

Aplicação de espumas cerâmicas produzidas via “gelcasting” em biorreator para tratamento anaeróbio de águas residuárias

(Use of ceramic foams produced via gelcasting in bioreactor for anaerobic treatment of wastewater)

F. S. Ortega¹, K. M. Rocha², M. Zaiat², V. C. Pandolfelli¹

¹Universidade Federal de S. Carlos, DEMA

Rod. Washington Luiz, km 235, C.P. 676, 13565-905, S. Carlos, SP
vicpando@power.ufscar.br

²Departamento de Hidráulica e Saneamento - EESC/USP

Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, S. Carlos, SP, 13566-590.

Resumo

O desenvolvimento da biotecnologia anaeróbia de tratamento de águas residuárias, resultou em novas configurações de biorreatores, nas quais uma importante característica é a existência de condições favoráveis à imobilização de biomassa ativa responsável pela degradação biológica de resíduos poluentes. Características como a resistência à degradação biológica e boa resistência mecânica associadas a uma estrutura celular fazem das espumas cerâmicas excelentes candidatas à fabricação de suportes para imobilização da biomassa. Neste trabalho, utilizou-se o processo “gelcasting” associado à aeração de uma suspensão para produzir suportes de espuma cerâmica. Foram utilizadas alumina e caulinita, materiais estes em que predominam cargas superficiais positiva e negativa, respectivamente, na faixa de pH 7, em que operam os reatores. Após a queima, as espumas foram caracterizadas quanto à densidade aparente e à permeabilidade, e em seguida submetidas a um ciclo de 35 dias em reator diferencial alimentado com esgoto sanitário sintético. Materiais como argila expandida e borracha de etileno-propileno (EPR) foram submetidos a ciclo similar e comparados aos materiais cerâmicos. Os resultados permitem avaliar as vantagens e desvantagens das espumas cerâmicas como suporte para a imobilização de microorganismos frente a outros materiais.

Palavras-chave: espuma cerâmica, gelcasting, tratamento, águas residuárias, reator anaeróbio, biofilme.

Abstract

The development of anaerobic biotechnology for treatment of wastewater has led to new configurations of bioreactors, which have as an important feature the establishment of favorable conditions for the fixation of biomass that will degrade organic material present in wastewaters. Characteristics such as high resistance to biological degradation and high mechanical strength, coupled to cellular structure make ceramic foams an excellent option for the production of supports for biomass immobilization. In this work, the gelcasting process in association with the aeration of a ceramic suspension was used as a route to produce ceramic foam supports. Alumina and caulinite, which are materials that have, respectively, positive and negative surface charges at the pH range used in bioreactors, were used as raw materials. After sintering, the foams had their porosity and permeability characterized, and then were submitted to a cycle of 35 days in a differential reactor, fed with synthetic domestic wastewater. Other materials, like expanded clay and ethylene-propylene rubber (EPR) were also submitted to the same tests for the purpose of comparison. Results allowed the evaluation of advantages and disadvantages of ceramic foams as supports for the immobilization of microorganisms in comparison to other materials.

Keywords: ceramic foam, gelcasting, wastewater, anaerobic reactor, biofilm.

INTRODUÇÃO

O processo de tratamento anaeróbio de esgotos encontra-se atualmente bastante desenvolvido, permitindo o tratamento de uma larga variedade de efluentes industriais e domésticos. Uma das maiores contribuições para essa evolução foi o desenvolvimento da

imobilização celular [1], a qual foi decorrente de um melhor entendimento do processo biológico dentro dos reatores, e particularmente dos mecanismos que permitem a retenção de biomassa ativa dentro das unidades de tratamento. Assim, a existência de condições favoráveis para a imobilização de biomassa ativa no interior do reator tem recebido grande atenção no projeto de biorreatores

anaeróbios. A utilização de suportes capazes de imobilizar a biomassa ativa permite aumentar o tempo médio de permanência desta no interior dos reatores, favorecendo o regime de operação contínua e proporcionando sistemas mais estáveis, controláveis e com elevada eficiência de degradação.

