dimensional no projeto. Assim, o separador de fases conjugado da presente invenção pode ser projetado com um compartimento de gases de maiores dimensões, conferindo também maior liberdade dimensional no projeto de escotilhas de acesso ao separador e, conseqüentemente, melhores condições de inspeção, limpeza, manutenção e execução de reparos na parte interna do separador, devido à maior acessibilidade para operadores, máquinas e equipamentos (com o projeto de acessos de maiores dimensões).

[019] A passagem do fluxo do esgoto pelo interior do separador de fases conjugado, aliado ao Efeito Venturi, proporciona uma agitação na interface de separação gás-líquido, junto ao compartimento de gás, e o desprendimento dos gases dissolvidos na fase líquida para fase gasosa, solucionando esse problema do estado da técnica. Isso confere ao reator com separador de fases conjugado maior recuperação de energia reutilizável, proveniente do metano, e menor geração de odores que seriam gerados com o escape do sulfeto.

[020] Outra vantagem do separador trifásico conjugado é a existência de duas aberturas de passagens do esgoto para o decantador.

Além disso, confere uma maior área disponível resultando em menores velocidades nessa região (comparada àquelas observadas no reator UASB convencional), tanto para vazão média, quanto para vazão máxima de pico, solucionando, assim, o problema da perda excessiva de sólidos durante os choques hidráulicos. Como resultado, o reator separador trifásico conjugado é capaz de produzir um efluente de melhor qualidade, com menores teores de sólidos, causando menores impactos nas etapas de pós-tratamento subsequentes. A presente invenção tem ainda a vantagem de não precisar ser equipada com defletores de gás, uma vez que os separadores trifásicos estão unidos na sua extremidade inferior, impossibilitando que haja perda de gases para o decantador, que segue integralmente para o separador, sem a necessidade dos defletores para direcioná-los.

[021] Finalmente, além de resolver os três principais problemas do estado da técnica com um único dispositivo, o reator com separador de fases conjugado não implica em acréscimos nos custos de construção, além de proporcionar a redução de custos operacionais associados à remoção de espuma, e também dos custos energéticos, devido à maior quantidade de gás recuperada para reuso. Ainda, os menores teores de sólidos no efluente permitem que as etapas de pós-tratamento possam cumprir o papel da remoção de nutrientes, o que não é possível no estado da técnica. Tais características conferem à invenção os requisitos propícios à sua industrialização.

[022] Para um melhor entendimento da invenção são apresentadas as Figuras 3 e 4 em anexo, nas quais:

A Figura 3 apresenta um reator UASB convencional;

A Figura 4 apresenta um reator UASB com separador trifásico conjugado.

[023] O reator UASB convencional (3-1) é composto por tubos que fazem a distribuição do esgoto (3-2) na sua parte inferior, na zona de digestão (3-3), onde estão presentes os microrganismos anaeróbios responsáveis pelo tratamento.

Na sua porção superior, o reator possui um dispositivo de separação de fases, denominado separador trifásico (3-4), responsável pelos processos de separação gás-líquido, na sua parte interna, e sólido-líquido, na sua parte externa, denominada de região de decantação (3-5). Estes separadores trifásicos (4) estão dispostos com um determinado espaçamento lateral entre si, denominado de abertura de passagem para o decantador (3-6), que permitem a passagem do esgoto para zona de decantação (3-5). Imediatamente abaixo das aberturas de passagem para o decantador (3-6), o reator possui defletores (3-7), que são responsáveis por direcionar o biogás vindo da zona de digestão (3-3), para a parte interna do separador trifásico (3-4), e impedir sua entrada na zona de decantação (3-5). Na porção superior do separador trifásico (3-4), na região denominada de compartimento de gases (8), o reator possui calhas para remoção da espuma (3-9) que se acumula neste ponto e, acima deste, tubulações de transporte do biogás coletado (3-10). Na extremidade final da zona de decantação o reator possui calhas para coleta do esgoto tratado (3-11).

