



II-105 - REMOÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO DE ESGOTO SANITÁRIO UTILIZANDO REATOR EM BATELADAS SEQUENCIAIS COM GRÂNULOS AERÓBIOS (RBSG)

Mariele Katherine Jungles⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutoranda em Engenharia Ambiental pela (UFSC).

Jamile Wagner

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestranda em Engenharia Ambiental na UFSC.

Maurício David de Freitas Filho

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Jorge Ângelo Cassian Battistella

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Bolsista IC/CNPq.

Rejane Helena Ribeiro da Costa

Doutora no INSA-Toulouse, França. Pós-Doutorado na Université Montpellier I, França. Professora Titular da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário. Caixa Postal: 476 - Trindade - Florianópolis- SC - CEP: 88010-970 - Brasil - Tel: (48) 3721-7743 - e-mail: marielejungles@ens.ufsc.br

RESUMO

Na busca de alternativas adequadas para a proteção da qualidade da água em meio urbano é essencial o controle da eutrofização desses ambientes. Sob essa ótica, destaca-se a remoção dos nutrientes (nitrogênio e o fósforo) presentes nos esgotos sanitários. Atualmente, estão sendo pesquisados em todo mundo os reatores em bateladas sequenciais com grânulos aeróbios, os quais apresentam como principal vantagem a co-existência de organismos nitrificantes, desnitrificantes e os removedores de fósforo em um único ambiente, como resultado da presença de zonas aeróbias, anóxicas e anaeróbias nos grânulos, devido à limitação da difusão de oxigênio nos mesmos. O objetivo do presente trabalho de pesquisa foi o estudo de tratamento biológico de esgoto sanitário utilizando reator operado em bateladas sequenciais com grânulos aeróbios (RBSG). O reator, em escala piloto, com volume aproximado de 11 L, alimentado com mistura de esgoto sanitário e solução de Acetato de Sódio, foi operado em ciclos com duração de 6 horas cada. Nestas condições, os resultados preliminares evidenciaram a formação dos grânulos e o reator apresentou remoção de DQOs e DBO em torno de 80%, mesmo com elevada concentração do esgoto afluente ($> 1000\text{mg/L}$). A conversão da amônia foi de 49% ao final dos ciclos, apresentando concentrações finais de acordo com os padrões de lançamento do CONAMA 357/2005 ($\leq 20\text{ mg/L}$). O NTK foi removido em cerca de 48%. Para o fósforo a remoção foi de 74% em PO_4^{3-} , com concentração final de $1,0\text{ mg/L}$, atendendo a Legislação Ambiental de Santa Catarina para lançamento em corpos receptores contribuintes de ambientes lênticos.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto Sanitário, Grânulos Aeróbios, Reator em Bateladas Sequenciais.

INTRODUÇÃO

Um dos resultados do lançamento de esgotos sem tratamento prévio é a poluição das águas, especialmente por nutrientes (nitrogênio e fósforo). O lançamento excessivo desses nutrientes cria condições favoráveis ao crescimento do fitoplâncton. Este fenômeno é denominado de eutrofização, e o mesmo provoca efeitos indesejáveis nos corpos hídricos, como problemas de odor, turbidez e baixo nível de oxigênio dissolvido, o que afeta a respiração de peixes, bênton e plâncton.

Os sistemas de tratamento de esgotos sanitários convencionais, normalmente removem a matéria orgânica e produzem elevada quantidade de lodo. Esses sistemas não são tão eficazes para remoção de compostos de nitrogênio e fósforo. Para remoções mais efetivas desses, necessita-se de desenvolvimento de novos processos e tecnologias, dentre os quais destacam-se os reatores com grânulos aeróbios.

Os reatores em bateladas sequenciais com grânulos aeróbios (RBSG) surgiram nas últimas décadas com a finalidade de desenvolver sistemas que melhorem os tratamentos convencionais por lodos ativados para a eliminação biológica de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo (MORGENROTH *et al.*, 1997). Estes novos sistemas são mais compactos e permitem obter elevadas concentrações de biomassa, com boa capacidade de sedimentação e alta atividade de degradação da matéria orgânica e de nutrientes. Os reatores realizam mistura da biomassa com um aporte de um fluxo de ar, o qual favorece a formação de grânulos aeróbios.

