

INFLUÊNCIA DA RECIRCULAÇÃO E DA ALCALINIDADE NO DESEMPENHO DE UM REATOR UASB NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE SUINOCULTURA

INFLUENCE OF RECIRCULATION FLOW AND ALKALINITY ON THE PERFORMANCE OF AN UASB REACTOR ON PIGGERY SLURRY TREATMENT

PEREIRA-RAMIREZ, Orlando¹; QUADRO, Maurizio S.²; ANTUNES, Rul M.³; KOETZ, Paulo R.⁴

RESUMO

As novas formas de produção de suínos raramente encontram um equilíbrio entre o manejo dos resíduos gerados e a capacidade de tratamento dos sistemas convencionais, criando considerável impacto ambiental. A aplicação da biotecnologia anaeróbia por meio do reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) tem-se intensificado e destacado pelo bom desempenho no tratamento de águas residuárias de várias procedências. O objetivo deste trabalho foi a avaliação da influência da adição de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) na fração líquida dos dejetos da criação de suínos confinados e a recirculação do efluente no tratamento por um UASB com um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 12 h. O UASB apresentou sua maior eficiência na remoção carbonácea, de 85% para a DQO solúvel, quando aplicado NaHCO_3 na alimentação, de modo a reduzir a relação AVT/Alcalinidade a valores próximos a 0,20. A maior eficiência de remoção da DQO foi quando aplicada taxa de recirculação do efluente de 3:1.

Palavras-chave: UASB, Efluentes de Suinocultura, Reciclo x Alcalinidade.

INTRODUÇÃO

A alta densidade de animais e o tipo de confinamento, que caracterizam as novas formas de produção de suínos, freqüentemente não encontram um equilíbrio entre a quantidade e qualidade dos resíduos gerados e a capacidade de tratamento dos sistemas convencionais, criando impactos ambientais consideráveis (TILCHE et al., 1999).

O reator UASB usa um processo biológico de tratamento com biomassa dispersa, onde os compostos orgânicos são biodegradados e digeridos através de uma transformação anaeróbia, resultando na produção de biogás e na manutenção de um consórcio bacteriano.

No UASB, o efluente atravessa um manto de lodo biológico, onde diferentes processos físicos e bioquímicos acontecem pela retenção e assimilação do substrato orgânico biodegradável, que é acidificado e depois convertido em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). O manto de lodo age como filtro dos sólidos e pode remover a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e os Sólidos Suspensos (SS) por hidrólise, acidificação e metanização, em um tempo de detenção hidráulica relativamente curto (OLIVEIRA et al., 2000b).

Segundo OLIVEIRA (1997), para obter-se sucesso com o tratamento anaeróbio, os reatores devem ser operados adequadamente, identificando-se com rapidez e segurança distúrbios no seu desempenho por meio do monitoramento de determinados parâmetros, tal como a capacidade tampão do sistema. FORESTI (1997), apud OLIVEIRA (1997), diz que o monitoramento da alcalinidade de bicarbonato é muito mais eficaz do que o monitoramento do pH, pois enquanto a escala do pH é logarítmica, a escala da alcalinidade é linear. Dessa maneira, um pequeno abaixamento do pH implica em consumo de alcalinidade, e portanto implica em diminuição significativa da capacidade tampão.

ISOLDI (1998) comenta que os equilíbrios químicos de maior importância, no tratamento biológico de efluentes agroindustriais, são os do tipo ácido-base e do tipo óxido-redução, sendo os equilíbrios ácido-base de fundamental importância para se entender o comportamento do pH.

A digestão anaeróbia requer um pH estável na faixa de 6,5 a 7,5 que pode ser mantido pelo ajuste da relação ácido carbônico/carbonato. A propriedade de tamponamento do pH, na degradação anaeróbia, vem naturalmente da produção do CO_2 e da liberação de íons carregados positivamente, da decomposição de proteínas e outros substratos, para formar alcalinidade de bicarbonato (RAMJEAWON, 2001).

As espécies do sistema carbônico: dióxido de carbono, bicarbonato e carbonato (CO_2 , HCO_3^- e CO_3^{2-}) apresentam-se em equilíbrio com as formas precipitadas, em função do pH. Para um reator anaeróbio com pH próximo a 7,0, a espécie preponderante é a do íon bicarbonato (HCO_3^-) e por essa razão, utiliza-se o termo "alcalinidade de bicarbonato" (NASCIMENTO, 1996).

De acordo com VAN HAANDEL & LETTINGA (1994), o sistema carbônico além de garantir o pH adequado e estável, influi também sobre a composição do biogás gerado, sobre o equilíbrio sólido-líquido com respeito à precipitação ou dissolução de CaCO_3 e nos fenômenos associados à formação de incrustação e corrosão.

A instabilidade de um reator anaeróbio, pode ser gerada pelo acréscimo da concentração de ácidos voláteis, o que implicaria numa redução de pH. A alcalinidade presente deve ser suficiente para a neutralização dos Ácidos Voláteis Totais (AVT) formados (NASCIMENTO, 1996).

O bicarbonato de sódio é comumente usado para prover alcalinidade ao efluente. É recomendado por ser de fácil uso, solúvel em água e erros eventuais na dosagem

¹ Eng. Químico, MSc. em Eng. de Alimentos, Dr em Biotecnologia - UFPel. Laboratório de Saneamento Rural - Faculdade de Engenharia Agrícola - UFPel - Campus Universitário. Cx Postal 354. CEP: 96010-900. Pelotas - RS. E-mail: opr@zaz.com.br.

² Eng. Agrícola MSc. em Agronomia / área de Solos-FAEM - UFPel. Campus Universitário. Cx Postal 354. CEP: 96010-900. Pelotas - RS.