Um dos fatores que merece maior atenção no projeto de biorreatores é a velocidade de partida, a qual pode ser fortemente influenciada pelo tipo de suporte. Fatores como rugosidade, porosidade e tamanho dos poros afetam a velocidade de colonização microbiana no suporte. Sabe-se que o uso de suportes porosos favorece o crescimento do biofilme, reduzindo o tempo de partida do reator [2]. Além da porosidade, a adesão de microrganismos anaeróbios em suportes inertes é influenciada pelas características da superfície dos microrganismos e do suporte, de modo que superfícies hidrófobas favorecem a adesão de microrganismos hidrófobos, enquanto superfícies hidrófilas favorecem a adesão de microrganismos hidrófilos.[3] A forte adesão de alguns microrganismos à superfície das matrizes-suporte, deve-se provavelmente às forças de van der Waals e da interação entre a dupla camada elétrica das células e a superfície interna do meio suporte. Além destas, forças de caráter coloidal (hidrofóbicas/hidrofílicas) e até mesmo ligações iônicas podem resultar em interações atrativas. No entanto, há ainda uma grande necessidade de se analisar a influência da carga superficial das matrizes suportes na imobilização de células.

Dentre os suportes para imobilização de células que têm sido testados e usados em diferentes reatores para o tratamento anaeróbio de esgotos pode-se relacionar: cerâmica porosa [4, 5], espuma de poliuretana [6], carvão granulado, alguns tipos de plásticos, esferas de vidro, etc. Estudos enfocando a aderência de microrganismos metanogênicos a diferentes tipos de suporte [5] demonstraram que suportes cerâmicos porosos são superiores aos poliméricos e que os suportes cerâmicos com macro poros de 10 µm foram particularmente efetivos na imobilização de microrganismos.

A grande amplitude de questões a serem respondidas sobre biofilme conduz ao desenvolvimento de pesquisas em diversas áreas, buscando-se uma melhor compreensão da potencialidade de adesão dos microrganismos sobre determinados suportes, da composição, e da seqüência do processo de formação da biomassa, passos estes fundamentais para a otimização de reatores anaeróbios.

Recentemente, a associação do processo “gelcasting” com a aeração de suspensões cerâmicas resultou no surgimento de uma nova classe de espumas cerâmicas com alta porosidade, constituídas de uma estrutura celular de poros esféricos interconectados [7]. Este material reúne vantagens das espumas de poliuretana, como alta porosidade e alta permeabilidade, associadas às características de materiais cerâmicos, tais como alta resistência mecânica, cargas superficiais e alta resistência à degradação biológica, o que as tornam excelentes candidatas ao uso como suporte para imobilização de biomassa.

Dentro deste contexto, este trabalho procura avaliar a potencialidade de materiais cerâmicos porosos em imobilizar biomassa anaeróbia, enfatizando a influência da carga superficial no processo de formação do biofilme. Tem ainda como objetivo relacionar a composição microbiológica do biofilme anaeróbio com o tipo de material suporte. Para isso, os materiais: argila expandida, borracha de etileno-propileno (EPR) e espumas cerâmicas de alumina e de caulinita, as quais apresentam carga superficial respectivamente positiva e negativa, foram comparados quanto à capacidade de