A definição de grânulos aeróbios surgiu no 1st IWA-Workshop on Aerobic Granular Sludge que ocorreu em Munich em Setembro de 2004, devido à grande diversidade de características de biomassa formada em cada caso de estudo. Os grânulos podem então ser definidos como: “Agregados de origem microbiana, que não coagulam abaixo de condições de força de estresse reduzidas e que sedimentam significativamente mais rápido que os flocos de lodos ativados”.

Neste contexto, a finalidade deste estudo foi de realizar o tratamento biológico de esgoto sanitário utilizando reator operado em bateladas sequenciais com grânulos aeróbios (RBSG) e otimizar o seu desempenho quanto à remoção de nutrientes, visando obter um efluente tratado dentro dos padrões de lançamento recomendados pela legislação ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

INSTALAÇÕES EXPERIMENTAIS

O estudo foi realizado no Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em parceria com o Departamento de Engenharia Química da Escola de Engenharia da Universidade de Santiago de Compostela (USC) – Galícia, Espanha.

O sistema de tratamento experimental está composto conforme mostra a Figura 1.

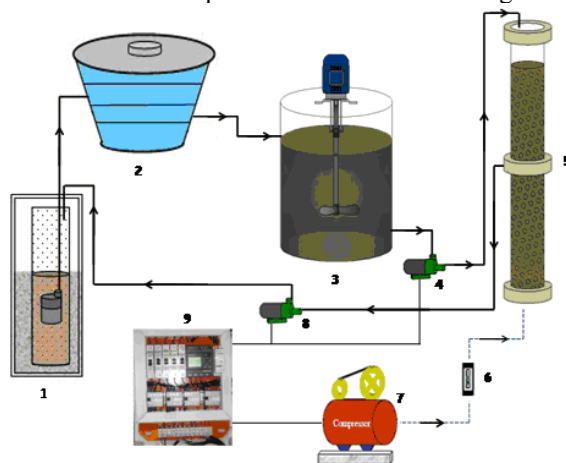


Figura 1: Sistema Experimental - (1) poço de visita; (2) tanque de armazenamento; (3) tanque intermediário com misturador; (4) bomba de alimentação; (5) reator (RBSG); (6) rotâmetro de controle da vazão de ar; (7) compressor de ar; (8) bomba para retirada do efluente; (9) painel de comandos elétricos.

O reator RBSG, em escala piloto, é constituído por uma coluna cilíndrica em acrílico, com as seguintes dimensões: altura de 1,90 m e diâmetro interno de 0,09 m. A altura útil utilizada para o tratamento é de 1,75 m, o que corresponde a um volume máximo igual a 11,13 L. A duração de cada ciclo foi de 6 horas. (Figura 2).

A aeração foi feita utilizando um compressor, que envia o ar comprimido para o interior do reator, passando por um difusor circular de membrana, o qual permite a obtenção de bolhas finas. A linha de ar comprimido é composta por filtros, válvulas reguladoras de pressão e rotâmetro para medição da vazão em L/h.



Os valores aplicados inicialmente para passagem de ar foram de 0,39 cm/s. No entanto, Sturm & Irvine (2008) dizem que com velocidades menores de $1,2 \text{ cm.s}^{-1}$, os grânulos aeróbios não podem ser formados. Levando em conta este fator, a velocidade do reator foi aumentada para 1,26 cm/s.

O reator foi operado de forma automatizada, seguindo o funcionamento dos reatores em bateladas seqüenciais, sendo que o controle do tempo de cada fase dos ciclos (enchimento, reação biológica, sedimentação, retirada e repouso) foi realizado por um painel de comandos elétricos.



Figura 2: (a) reator RBSG; (b) detalhe da formação dos grânulos aeróbios no seu interior.

O reator foi inoculado com grânulos anaeróbios provenientes de um Reator Anaeróbio UASB, segundo procedimentos adotados por Ruan *et al.* (2006), o qual obteve ótimos resultados na formação de grânulos aeróbios em reatores em bateladas seqüenciais.