³ Químico Mestrando em Agronomia na área de Solos-FAEM - UFPel. Campus Universitário. Cx Postal 354. CEP: 96010-900. Pelotas - RS.

⁴ Eng. Químico, Dr Engenharia de Anti-polução. Prof. da UPF. Campus I Br 285 km 171, CEP: 99001-970. Passo Fundo - RS

(Recebido para Publicação em 31/03/2003, Aprovado em 29/01/2004)

(especialmente se por excesso) não afetam a operação (PAULO et al., 2002).

A efetiva utilização da alcalinidade intrínseca dos efluentes pode ser favorecida pela recirculação do efluente no reator UASB. O método de circulação parcial foi usado para que o efluente recirculado entrasse na altura média da manta de lodo. O método da recirculação integral, atravessando todo o manto de lodo, não é somente capaz de tolerar altas cargas mas também utiliza a alcalinidade mais eficientemente (IMAI et al., 2001).

IMAI et al. (2001), afirma que no UASB, a atividade das bactérias acidogênicas, que produzem os AVT, e a das bactérias metanogênicas que formam metano a partir dos AVT e do hidrogênio, podem ser facilmente inibidas pelo baixo pH como resultado do acúmulo dos AVT no reator e isso torna necessária a adição de solução tampão. Para se obter equilíbrio via liberação da alcalinidade no reator, a circulação completa no UASB pode ser tentada antes da adição de tampões externos. A circulação parcial também tem sido aplicada para tentar estratificar as bactérias acidogênicas e as metanogênicas e fazer com que estas sejam mais efetivas e, assim, reduzir o custo do tratamento.

A promoção da granulação da biomassa metanogênica tem sido estudada, na tentativa de elevar a eficiência de remoção da DQO no UASB. A granulação é um processo onde os microrganismos estão associados intimamente um com outro e formam *pellets* discretos, conferindo à biomassa granulada algumas vantagens sobre a do tipo floculenta, onde a associação entre as células é menos estruturada. Assim, o lodo granular apresenta densidade e velocidade de sedimentação maior do que o lodo floculento, evitando com isso que população microbiana ativa seja levada para fora do reator. A biomassa granulada também tem maior atividade específica. Fatores que afetam a formação do grânulo incluem: espécie microbiana, natureza do material inorgânico, substratos indutivos a granulação e outras condições na operação do reator. A formação do grânulo em geral ocorre no UASB tratando substratos não complexos ou seja facilmente degradáveis, predominantemente de águas ricas em carboidratos. Quando a concentração dos AVT é mantida em níveis baixos, os grânulos geralmente exibem estratificação da população bacteriana. Quando a concentração dos AVT é aumentada, a estratificação não ocorre facilmente, ainda que os grânulos tendam a ter uma composição microbiana homogênea (UYANIK et al., 2002).

O bom desempenho do UASB tem sido atribuído à sua capacidade de reter e facilitar a agregação de biomassa com alta atividade metanogênica específica (AME) (OLIVEIRA et al., 2000a).

A retenção de biomassa tem especial interesse no processo anaeróbio devido à baixa taxa de crescimento das bactérias envolvidas. Isso implica em tentar concentrar o consórcio da biomassa ácido-metanogênica no reator. Segundo VERSTRAETE et al. (1996), a taxa de crescimento específico da biomassa metanogênica é de 0,08 a 0,15 d⁻¹. No tratamento anaeróbio não é importante somente a imobilização de bactérias, mas também a presença de um consórcio bacteriano bem balanceado. Isto é necessário para que ocorram as várias conversões sintróficas na digestão anaeróbia, para evitar o efeito danoso devido a altas concentrações de intermediários específicos e o forte impacto de fatores ambientais associados a pH e potencial redox. O UASB tem sido capaz de reter uma grande concentração de biomassa com boa sedimentação e elevada AME suportando alta taxa de carga orgânica com boa remoção da DQO.

Geralmente a melhor retenção do lodo é baseada na agregação do lodo bacteriano e na imobilização bacteriana em função de mecanismos de aderência a materiais de suporte (OLIVEIRA et al., 2000a).

O objetivo deste trabalho foi a avaliação da influência de dois níveis de alcalinidade inicial na água residuária e a recirculação do efluente em diferentes taxas pelo UASB, na eficiência de remoção da carga orgânica em um reator utilizado para o tratamento do efluente da suinocultura. Ainda se verificou a capacidade do reator na remoção de microrganismos dos grupos Coliformes fecais (termotolerantes) e *Salmonella choleraesuis*.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Saneamento Rural da Faculdade de Engenharia Agrícola FEA – UFPel e as análises químicas foram realizadas no Laboratório de Controle de Poluição da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel FAEM – UFPel.

O reator UASB foi confeccionado em PVC rígido. O reator tinha uma altura total de 1,0 m, diâmetro de 0,15 m, volume útil de 16 L e contava com um separador trifásico alelado. Válvulas de ½ polegada espaçadas de 10 em 10 cm em toda a altura do reator permitiam a tomada de amostras (Figura 1).

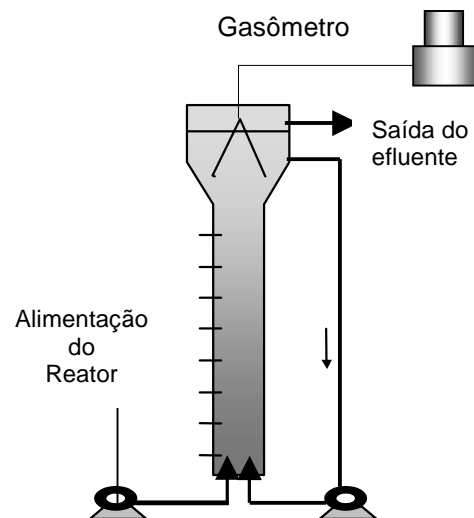


Figura 1 - Esquema do tratamento com o reator UASB.