[024] O reator UASB com separador trifásico conjugado (4-1) possui tubos que fazem a distribuição do esgoto (4-2) na sua parte inferior, na zona de digestão (3), onde estão presentes os microrganismos anaeróbios responsáveis pelo tratamento, como no reator UASB convencional. Na sua porção superior, o reator possui um dispositivo de separação de fases conjugado (4-4) que reúne três elementos distintos, denominados: funil (4-4.1), chapéu (4.2) e conector (4-4.3). O componente do separador conjugado com formato de funil (4-4.1) é um dispositivo responsável por receber o esgoto e o biogás do compartimento de digestão pela sua extremidade inferior e transferi-los para o interior do chapéu (4-4.2). Este elemento com formato de chapéu, por sua vez, é um dispositivo, que fica posicionado acima do funil (4-4.1), e que tem a função de coletar o biogás da fase líquida e direcionar o esgoto para a parte mais baixa da zona de decantação, com o auxílio de suas abas laterais (4-4.2).

Estes dois dispositivos conjugados produzem o “Efeito Venturi” na região delimitada pelo funil (4-4.1) e o chapéu (4-4.2), gerando pressões negativas que succionam o esgoto que, por sua vez, transporta a espuma dessa região para zona de decantação (4-5); além disso, esse efeito produz um gradiente de mistura no interior do chapéu (4-4.2) e o desprendimento dos gases dissolvidos na fase líquida para fase gasosa. O separador conjugado possui ainda o elemento denominado conector (4-4.3), que interliga a zona de digestão (4-3) com a região de decantação (4-5). Esse dispositivo pode ter diferentes formatos desde que possua uma curvatura (a exemplo de tubos, funis, ou conexões) suficiente para impedir a entrada do biogás pelas suas aberturas (4-6) e o seu escape para zona de decantação (4-5). Tal dispositivo permite a passagem do esgoto para o decantador (4-5) e o retorno dos sólidos sedimentados nessa região para zona de digestão (4-3). Assim, o reator com separador conjugado possui duas passagens do esgoto para o decantador, sendo uma delas, por esses conectores (4-4.3), e a outra, no chapéu do separador, na sua extremidade final (4-13), o que reduz a velocidade de passagem do esgoto, propiciando menor arraste de sólidos. O chapéu do separador conjugado (4-4.2) acomoda o compartimento de gases (4-8), de onde o gás segue para tubulações de transporte (4-10), e uma calha de retirada de espuma (4-9) como dispositivo auxiliar. Na extremidade final da zona de decantação o reator com separador conjugado possui calhas para coleta do esgoto tratado (4-11).

[025] Os resultados funcionais da presente invenção, medidos durante 288 dias de funcionamento contínuo tratando de esgoto doméstico, podem ser mais claramente explicados, de forma não-restrita ou limitante, através do exemplo a seguir.

EXEMPLO 1

Foram realizados testes comparativos do desempenho da presente invenção (Inv.) com um UASB convencional (RC), em escala de semidemonstração, no tratamento de esgoto doméstico bruto da cidade de Ouro Branco – MG, quanto à acumulação de espuma no compartimento de gases. O gráfico da figura 1 apresenta os resultados medidos para espessura da camada de espuma nos reatores.

EXEMPLO 2

[026] O exemplo, representado pelo gráfico na figura 2 apresenta os resultados de testes realizados, comparando o desempenho da presente invenção com um reator UASB convencional (RC), em escala de semidemonstração, no tratamento de esgoto doméstico bruto, quanto à quantidade de biogás recuperado.

EXEMPLO 3

[027] O exemplo apresenta os resultados de testes realizados, comparado o desempenho da presente invenção com um UASB convencional (RC), em escala semidemonstração, no tratamento de esgoto doméstico bruto, quanto às concentrações de sólidos suspensos perdidos no efluente. A tabela abaixo apresenta os resultados das concentrações de sólidos suspensos totais (SST) no efluente tratado pelos reatores em mg/L.