Devido às baixas concentrações de DQO ($\approx 200 \text{ mg DQO/L}$) no esgoto sanitário utilizado na pesquisa, adicionou-se a este uma fonte de carbono facilmente biodegradável. Uma solução de acetato de sódio (CH_3COOHNa) foi colocada no tanque intermediário duas vezes no decorrer da semana.

Foram adicionados 0,162 Kg de acetato (CH_3COOHNa) para 320 L do tanque intermediário, necessários para que ocorra a formação dos grânulos no reator, resultando nas concentrações apresentadas na Tabela 1, valores esses sugeridos por De Kreuk & van Loosdrecht (2004) e Mosquera-Corral *et al.* (2005).

Tabela 1: Características do esgoto necessárias pra a formação dos grânulos no RBSG (De Kreuk & van Loosdrecht, 2004; Mosquera-Corral *et al.*, 2005).

Parâmetro	Concentração	
	Unidade	Faixa
DQO	mg/L	200 - 1000
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20 - 200
Fósforo (Fosfato)	mg/L	5 - 25

MONITORAMENTO DO REATOR

O RBSG foi operado em regime de ciclo de 6 horas, com fases de enchimento (30 segundos), aeração constante (5 horas e 45 minutos), decantação (15 minutos) e retirada (30 segundos), sendo realizados 4 ciclos por dia (Tabela 2).

**Tabela 2: Coletas realizadas em dia de monitoramento dos ciclos (6 horas).**

Coleta	Tempo do Ciclo (6 horas)	Etapa
1	Esgoto bruto	-
2	Mistura	10 min.
3	01:00	aeróbia
4	02:00	aeróbia
5	03:00	aeróbia
6	04:00	aeróbia
7	05:00	aeróbia
8	05:45	Início decantação
9	06:00	Saída

Todas as amostras líquidas foram armazenadas em frascos coletores e encaminhadas ao Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA) para a realização das análises físico-químicas e biológicas. As metodologias utilizadas nas análises seguiram o recomendado pelo Standard Methods (APHA, 2005).

Os parâmetros analisados foram: pH, temperatura, condutividade e oxigênio dissolvido (através de sonda multiparâmetros YSI); Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e amoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$) (Equipamento VELP); Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV) e Sólidos Totais Fixos (STF) por gravimetria; demanda química de oxigênio (DQO) refluxo fechado (equipamento HACH); demanda bioquímica de oxigênio (DBO) método manométrico (equipamento HACH) carbono orgânico total (COT) (equipamento SHIMADZU); Fósforo total (PT) (colorimétrico com espectrofotômetro VARIAN); Nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$), Nitrito ($\text{NO}_3\text{-N}$), cloretos, sulfatos e ortofosfatos ($\text{PO}_4\text{-P}$) por cromatografia iônica (equipamento DIONEX 120).

Em paralelo foi feito o estudo dos grânulos (composição e estrutura física) utilizando observações microscópicas por microscopia ótica (com microscópio OLYMPUS Mod.BX 40).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o período do estudo, outubro a dezembro/2008, foram monitorados 4 ciclos completos, cujos valores médios de cargas aplicadas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Cargas médias aplicadas em 4 ciclos operacionais de 6 horas.

Parâmetros	Cargas
$\text{CV}_{\text{DQO}}(\text{KgDQO}/\text{m}^3.\text{dia})$	3,8
$\text{CV}_{\text{CH}_3\text{COOHNa}}(\text{KgDQO}/\text{m}^3.\text{dia})$	0,27
$\text{CV}_{\text{TOTAL}}(\text{KgDQO}/\text{m}^3.\text{dia})$	4,07
$\text{CV}_{\text{NH}_4^+}(\text{KgNH}_4^+/\text{m}^3.\text{dia})$	0,07
$\text{CV}_{\text{PT}}(\text{KgPO}_4\text{-P}/\text{m}^3.\text{dia})$	0,006

Os valores médios dos resultados das análises efetuadas para os 4 ciclos operacionais monitorados estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4: Valores médios dos parâmetros medidos durante os 4 ciclos operacionais monitorados.**