O reator UASB operou com um TDH de doze horas, vazão de alimentação de 1,4 L h⁻¹, carga orgânica aplicada total (B_t) média de 23,0 kg DQO m⁻³ d⁻¹ e carga orgânica aplicada solúvel (B_s) média de 11,0 kg DQO m⁻³ d⁻¹.

O UASB foi inoculado em 30% do seu volume estático, conforme recomendações de CHERNICHARO (1997), com biomassa de um reator UASB da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de parboilização de arroz, com uma concentração de 120,0 g L⁻¹ em SST, com relação SSV/SST de 0,65. O período de adaptação foi de 60 dias. A biomassa foi monitorada, por purgas, de modo a manter entre 60,0 e 70,0 g SSV L⁻¹ o valor médio da concentração nas três válvulas mais próximas ao fundo do UASB (Figura 1). A temperatura de operação foi mantida entre 27 e 32°C através de resistências elétricas.

O líquido a tratar foi transportado por bombas do tipo peristáltica de marca Flex-flow. A recirculação do efluente ao UASB era realizada a partir do nível do separador trifásico do reator até a mistura com a alimentação bruta na parte inferior do equipamento.

O sistema foi monitorado por 36 semanas, sendo realizadas em média três análises semanais dos seguintes parâmetros: Demanda Química de Oxigênio total (DQO_t), Demanda Química de Oxigênio solúvel (DQO_s), filtrado em malha de 0,45 µm, em refluxo fechado, Alcalinidade Total e Parcial, Ácidos Voláteis Totais (AVT), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Voláteis (SSV), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Amoniacal (N-NH₄), Fósforo Total (P), Óleos e Graxas (O&G), segundo o Standard Methods (APHA, 1995).

O pH era medido por um potenciômetro Micronal B-474 e a temperatura lida diariamente, através de um termômetro digital, acoplado em um oxímetro, marca Oakton DO100.

O UASB foi operado a seis tratamentos como detalhado na Tabela 1. Foram avaliados os efeitos de diferentes taxas de reciclo (relação entre o líquido reintegrado ao UASB e a alimentação original ao mesmo) e dois níveis de alcalinidade inicial no efluente, sobre a eficiência de remoção da DQO pelo reator.

O UASB operado a três valores de taxa de recirculação, as quais foram de 5:1, 3:1 e 0:1, propiciando velocidades ascensionais no reator de 0,50, 0,35 e 0,08 m³ m⁻² h⁻¹,

respectivamente. Nos três primeiros tratamentos (1, 2 e 3) o efluente na alimentação se manteve com alcalinidade média de 1500 mg CaCO₃ L⁻¹. No três últimos tratamentos (4, 5 e 6) foi adicionado NaHCO₃ ao efluente, a fim de manter a relação AVT/Alcalinidade em valores próximos de 0,30; patamar recomendado por LEITE & OLIVEIRA (2000), ficando a alcalinidade do afluente condicionada na faixa de 2500 mg CaCO₃ L⁻¹.

O reator UASB foi alimentado com efluente de suinocultura, previamente tratado por decantação e peneiramento em malha de 1mm, ficando com as características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1 - Características dos tratamentos aplicados ao reator UASB.

Tratamentos	1	2	3	4	5	6
Taxa de Reciclo	0:1	3:1	5:1	0:1	3:1	5:1
Velocidade ascensional (m ³ m ⁻² h ⁻¹)	0,08	0,35	0,50	0,08	0,35	0,50
Adição de NaHCO ₃	sem	sem	sem	com	com	com
Alcalinidade média na alimentação (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	1500	1500	1500	2500	2500	2500

Tabela 2 - Características físico-químicas do afluente ao reator UASB.

Parâmetros	Unidade	Valor Mínimo	Valor Médio*	Valor Máximo	Desvio padrão
Temperatura	°C	25	29	32	2,5
pH		6,8	7,0	7,3	0,16
AVT	mg HAc L ⁻¹	668	1050	2150	306
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	800	1500	2100	413
DQO _t	mg L ⁻¹	6750	9700	15600	2080
DQO _s	mg L ⁻¹	2130	4890	7580	1442
ST	mg L ⁻¹	2600	7400	17200	4080
SVT	mg L ⁻¹	2050	4810	12560	2836
NTK	mg L ⁻¹	480	550	740	65
P	mg L ⁻¹	90	135	210	48
Óleos e Gorduras	mg L ⁻¹	60	250	410	78

AVT: ácidos voláteis totais; DQO_t: demanda bioquímica de oxigênio total; DQO_s: demanda bioquímica de oxigênio solúvel; ST:sólidos totais; SVT: sólidos voláteis total; NTK: nitrogenio total kjeldahl; P fósforo total.

* Médias de 36 semanas, sendo realizadas três análises semanais.

O experimento foi conduzido com um fatorial de A x B, sendo A = taxa de reciclo e B = alcalinidade total, no esquema inteiramente casualizado em seis repetições, sendo realizada a análise de variância e após uma comparação das médias, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

A avaliação da remoção microbiana foi feita pela determinação de Coliformes fecais na alimentação e descarga do reator. O teste de remoção de *Salmonella choleraesuis* foi realizado inoculando-se o efluente com uma concentração pré-definida do patógeno durante um período equivalente a dez vezes o TDH do reator e a partir deste momento, realizou-se a contagem deste microrganismo no efluente final.