retenção da biomassa anaeróbia. Foram utilizados vários reatores diferenciais preenchidos com suporte inerte contendo lodo anaeróbio imobilizado, e alimentados com esgoto sintético.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente procedeu-se à medida do potencial zeta das matérias-primas utilizadas como suportes cerâmicos na faixa de pH $7,0 \pm 0,4$ em que opera o biorreator. Foram utilizadas uma alumina calcinada (A-1000 SG, Alcoa), um caulim (Caulim Amazônia), uma argila expandida e uma borracha de etileno-propileno. O procedimento de preparação foi o mesmo para todas as amostras: as amostras sólidas foram inicialmente trituradas e passadas em peneira com malha 325 mesh. Em seguida foram pesadas duas amostras de 0,025 g de cada material, as quais foram colocadas em dois balões volumétricos de 100 mL, sendo que um deles foi completado com água deionizada e o outro com o esgoto sintético. As suspensões foram agitadas manualmente durante aproximadamente 2 minutos, após o que checkou-se o pH, verificando se ele se encontrava dentro da faixa de operação do reator ($7,0 \pm 0,4$) e então procedeu-se à medida do potencial zeta no aparelho Malvern Metazizer.

A preparação de amostras de espuma cerâmica para a imobilização de bactérias seguiu o seguinte procedimento: preparou-se uma suspensão contendo 35% vol. de pó (alumina calcinada ou caulim) dispersa em uma solução aquosa contendo 25% em peso de monômeros à base de acrilato de amônio e metileno-bisacrilamida (Ciba). Esta foi defloculada com poliácrlato de amônio (Dispex A-40, MW = 10.000 g / mol, Ciba) e em seguida desaglomerada em moinho de bolas durante 20 minutos. Foram separadas alíquotas de 150 g de suspensão, às quais foram adicionados 0,4 g de um surfactante não-iônico (Lutensol ON-110, produzido pela Clariant), e 0,3 mL de um catalisador (tetrametiletlenodiamina). Estas alíquotas foram, em seguida, submetidas a agitação durante 3 minutos em uma bateadeira doméstica para a produção de espuma, e ao fim deste período foi adicionado 0,1 mL de iniciador (solução aquosa 2:1 de persulfato de amônio). A composição e o procedimento empregados nesta etapa foram baseados em estudo anterior que abordou a relação entre concentração e tipo de surfactante sobre variáveis como densidade e permeabilidade de corpos obtidos através desta técnica. [8] Após homogeneização, a espuma foi vertida em um molde de alumínio com dimensões de 17,0 x 9,1 x 2,7 cm³, onde ocorreu a gelificação. Os corpos obtidos foram secos em temperatura ambiente durante 72 horas, e em seguida queimados em 1650 °C durante 3 horas, no caso da alumina, ou 1450 °C durante 2 horas, no caso da caulinita. Durante o aquecimento, foi feito um patamar de 3 horas a 350 °C, para a eliminação do material orgânico. O corpo obtido foi cortado em cubos com aresta de 5 mm, os quais foram utilizados no reator diferencial. Separou-se uma parcela do material, a qual foi caracterizada quanto à densidade aparente e porosidade aparente pelo método de imersão de Arquimedes, permeabilidade de acordo com o modelo de Forcheimer [9], e distribuição de tamanho de célula por porosimetria de mercúrio. Foram feitas ainda imagens em microscópio eletrônico de varredura, para avaliação e análise da macroestrutura obtida.

Para se avaliar a colonização dos suportes, procedeu-se ao seguinte experimento: os materiais a serem avaliados (argila expandida, borracha de etileno – propileno, a espuma de poliuretana, e espumas cerâmicas de alumina e de caulinita) foram cortados em cubos com aresta de 5 mm, com exceção da argila expandida, que foi separada

em uma granulometria compatível. Foram utilizados sete reatores diferenciais horizontais com 10 mL de volume e 1,5 cm de comprimento, os quais foram preenchidos com um dos tipos de suporte contendo lodo anaeróbio imobilizado, e submetidos a ciclos de até 45 dias. Cada ciclo constituiu-se da alimentação dos reatores em circuito fechado com 300 mL esgoto sintético, preparado com composição similar à do esgoto sanitário, baseada na composição definida em [10]. O reservatório de esgoto, bem como o dispositivo de bombeamento, foram mantidos a 5 °C em um recipiente sob agitação para minimizar a ocorrência de reações bioquímicas fora do reator diferencial, enquanto que os reatores foram operados dentro de uma câmara com temperatura ajustada em 25 °C. A velocidade do fluxo nos reatores situou-se na faixa de: $0,045 \pm 0,005$ cm/s. O