	<i>DQOs</i> (mg/L)	<i>DQOt</i> (mg/L)	<i>COT</i> (mg/L)	<i>DBO₅</i> (mg/L)	<i>SS</i> (mg/L)	<i>ST</i> (mg/L)	<i>STF</i> (mg/L)	<i>STV</i> (mg/L)	<i>pH</i>	<i>T</i> °C
Entrada	1401	2338	2070	1179	1550	2170	1474	696	8,2	18
Mistura	1173	-----	1251	-----	5288	-----	-----	-----	8,1	18
01:00	1053	-----	933	-----	5975	-----	-----	-----	8,3	18
02:00	811	-----	644	-----	6625	-----	-----	-----	8,2	19
03:00	726	-----	550	-----	7375	-----	-----	-----	8,3	21
04:00	653	-----	474	-----	7600	-----	-----	-----	8,1	22
05:00	472	-----	398	-----	7275	-----	-----	-----	8,2	22
05:45	382	-----	325	-----	8925	-----	-----	-----	8,2	22
06:00	289	628	314	260	2988	1679	1286	393	8,2	22

	<i>Alcalinidade</i> (mgCaCO ₃ /L)	<i>Turbidez</i> NTU	<i>NTK</i> (mg/L)	<i>NH₄-N</i> (mg/L)	<i>NO₂-N</i> (mg/L)	<i>NO₃-N</i> (mg/L)	<i>PO₄-P</i> (mg/L)	<i>OD</i> (mg/L)	<i>Conduct.</i> (mS.cm)
Entrada	121	125	83	40	ND*	0,6*	3,8*	4,8	0,251
Mistura	124	269	72	31	0,9*	0,1*	2,1*	6,2	0,239
01:00	123	373	84	31	1,6*	0,7*	2,3*	6,6	0,243
02:00	125	328	87	30	2,7*	1,3*	2,0*	6,5	0,232
03:00	123	453	81	25	3,6*	1,9*	1,9*	7,3	0,248
04:00	131	401	93	24	3,9*	2,1*	1,9*	6,7	0,242
05:00	129	393	79	22	4,8*	2,9*	1,7*	6,9	0,213
05:45	111	400	82	28	5,9*	3,7*	1,7*	5,6	0,224
06:00	112	65	44	16	6,2*	3,9*	1,0*	5,2	0,224

Obs. ND= não detectado ; n* = 1

A temperatura variou entre 18 e 22°C, estando abaixo dos valores ideais para ocorrência de nitrificação (EPA, 1993) e desnitrificação (von SPERLING, 2002).

O pH variou pouco ao longo dos ciclos e ficou dentro da faixa ideal ($\approx 8,2$) para a ocorrência de nitrificação/desnitrificação, conforme Jordão & Pessoa (2005).

A alcalinidade foi pouco consumida durante o processo, evidenciando o poder tampão da mistura de esgoto sanitário e solução de acetato de sódio.

A turbidez foi reduzida em 48%, enquanto os ST foram removidos em apenas 23%. Esse baixo rendimento deve-se a não estabilização dos grânulos, que nessa fase estavam em processo de formação, havendo ainda muita perda de material celular (lodo) no efluente final.

As concentrações iniciais e finais de DQO, DBO e COT evidenciam que houve remoção dos compostos orgânicos. A transformação da amônia no sistema por meio de processo biológico de nitrificação ocorreu com pequena intensidade, com valores máximos de NO₂- N e NO₃- N de 6,2 mg/L e 3,9 mg/L, respectivamente. O balanço dos compostos de nitrogênio mostra que aconteceu também o processo de desnitrificação.

Na Figura 3 apresenta-se a concentração de oxigênio dissolvido ao longo dos ciclos. Esse foi sempre controlado de forma que se obtivesse valores acima de 5 mg/L necessários para a formação dos grânulos, conforme Sturm & Irvine (2008).