A geração do biogás formado durante a degradação do substrato foi monitorada pela quantificação de volume deslocado de líquido.

As amostras eram retiradas do tanque da alimentação e da descarga do UASB, em recipientes de vidro e conduzidas para a análise imediata ou guardadas em ambiente refrigerado a 4°C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração da DQO na alimentação do reator apresentou valores variáveis, possivelmente em função das mudanças nas operações de manejo na própria granja de criação. Já a evolução da concentração da DQO na descarga mostrou maior estabilidade, sendo isso sinal da operação estável do reator UASB (Figura 2).

O reator apresentou formação de espuma durante a aplicação das cargas mais elevadas (20-28 kg DQO m⁻³ d⁻¹), fato também observado por GARCIA et al. (2001), que tratando efluente semelhante teve dificuldades na operação com cargas superiores a 17,0 kg DQO_t m⁻³ d⁻¹. A carga de DQO_s removida por kg de SSV pelo UASB apresentou uma média diária de 19,82 kg, tendo um Coeficiente de Variância (CV) de 16%, um Desvio Padrão (DP) de 3,23 kg e uma Variância de 10,43 kg².

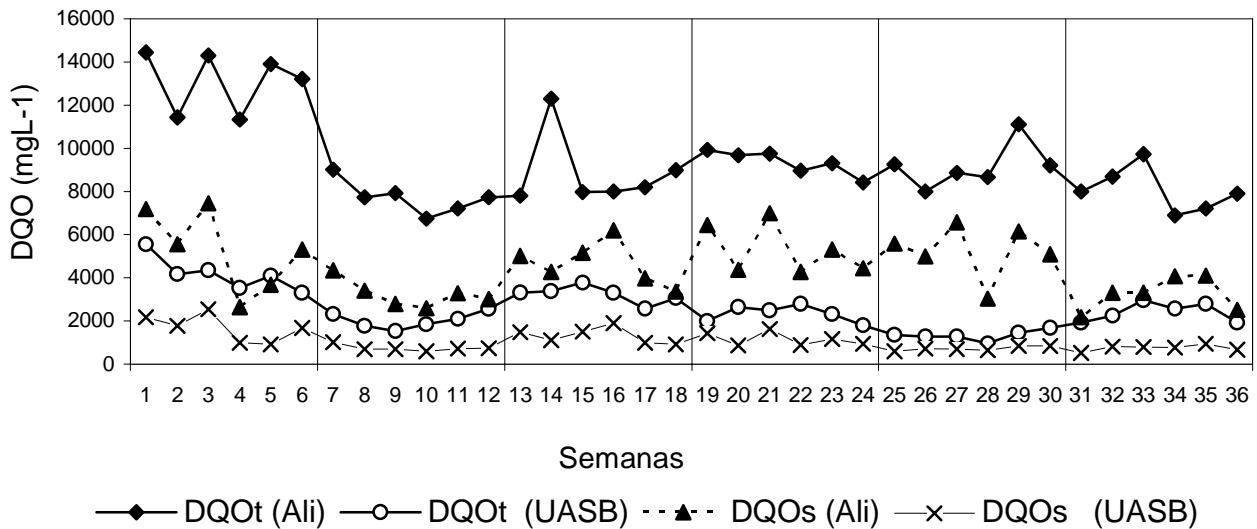


Figura 2 - Variação da concentração da DQO na alimentação (Ali) e na descarga do UASB.

A carga aplicada de Sólidos Totais no UASB foi de 15,45 kg ST m⁻³ d⁻¹ e a de Sólidos Suspensos Voláteis de 9,74 kg SSV m⁻³ d⁻¹. O reator apresentou remoções médias de 9,23 kg ST m⁻³ d⁻¹ e de 4,56 kg SSV m⁻³ d⁻¹. A remoção específica média dos ST foi de 12,44 kg kg⁻¹ SSV d⁻¹, tendo um CV de 70% e um DP de 8,77. A remoção específica média dos SV do efluente foi de 9,56 kg kg⁻¹ SSV d⁻¹, tendo um CV de 66% e um DP de 6,38. Os elevados CV e DP foram em razão das diferenças nas remoções existentes nos tratamentos aplicados.

O pH no UASB se manteve na faixa de 7,1 a 7,7 nos primeiros três tratamentos, e entre 7,3 e 8,1 nos tratamentos onde foi adicionado NaHCO₃ na alimentação. Os valores de pH sempre mantiveram-se dentro do intervalo sugerido por BOIRAN et al. (1996), para uma degradação anaeróbia eficiente.

Na Tabela 3 é apresentada a análise estatística para a Taxa de Reciclo e Alcalinidade.

A análise estatística foi realizada num delineamento fatorial, cujas médias foram comparadas usando-se o teste de F para determinar o nível de significância para os parâmetros DQO_t e DQO_s, verificando-se que o efeito da taxa de reciclo e da alcalinidade aplicada ao efluente foram significativos a 1%, na remoção da DQO. A interação entre estes fatores não foi significativa, para ambas DQO, podendo-se concluir sobre a influência dos fatores em separado.

Segundo LOMAS et al. (2000), a recirculação do efluente em reatores anaeróbios tem o propósito de modificar o regime hidráulico do sistema, promover o crescimento microbiano, reduzir os caminhos preferenciais, diminuir a variação da carga orgânica e de aumentar a alcalinidade do efluente. A agitação excessiva, por outro lado, agindo sob o regime hidráulico, afeta a atividade específica da biomassa alterando a resistência à difusão do substrato. A Figura 3 mostra que a eficiência máxima de remoção da DQO aconteceu quando a relação de reciclo foi de 3:1 e a velocidade ascensional de 0,35 m³ m⁻² h⁻¹, tanto no caso de alcalinidade inicial de 1500 quanto de 2500 mg CaCO₃ L⁻¹.