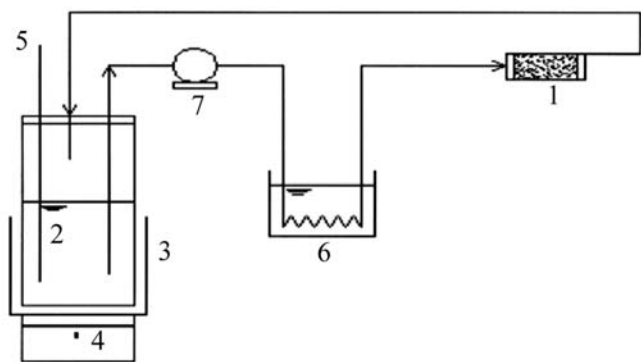


Figura 1: Visão esquemática do aparato utilizado no experimento de colonização dos diferentes suportes: (1) Reator Diferencial Horizontal, (2) Recipiente para Agitação, (3) Banho de Gelo, (4) Agitador Magnético, (5) Amostrador de Substrato, (6) Recipiente para Troca de Calor, (7) Bomba peristáltica.

[Figure 1: Sketch of the equipment used in the colonization of different supports experiment: (1) horizontal differential reactor, (2) stirring vessel, (3) ice bath, (4) magnetic stirrer, (5) substrate sampler, (6) heat exchange recipient, (7) peristaltic pump].

esquema das instalações experimentais é apresentado na Fig. 1.

Ao longo dos ciclos, os reatores foram sucessivamente retirados do circuito de circulação de esgoto em intervalos regulares de tempo, e os suportes neles contidos foram retirados para análises físicas e microbiológicas do biofilme formado. Foi analisado o teor de sólidos voláteis aderidos (SVA), as concentrações de sólidos suspensos voláteis (SSV) e de sólidos suspensos totais (SST), de acordo com técnicas do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” [11]. Considerou-se que os sólidos voláteis são uma medida da biomassa presente nos reatores.

As amostras foram também analisadas por MEV, sendo previamente preparadas segundo a técnica utilizada em [12] para biofilmes constituídos de bactérias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de potencial zeta na faixa de pH em que opera o biorreator ($7,0 \pm 0,4$) mostra que em contato com água deionizada as partículas de alumina apresentaram potencial zeta positivo (+44 meV), enquanto que as partículas de argila expandida e caulim apresentaram potencial zeta negativo, respectivamente -26 e -36 meV, como mostra a Tabela I. Entretanto, em presença do substrato (esgoto sintético) o

Tabela I - Potencial Zeta dos suportes utilizados para imobilização da biomassa

[Table I - Zeta potential for the substrates used for biomass immobilization.]

Suporte	Potencial Zeta em água deionizada (meV)	Potencial Zeta em meio utilizado como substrato (meV)
Argila	$-26,0 \pm 0,5$	$-61,0 \pm 3,0$
Espuma cerâmica de Alumina	$+44,0 \pm 3,0$	$-15,0 \pm 0,5$
Espuma cerâmica de Caulim	$-36,0 \pm 1,4$	$+3,0 \pm 0,8$

potencial zeta alterou-se sensivelmente, passando para -15 meV, -26 meV e +3 meV para a alumina, argila expandida e caulim, respectivamente.