Resultados estatísticos comparativos das concentrações de sólidos suspensos (SST) no efluente tratado pelos reatores:

Estatística Descritiva dos resultados			Estatística Analítica dos resultados	
Parâmetro	Inv.	RC	Informação	Valor
Nº (observações)	55	55	V	458,5
Máximo	253	333	P-valor	0,014627524
Mínimo	32	41	Hipótese Nula	Inv = RC
Média	100	119	Método	Wilcoxon Pareado
1º Quartil	72	69	(Pseudo) Mediana	-10,50002671
Mediana	94	104	Intervalo de Confiança	95%
3º Quartil	118	131	Limite Inferior	-21,0000406
Desvio Padrão	46,18	72,21	Limite Superior	-1,999975417
Coefficiente de Variação	45,9%	60,4%	Significância	5%
			Resultados estatisticamente diferentes: Inv. ≠ RC	

REIVINDICAÇÃO

1. Reator UASB com separador trifásico, caracterizado por possuir o conjugado (4-1), o qual possui tubos que fazem a distribuição do esgoto (4-2) na sua parte inferior, na zona de digestão (3); possui, na sua porção superior, um dispositivo de separação de fases conjugado (4-4) que reúne três elementos distintos, denominados funil (4-4.1), chapéu (4.2) e conector (4-4.3); o componente do separador conjugado com formato de funil (4-4.1), que é o dispositivo responsável por receber o esgoto e o biogás do compartimento de digestão pela sua extremidade inferior e transferi-los para o interior do chapéu (4-4.2); o elemento com formato de chapéu, que é um dispositivo que fica posicionado acima do funil (4-4.1) e que tem a função de coletar o biogás da fase líquida e direcionar o esgoto para a parte mais baixa da zona de decantação, com o auxílio de suas abas laterais (4-4.2); sendo os dois dispositivos conjugados responsáveis por produzirem o "Efeito Venturi" na região delimitada pelo funil (4-4.1) e o chapéu (4-4.2), gerando pressões negativas que succionam o esgoto que, por sua vez, transporta a espuma dessa região para zona de decantação (4-5); o separador conjugado possui, ainda, o elemento denominado conector (4-4.3), que interliga a zona de digestão (4-3) com a região de decantação (4-5), podendo ter diferentes formatos, desde que possua uma curvatura suficiente para impedir a entrada do biogás pelas suas aberturas (4-6) e permitir a passagem do esgoto para o decantador (4-5) e o retorno dos sólidos sedimentados nessa região para zona de digestão (4-3); o reator com separador conjugado possui duas passagens do esgoto para o decantador, sendo uma delas, por esses conectores (4-4.3), e a outra, no chapéu do separador, na sua extremidade final (4-13); o chapéu do separador conjugado (4-4.2) acomoda o compartimento de gases (4-8), de onde o gás segue para tubulações de transporte (4-10), e uma calha de retirada de espuma (4-9) como dispositivo auxiliar; na sua extremidade final da zona de decantação o reator com separador conjugado possui calhas para coleta do esgoto tratado (4-11).