Tabela 3 - Análise estatística referente as variáveis DQO total e DQO solúvel.

Fonte de Variação	DQO _t			DQO _s		
	GI*	S ² **	Sig***	S ² **	Sig***	
Taxa de Reciclo	2	534,22	1%	221,57	1%	
Alcalinidade	1	648,38	1%	523,24	1%	
Taxa de Reciclo X Alcalinidade	2	22,25	NS	26,18	NS	
Erro	30	28,36		8,18		
Total	35					

*GI: Grau de liberdade;

**S²: Variância

***Sig: Nível de significância

Na Figura 3 é mostrado que, com adição de alcalinidade ao efluente se obteve um acréscimo na eficiência de remoção da DQO, independentemente da taxa de reciclo.

O aumento no valor da taxa de reciclo facilitou o desempenho bacteriano, por prover maior contato substrato-biomassa e assim se ter uma maior produtividade microbiana, inclusive pela alcalinidade ambiental favorável. Este fato já tinha sido observado por IMAI et al. (2001), trabalhando com UASB, com taxas de recirculação de 2:1 e 3:1, com velocidades ascensionais de 0,28 e de 0,38 m³ m⁻² h⁻¹ respectivamente, funcionando com uma carga orgânica aplicada de até 12,0 kg DQO m⁻³ d⁻¹, tratando efluente de animais em criação confinada.

A aplicação de velocidades entre 0,5 e 1,0 m³ m⁻² h⁻¹ não favoreceu a operação estável, provavelmente devido à constituição do efluente possuir uma expressiva concentração protéica dificultando a manutenção dos grânulos de biomassa. O lodo floculento formado possuía velocidade de sedimentação menor favorecendo com isto a flotação da biomassa.

LOMAS et al. (2000), operando um UASB com várias taxas de reciclo, entre 1:1 e 3:1, observaram que o aumento na taxa de recirculação trazia consigo um aumento da alcalinidade no reator. Em testes com valores superiores a relação 3:1 no trabalho ocorreu pouca alteração da alcalinidade residual, provavelmente por acontecerem

elevadas velocidades ascensionais que ocasionaram arraste de sólidos, não permitindo uma hidrólise integral, nem a conseqüente degradação dos componentes e com isso não liberando suficiente alcalinidade intrínseca para o sistema. Na Figura 4 é ilustrado um valor semelhante na alcalinidade gerada durante o tratamento dois e três. Os tratamentos cinco e seis, com adição de NaHCO_3 , também mostram semelhança na alcalinidade residual no sistema digestor.

O valor médio dos AVT foi de 360 mg L^{-1} . O tratamento três apresentou no reator alcalinidade média de $2600 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ e o tratamento seis obteve o maior valor médio para alcalinidade ($3840 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$). De acordo com METCALF & EDDY (1991), para o processo de digestão anaeróbia ocorrer de forma satisfatória, a alcalinidade deve ter valores entre 1000 e 5000 mg L^{-1} e a concentração dos AVT se manter menor que 250 mg L^{-1} . Ainda a relação AVT/Alcalinidade deve ser inferior a $0,30$.

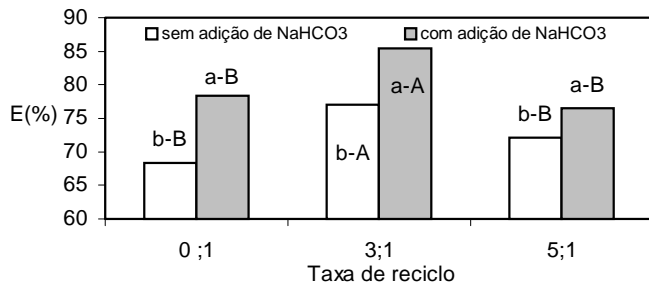


Figura 3 - Eficiências médias de remoção da DQOs nas diferentes taxas de reciclo. *As letras minúsculas são comparações entre as alcalinidades e as letras maiúsculas são comparações entre as taxas de reciclo, usando o teste de Tukey a 5 % de significância.

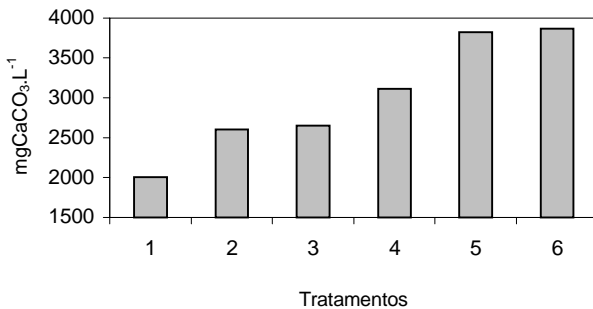


Figura 4 - Valores médios da Alcalinidade do UASB em função dos tratamentos.

Na Tabela 4 são apresentados valores médios da DQO em função dos tratamentos aplicados, sendo que a descarga apresentou DQO_t média de 2500 mg L^{-1} e DQO_s média de 1100 mg L^{-1} .

Tabela 4 - Valor Médio da DQO residual por tratamento aplicado ao UASB.