Este resultado indica que o substrato contém substâncias que apresentam interações de alta afinidade com a superfície destes materiais, o que favorece a adsorção específica destas sobre as partículas, alterando o balanço de cargas superficiais positivas e negativas. Deve-se ressaltar que em todos os casos existem cargas superficiais positivas e negativas, sendo que o balanço entre o número de cargas de um ou de outro tipo é que determina o valor do potencial zeta. Isso significa que mesmo com um potencial zeta negativo, microorganismos com superfície negativa ainda podem encontrar alguns sítios positivos sobre a superfície do suporte, onde podem aderir. Entretanto, a barreira de repulsão eletrostática existente torna isso mais difícil, favorecendo a adsorção de microorganismos com superfície positiva. Esses resultados afetaram a biodiversidade das placas bacterianas, como será mostrado à frente. O potencial zeta dos suportes poliméricos não foi determinado devido a dificuldades

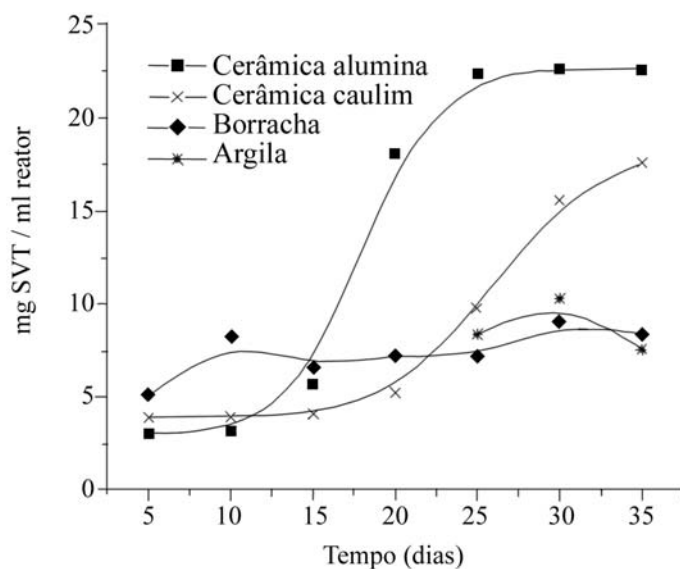


Figura 2: Evolução da biomassa desenvolvida sobre os diferentes suportes ao longo do tempo de operação do biorreator.

[Figure 2 : Evolution of biomass developed on different supports with time during the bioreactor operation.]

experimentais.

A evolução da concentração de sólidos voláteis totais aderidos nos reatores é mostrada na Fig. 2.

Percebe-se que a variação na massa de sólidos voláteis aderidos na argila e na borracha durante o ciclo foi pequena. Para estes tipos de suporte a quantidade de biofilme se estabiliza rapidamente, porém com baixos níveis de colonização. Os suportes cerâmicos, por outro lado, apresentaram alta taxa de crescimento, seguida, no caso da alumina, de estabilização na quantidade de biomassa aderida em um patamar elevado de colonização.

A dinâmica de colonização dos suportes parece apresentar uma relação direta com a porosidade e sobretudo com o tamanho dos poros. Na Tabela II estão algumas características físicas dos suportes que podem ser relacionadas com a dinâmica de colonização.

A espuma de alumina, que apresentou alta porosidade e alta permeabilidade e poros com tamanho médio na faixa de 80 μm , teve o melhor desempenho, apresentando excelente capacidade de imobilização biológica e alta velocidade de colonização. Já a espuma de caulim, apesar de ter apresentado uma curva crescente de retenção de biomassa, teve uma velocidade de colonização inferior à da espuma de alumina além de ter desenvolvido uma quantidade menor de biomassa aderida no período de duração do experimento. Este

resultado pode ser associado à menor porosidade, menor permeabilidade e menor tamanho de poros da espuma de caulim, os quais ficaram na faixa de 28 μm . Quanto à argila expandida e à borracha de EPR, apesar da alta porosidade do material, houve uma baixa taxa de colonização, atingindo um nível de retenção de biomassa inferior ao das espumas cerâmicas.