FIGURAS

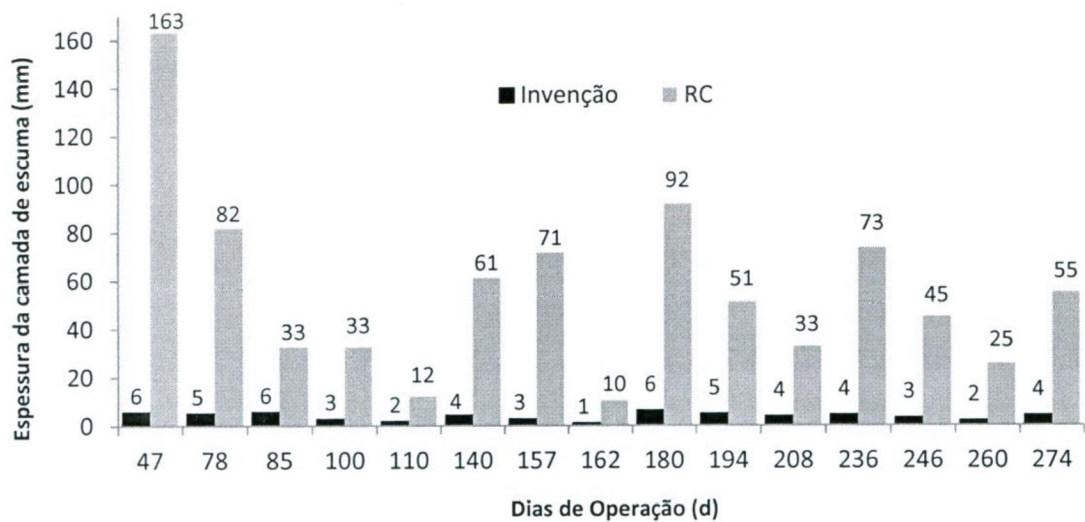


Figura 1

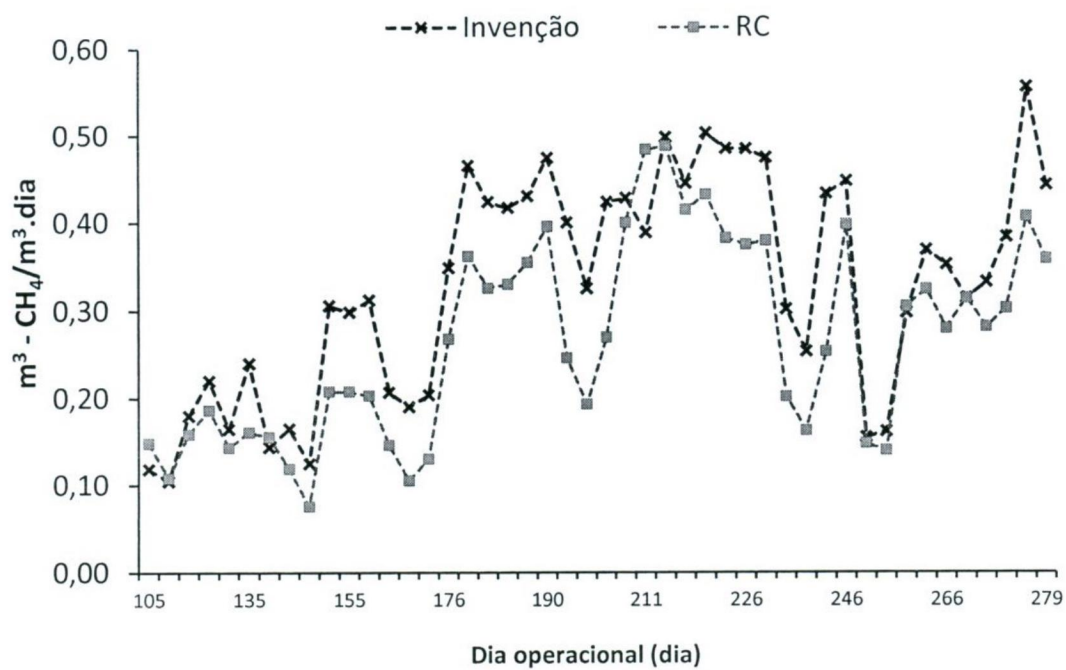