Treatment	1	2	3	4	5	6
DQO_t (mg L^{-1})	4168,3	2023,3	3231,7	2347,5	1342,4	2408,3
DQO_s (mg L^{-1})	1680,8	741,6	1314,9	1155,3	724,8	751,6

Na alimentação do reator, as relações AVT/Alcalinidade, mostradas na Figura 5, mantiveram-se entre $0,60$ e $0,63$ nos três primeiros tratamentos e permaneceram entre $0,38$ e $0,45$, nos tratamentos onde foi aplicado o NaHCO_3 .

Na Figura 6 é ilustrado a relação entre a alcalinidade do substrato e a eficiência de remoção da DQO_s , expondo uma correlação de 84% . O reator UASB apresentou as melhores taxas de remoção da DQO quando aplicada a taxa de recirculação de $3:1$, com velocidade ascensional de $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Tabela 5).

Segundo METCALF & EDDY (1991), os reatores UASB são utilizados normalmente com velocidades de até $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, mas, para as condições do experimento foi observado que com valores superiores a $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ acontecia arraste de sólidos, a biomassa diminuía a presença de grânulos, tomando a forma mais floculenta, iniciava a formação de espuma e flotação das colônias, prejudicando o desempenho do reator. O tipo de substrato, rico em material degradável e nutrientes, favoreceu a formação e manutenção de uma biomassa com elevada atividade.

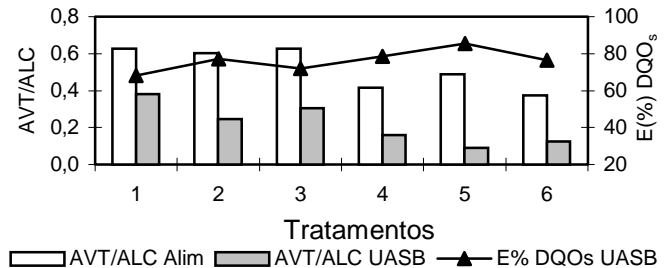


Figura 5 - Valores da relação AVT/ALC na alimentação (Alim) e AVT/ALC na descarga do reator (UASB) e eficiência (E%) de remoção da DQO_s nos tratamentos aplicados.

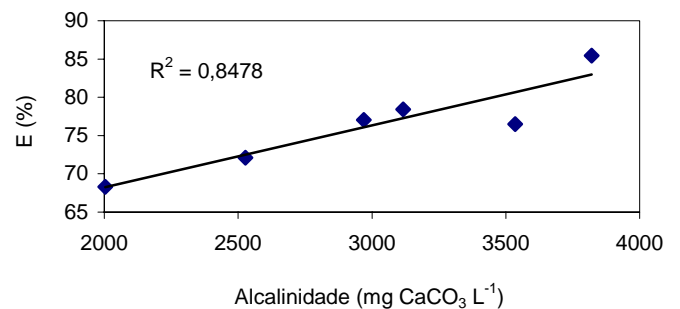


Figura 6 - Relação entre Alcalinidade formada no reator e a eficiência (E%) de remoção da DQO solúvel.

Na Tabela 5 é mostrado que nos tratamentos três e seis, onde o reciclo foi de $5:1$ houve uma diminuição relativa da eficiência de remoção da DQO e dos SSV, pelo arraste da biomassa e outros particulados. O melhor desempenho do UASB para remoção da DQO aconteceu com o reciclo de $3:1$ e com adição de NaHCO_3 na alimentação, tendo a eficiência valor de 85% . O pior desempenho foi quando operou com uma taxa de reciclo de $5:1$ e sem adição de NaHCO_3 , tendo eficiência de 62% para DQO_t e de 72% para DQO_s . O desempenho do reator no tratamento um, com remoção de apenas 68% da DQO_t pode ser considerado

razoável para este equipamento, em relação à situação comentada por GARCIA et al. (2001), que operando um UASB com uma carga aplicada total de 17,1 kg DQO m⁻³ d⁻¹, TDH de vinte horas, obteve eficiência de remoção da DQO de 63,8%.

A remoção dos SSV foi de 81% no tratamento dois é próxima a 67% durante os tratamentos quatro e cinco. Estes valores médios são maiores do que os obtidos por KIATPAKDEE et al. (2001), que obtiveram eficiências de remoção de SST e SSV de 42 e 32% e valor de 56% para

eficiência de remoção da DQO_t, estudando o efeito do reciclo do líquido e a formação de espuma no tratamento de efluente de suínos em reator semelhante.

As reduções de N-NH₄, NTK e P apresentaram valores médios de 16,7%, de 9,4% e de 20,4%, respectivamente (Figura 7). Os resultados confirmam o UASB não ser especificado para remoção destes nutrientes, como já fora comentado por METCALF & EDDY (1991) e VAN HAANDEL & LETTINGA (1994) sobre os reatores anaeróbios.

Tabela 5 - Remoções específicas diárias e eficiências de remoção da DQO e SSV em função dos tratamentos.

Tratamento	kg DQO _s Kg ⁻¹ SSV	kg ST kg ⁻¹ SSV	kg SV kg ⁻¹ SSV	E% DQO _t *	E% DQO _s *	E% SSV*
1	26,05 a	14,25 ab	9,41 ab	68 bc	68 d	64,04 b
2	16,61 b	23,04 a	18,07 a	73 b	77 bc	81,33 a
3	16,46 b	5,41 b	4,26 b	62 c	72 cd	39,41 c
4	20,41 ab	9,48 ab	7,7 ab	74 b	78 b	68,05 b
5	22,85 a	21,29 a	18,83 a	85 a	85 a	67,17 b
6	16,51 b	1,23 b	1,97 b	69 bc	76 bc	20,94 d