Observando-se as imagens obtidas por microscópio eletrônico de varredura, verifica-se que tanto os poros da borracha (Fig. 3-c) como os da argila expandida (Fig. 3-e) são fechados, o que impede o acesso dos microorganismos ao interior do suporte. De fato, a baixa permeabilidade da borracha de EPR confirma a estrutura de poros fechados deste material. A permeabilidade da argila expandida não pôde ser medida devido à dificuldade de se ter uma amostra representativa do material. Foi possível observar também que tanto na borracha quanto na argila expandida o biofilme se desenvolveu apenas na parte externa do suporte. A Fig. 3-e mostra um corte da argila expandida retirada no 15º dia de experimento, onde se observa que a placa bacteriana não se desenvolveu. Isso não ocorreu com as espumas cerâmicas, cuja estrutura constituída de poros abertos (Fig. 3-a) favoreceu a colonização também no interior do suporte.

As observações microscópicas também ressaltam a diversidade

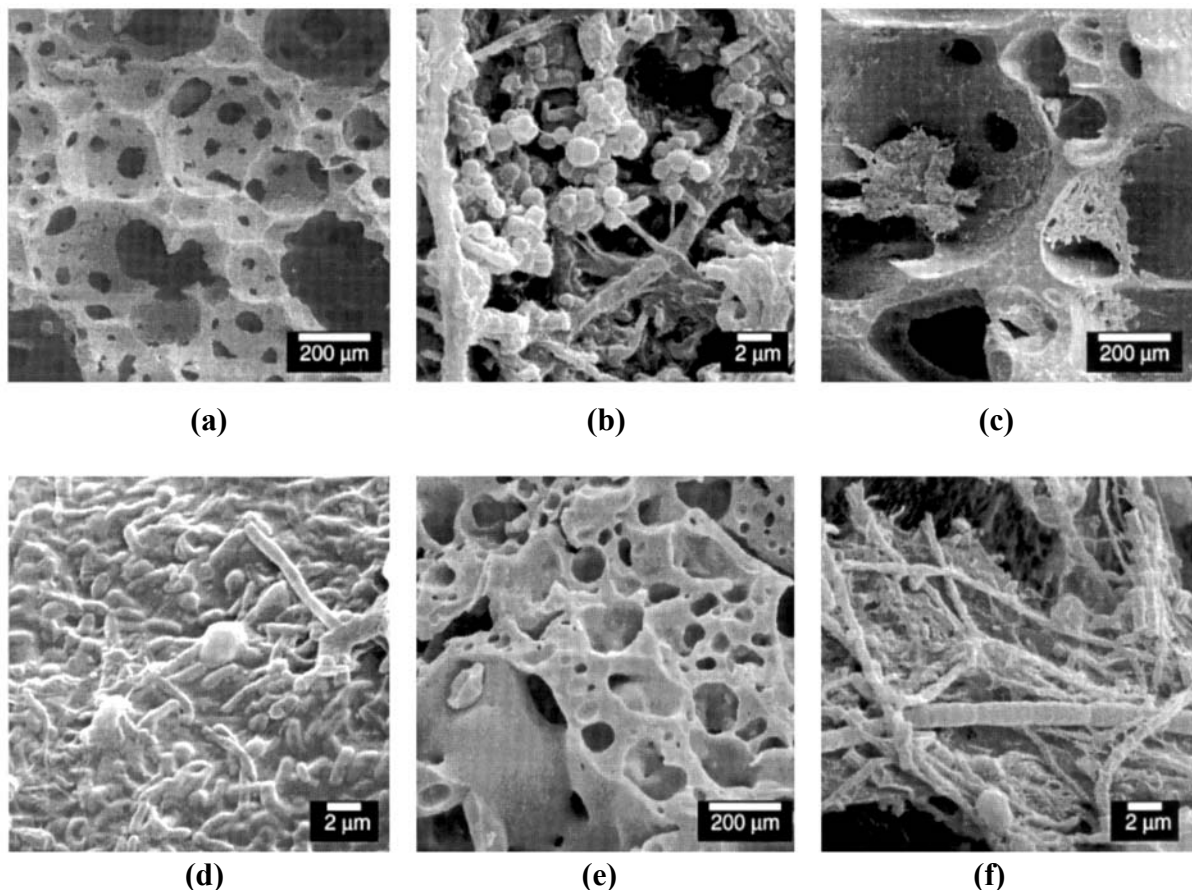


Figura 3: Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura mostrando os diversos estágios de colonização dos diferentes suportes: (a) espuma de alumina antes do experimento de colonização; (b) placa de bactérias desenvolvida sobre a espuma de alumina mostrando a grande diversidade de microorganismos; (c) placa de bactérias sobre a superfície da borracha de EPR; (d) visão ampliada da placa desenvolvida sobre a borracha de EPR, mostrando a grande biodiversidade; (e) interior da argila expandida, mostrando poros fechados e ausência de microorganismos; (f) placa bacteriana na superfície da argila expandida, mostrando o predomínio de bactérias filamentosas.

[Figure 3: SEM images showing some stages of colonization of different supports: (a) alumina foam before the colonization experiment; (b) bacterial slabs developed on the alumina foam, showing a great variety of microorganisms; (c) bacterial slab on the EPR rubber surface; (d) great biodiversity in bacterial slab developed on the EPR rubber surface; (e) closed pores inside the expanded clay, showing closed pores and the absence of microorganisms; (f) bacterial slab on the expanded clay surface, showing the predominance of filamentous bacteria.]

Tabela II – Características físicas dos suportes para imobilização de bactérias.