Figura 2

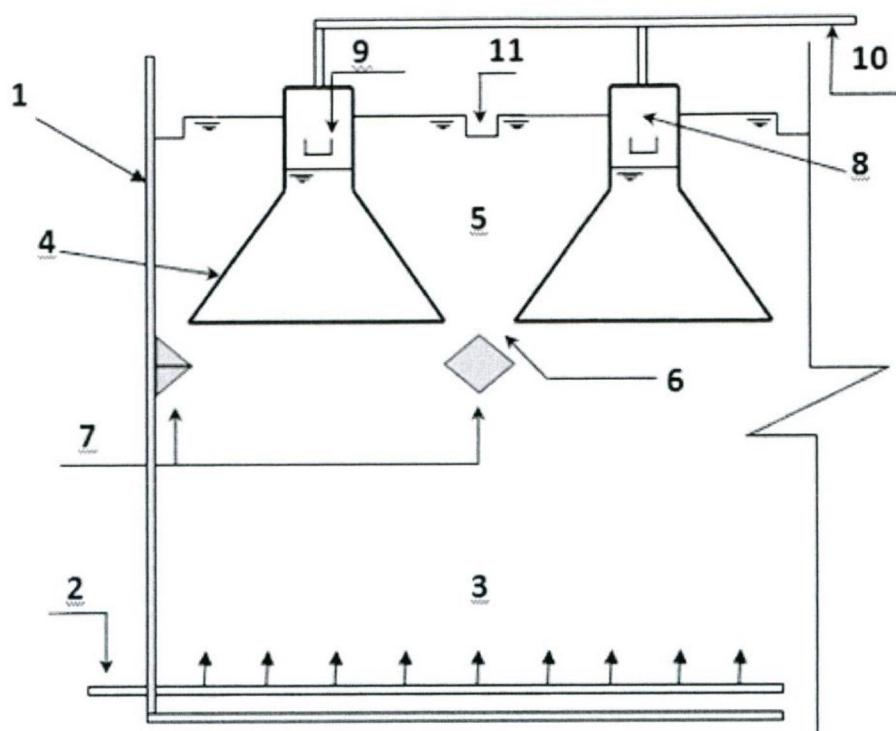


Figura 3

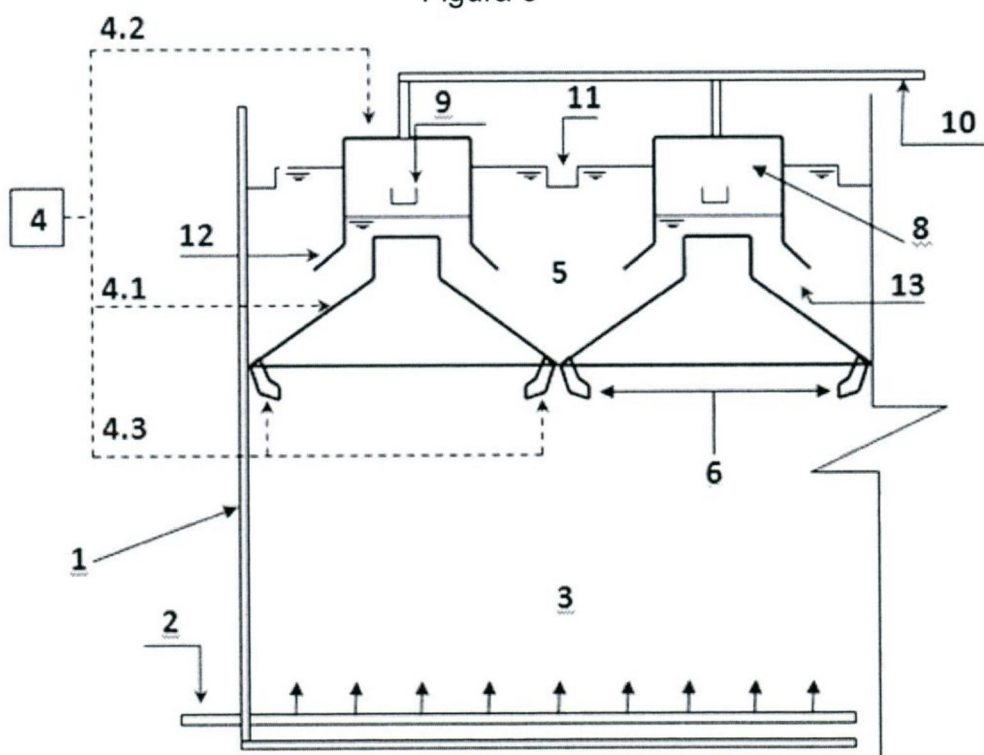


Figura 4