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

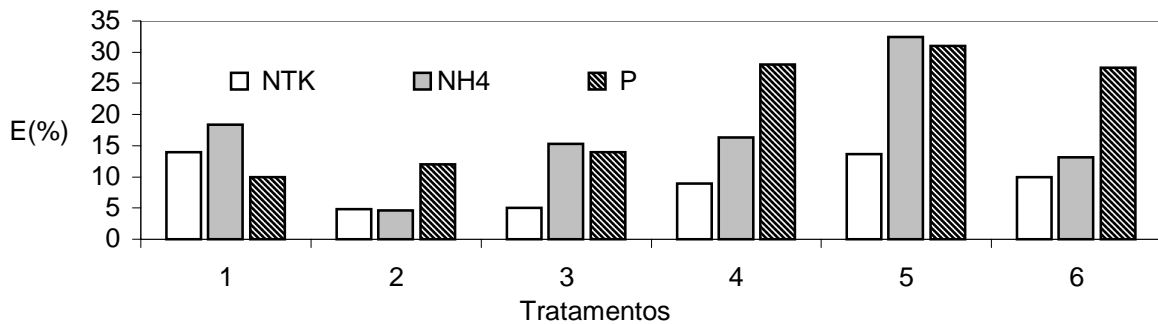


Figura 7 - Eficiência de remoção dos nutrientes nos tratamentos aplicados.

O monitoramento dos SSV fez com que a biomassa no reator se mantivesse ao redor de 70 000 mg SSV L⁻¹. Quando a concentração de sólidos ficou acima deste valor se fez purga corretiva, em geral uma purga a cada duas semanas de operação. A maior remoção de nutrientes aconteceu nos três últimos tratamentos (Figura 7), coincidindo com a maior população bacteriana, a ponto de requerer purgas mais freqüentes de modo a manter a densidade abaixo do SSV máximo estipulado.

A geração média de biogás foi de 0,45 L g⁻¹ DQO removido, sendo os menores valores de 0,27 e os maiores de 0,50 L g⁻¹ DQO, em condições normais de temperatura e pressão, valor próximo ao obtido por KIATPAKDEE et al.

(2001), onde relatam que 1g de DQO transformou-se em 0,49 L de biogás e 0,34 L de metano.

As concentrações médias do efluente na alimentação do reator em termos de Coliformes fecais foram de 6,61 10⁹ NMP 100 mL⁻¹ e de 1,19 10⁷ UFC 100 mL⁻¹ para *Salmonella choleraesuis*.

Na Figura 8 é apresentado a eficiência média das remoções dos microrganismos em função dos tratamentos aplicados. Percebe-se que para ambos os grupos danosos existe ação benéfica da adição do NaHCO₃ e do reciclo, apresentando o tratamento cinco melhor eficiência de remoção.

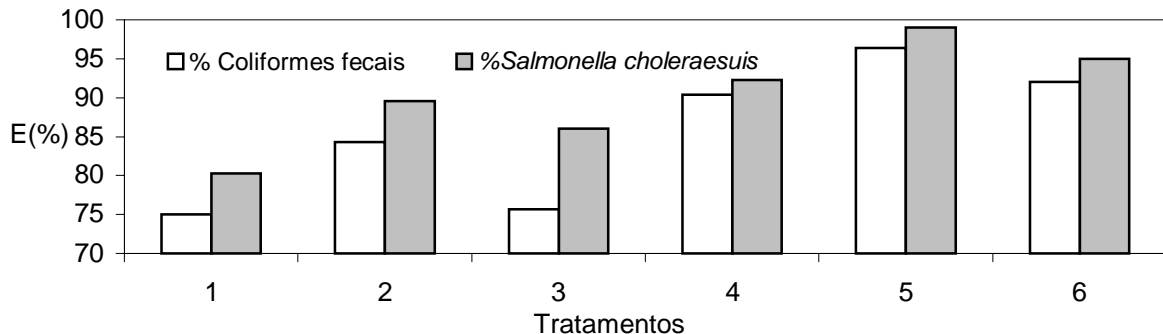


Figura 8 - Remoção dos grupos Coliformes fecais e *Salmonella choleraesuis* pelo UASB em função dos tratamentos aplicados.

O reator anaeróbio obteve um bom desempenho na remoção dos patógenos (em todos os tratamentos), havendo possibilidade deste fato ter ocorrido devido aos grupos em pauta terem sido absorvidos pelo consórcio bacteriano predominante no reator e dos fatores ambientais no UASB, onde a concentração e a competição dos microrganismos anaeróbios é expressiva.

Os valores residuais dos microrganismos contidos no efluente indicam a necessidade de tratamentos complementares para que possam ser enquadrar nas normas ambientais de emissão ou reuso.

CONCLUSÕES

A eficiência de remoção da DQO solúvel pelo UASB variou entre 68 e 85%.

O reator UASB obteve sua melhor eficiência de remoção de SSV (81%) quando a taxa de reciclo foi de 3:1. O pior desempenho na remoção dos SSV aconteceu no tratamento seis (reciclo de 5:1 e alcalinidade inicial de 2500 mgCaCO₃ L⁻¹) com apenas 20%.

A maior alcalinidade residual (3800 mg L⁻¹) encontrada foi quando aplicada taxa de recirculação de 3:1 e 5:1 com efluente com alcalinidade inicial de 2500 mg CaCO₃ L⁻¹. A recirculação de efluente aumentou a alcalinidade no reator favorecendo a remoção orgânica.

O reator UASB apresentou melhor eficiência na remoção da carga orgânica, quando foi mantida a relação AVT/Alcalinidade em valores próximos a 0,20. A maior eficiência de remoção da DQO aconteceu com a velocidade ascensional de 0,35 m³ m⁻² h⁻¹.