[Table II – Physical characterization for the substrates used for bacterial Immobilization.]

	Al ₂ O ₃	Caulim	Argila Expandida	Borracha
Densidade real (g/cm ³)	3,92	2,77	1,74	-
Densidade Aparente (g/cm ³)	0,456	1,56	1,06	-
Porosidade Aparente (%)	75,21	42,49	22,86	-
Ø _{médio} poro (µm)	84,73	28,00	0,19	-
Permeabilidade				
Darciana, k ₁ (m ²)	4,46×10 ⁻¹⁰	2,28×10 ⁻¹³	-	1,75×10 ⁻¹⁵
Permeabilidade				
não-Darciana, k ₂ (m)	1,51×10 ⁻⁰⁵	4,30×10 ⁻⁰⁹	-	1,04×10 ⁻¹¹

do biofilme formado sobre cada material. Observa-se que na superfície das espumas cerâmicas o biofilme foi constituído por tipos diversos de bactérias (Fig. 3-b), tendo sido observados bacilos, espirilos, cocos e bactérias filamentosas. Mesmo na borracha de EPR, que não atingiu níveis elevados de colonização, houve uma considerável diversidade de microorganismos (Fig. 3-d). Na argila expandida, entretanto, verificou-se um grande predomínio de bactérias filamentosas em detrimento de outras espécies (Fig. 3-f). Esta característica não é desejável, já que no tratamento anaeróbio de esgotos é necessário o desenvolvimento e a agregação de diferentes grupos metabólicos de microorganismos já que a biodegradação de águas residuárias é um processo complexo que envolve diversas reações químicas, das quais participam diferentes espécies.

A seletividade da argila expandida pode estar associada à alta densidade de cargas negativas em sua superfície, o que resultou em um potencial zeta fortemente negativo. Sabe-se que as bactérias em geral apresentam uma superfície com cargas negativas, de modo que o elevado módulo do potencial zeta da argila expandida pode ter se tornado uma barreira repulsiva muito forte para a maioria das bactérias, proporcionando a colonização da superfície do material por uma única espécie, que possivelmente foi capaz de ultrapassar esta barreira. Entretanto, experimentos adicionais são necessários para comprovar esta hipótese.

Através dos resultados obtidos confirma-se a complexidade que envolve o processo de formação e desenvolvimento do biofilme, e percebe-se que a aderência e imobilização dos microorganismos anaeróbios dependem de diversos fatores combinados. Verifica-se ainda que os suportes cerâmicos mostraram-se bastante adequados à imobilização microbiana, apresentando ótimas condições para a adesão e retenção do biofilme.