Velocidades superiores a 0,35 m³ m⁻² h⁻¹ promoveram instabilidade no desempenho do reator UASB, ocasionando perda de eficiência de remoção da carga orgânica do reator.

O UASB removeu 96% dos Coliformes fecais (termotolerantes) e 99% da *Salmonella choleraesuis* presentes no efluente bruto, durante o tratamento onde a alcalinidade inicial do efluente foi de 2500 mg CaCO₃ L⁻¹ e a taxa de reciclo aplicada foi de 3:1.

ABSTRACT

The new pig production way, frequently do not achieve the right balance between the handling of generated residues and the treatment capacity with the conventional systems, creating considerable environmental impacts. The application of the anaerobic biotechnology by means of the upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) has been intensified and highlighted by the successful action in the wastewater treatment. The sodium bicarbonate (NaHCO₃) addition influence and the effluent recirculation to an UASB with a 12 h HRT used for the swine slurry treatment was evaluated. The UASB presented the highest COD removal efficiency (85%), when external sodium bicarbonate was applied to the wastewater, in order to reduce the VFA/Alkalinity ratio to 0.20 and with 3:1 recirculation rate.

Key words: UASB, Swine slurry, Recycle x Alkalinity.

REFERÊNCIAS

APHA, AWWA, WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 .ed. Washington, DC. 1995.

BOIRAN, B.; COUTON, Y.; GERMON, J. C. Nitrification and denitrification of liquid lagoon piggery waste in a biofilm infiltration-percolation aerated system reactor. **Bioresource Technology**, v.55, p.63-67, 1996.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA – UFMG, 1997. 246p.

GARCIA, H.; RICO, J. L.; RICO, C. et al. Integral management of dairy manure: liquid fraction treatment. In: WORLD CONGRESS ANAEROBIC DIGESTION, 9^o, 2001, Antuérpia. **Proceedings...** Antuérpia: Technological Institute, 2001. v.2, p.235-7.

IMAI, T.; UKITA, M.; SEKINE, M. et al. A study on an improved circulation method in UASB reactor for high loading operation and effective use of its alkalinity. In: WORLD CONGRESS ANAEROBIC DIGESTION, 9, 2001, Antuérpia. **Proceedings...**

Antuérpia: Technological Institute, 2001. v.1. p.699-704. v.01.

ISOLDI, L. A. **Remoção de nitrogênio de águas residuárias da industrialização de arroz por tecnologias performantes**. Pelotas, 1998. 153f. Tese (Doutorado em Biotecnologia), Centro de Biotecnologia (CENBIOT), Universidade Federal de Pelotas.

KIATPAKDEE, W.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. Anaerobic digestion of pig wastewater. In: WORLD CONGRESS ANAEROBIC DIGESTION, 9, 2001, Antuérpia. **Proceedings...** Antuérpia: Technological Institute, 2001.v.2, p.591-3.

LEITE, M. A. S.; OLIVEIRA, P. A. de. Relação entre a alcalinidade e o desempenho de reatores UASB operados em serie tratando águas residuárias de suinocultura. In: OFICINA E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA, 6, 2000, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2000. v.2, p.215-218.

LOMAS, J. M.; URBANO, C.; CAMARERO, L. M. Influence of recirculation flow in a pilot scale downflow stationary fixed film anaerobic reactor treating piggery slurry. **Biomass & Bioenergy**, v.18, n.5, p.421-430, 2000.

METCALF & EDDY Inc. **Wastewater engineering treatment, disposal, reuse**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.

NASCIMENTO, R. A. **Desempenho de reator anaeróbio de manta de lodo utilizando efluentes líquidos de indústria alimentícia**. Campinas, 1996. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

OLIVEIRA, R. A. **Efeitos da concentração de sólidos suspensos do afluente no desempenho e características do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura**. São Carlos, 1997. 359f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Dpto. de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, R. A.; VAZOLLER, R. F.; FORESTI, E. Influence of influent suspended solids in the specific methanogenic activity of UASB reactor sludge treating swine wastewater. In: OFICINA E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA, 6, 2000, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2000a. v.2, p.243-246.

OLIVEIRA, R. A.; LEITE, M. A. S.; LUCAS Jr, J. Effect of hydraulic loading rate and excess sludge discharge of two UASB reactors operated in series treating swine wastewater. In: OFICINA E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA, 6, 2000, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2000b. v.2, p.41-4.

PAULO, P. L.; JIANG, B.; ROEST, K. et al. Start-up of a thermophilic methanol-fed UASB reactor: change in sludge characteristics. **Water Science and Technology**, London, v.45, n.10, p.145-150, 2002.

RAMJEAWON, T. A. Modeling approach for determining the alkalinity requirement for the treatment of weakly buffered carbohydrate industrial wastewaters by the UASB process. In: WORLD CONGRESS ANAEROBIC DIGESTION, 9, 2001, Antuérpia. **Proceedings...** Antuérpia: Technological Institute, 2001. v.2, p.571-574.

TILCHE, A.; BORTONE, G.; MALASPINA, A. et al. Biological nutrient removal in a full scale SBR treating piggery wastewater: results and modeling. **Water Science and Technology**, London, v.40, n.1, p.199-206, 1999.

UYANIK, S.; SALLIS, P. J.; ANDERSON, G. K. The effect of polymer addition on granulation in an anaerobic baffled reactor (ABR). Part I: process performance. **Water Research**, Oxford, v.36, n.4, p.933-943, 2002.

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: Um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Editora Epgraf, 1994. 212p.

VERSTRAETE, W.; de BEER, D.; PENA, M. et al. Anaerobic bioprocessing of organic wastes. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.12, n.3, p.221-238, 1996.