CONCLUSÕES

Os suportes cerâmicos mostraram-se bastante adequados à imobilização microbiana, apresentando ótimas condições para a adesão e desenvolvimento do biofilme anaeróbio. Notou-se que os biofilmes formados nos suportes cerâmicos foram densos e apresentaram grande diversidade microbiana, favorecendo o processo de degradação anaeróbia. Além disso, os suportes cerâmicos apresentaram maior taxa de colonização, confirmando sua conveniência para imobilização da biomassa anaeróbia.

A quantidade de sólidos voláteis imobilizados foi maior nos suportes mais porosos e com maior tamanho de poros. A capacidade de retenção celular de cada material foi mais alta na espuma cerâmica de alumina, seguida pela espuma cerâmica de caulim, pela borracha de EPR e por último pela argila expandida. Esta seqüência refletiu a seqüência de tamanho de poros das matrizes. Além da porosidade, o tipo de poro afetou sensivelmente a colonização: os materiais com poros fechados foram colonizados apenas na superfície, enquanto que os materiais com poros abertos e interconectados foram colonizados também em seu interior, o que provavelmente afetou os valores de matéria orgânica retida em cada poro.

O elevado potencial zeta apresentado pela argila expandida pode ter impedido a adesão da maioria das espécies de bactérias envolvidas na degradação do esgoto. Observou-se que as bactérias filamentosas predominaram neste material, comprometendo a eficiência do biorreator.

A aderência e imobilização dos microorganismos e conseqüentemente o desenvolvimento do biofilme anaeróbio é um processo complexo que depende de diversos fatores combinados, não sendo suficiente apresentar apenas uma ou outra característica favorável. Diversas interações ocorrem entre a superfície do suporte, o substrato e os microorganismos, e todos os fatores que interferem neste processo influenciam a imobilização microbiológica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Allied Colloids, a Alcoa Alumínio S.A, e o apoio financeiro recebido da CAPES e da FAPESP.

REFERÊNCIAS

- [1] M. T. Kato, C. O. Andrade Neto, C. A. L. Chernicharo, E. Foresti, L. F. Cybis, in: Campos, J. R. (org). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro, PROSAB, 1999, p.53-99.
- [2] M. M. Alves, M. A. Pereira, J. M. Novais, F. F. Polanco, M. Mota, Water Environment Res. **71** (1999) 209-217.
- [3] D. Verrier, B. Mortier, G. Albagnac, Biotech. Lett. **9** [10] (1987) 735-740.
- [4] G. Zellner, P. Vogel, H. Kneifel, J. Winter, J. Appl. Microbiol. and Biotechnol. **27** (1987) 306-314.
- [5] M. Kawase, T. Nomura, T. Najima, Water Sci. and Technol. **21** (1989) 77-86.
- [6] M. Zaiat, A. K. A. Cabral, E. Foresti, Water Res. **30** (1996) 2435-2439.
- [7] P. Sepulveda, Am. Ceram. Soc. Bull. **76** [10] (1997) 61-65.
- [8] F. S. Ortega, P. Sepulveda, M. D. M. Innocentini, V. C. Pandolfelli, Am. Ceram. Soc. Bull. **80** [3] (2001) 37-42.
- [9] J. T. Richardson, Y. Peng, D. Remue, Appl. Catal. **A204** (2000) 19-32.
- [10] P. Torres, Desempenho de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgotos sanitários. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.
- [11] APHA, AWWA, WPCF Standard methods for examination of water and wastewater. 16^a. ed, Washington, USA, 1985.
- [12] J. C. Araújo, Acompanhamento da evolução do biofilme e caracterização química e biológica em reator de leito fluidificado tratando esgoto sanitário sintético. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1994. (Rec. 20/03/01, Ac. 12/10/01)