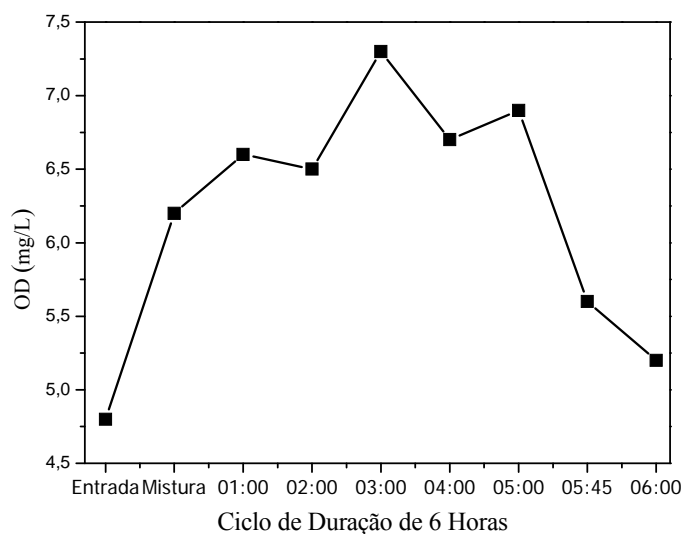


Figura 3: Concentração de oxigênio dissolvido no RBSG ao longo dos ciclos monitorados (n = 4).

A concentração de DQOs vai diminuindo ao longo do ciclo, conforme apresentado na Figura 4. A DQOs deveria ser toda consumida caso os grânulos estivessem bem formados, já que as bactérias que armazenam o substrato são as formadoras de grânulos. Desta forma, de acordo com Leiro (2006), faz necessário otimizar o consumo do substrato para que não haja competição entre as bactérias formadoras de grânulos e as bactérias filamentosas, e os grânulos possam prevalecer no reator RBSG.

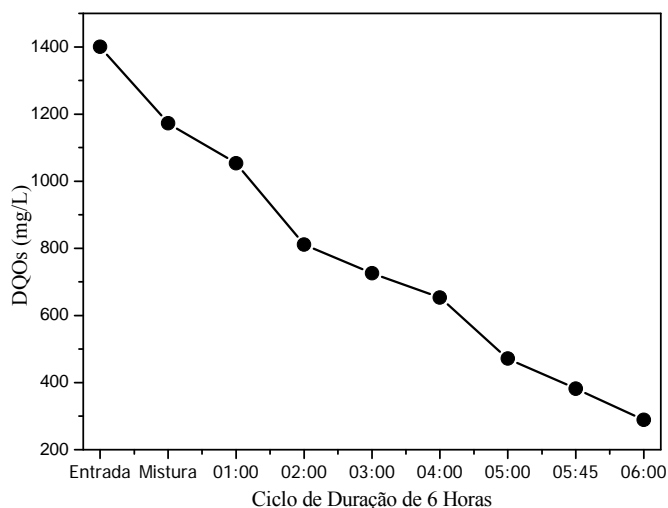


Figura 4: Concentração de DQOs ao longo dos ciclos monitorados (n = 4).

Na Figura 5 tem-se as eficiências médias de remoção de DQOs, $\text{NH}_4\text{-N}$, NTK, DQOt, $\text{PO}_4\text{-P}$. Quanto à remoção da matéria carbonácea, o sistema mostra-se eficiente, sob o ponto de vista da legislação com remoção de DQOs e DBO em torno de 80%, mesmo com elevada concentração do esgoto afluente ($> 1000\text{mg/L}$). Ressalta-se que a remoção de COT foi de 85% (Tabela 4). A conversão da amônia foi de 49% ao final dos ciclos, apresentando concentrações finais de acordo com os padrões de lançamento do CONAMA 357/2005 ($\leq 20\text{ mg/L}$). O NTK foi removido em cerca de 48%.

Para o fósforo observa-se remoção de 74% em $\text{PO}_4\text{-P}$, chegando o efluente com concentração final de $1,0\text{ mg/L}$, atendendo a Legislação Ambiental de Santa Catarina para lançamento em corpos receptores



contribuintes de ambientes lânticos. A concentração de fosfato foi diminuída ao longo do ciclo mostrando que ocorre a remoção do fósforo durante as primeiras fases de operação do RBSG (Tabela 4). Para Zhu *et al.* (2005), a remoção de fósforo por mecanismos biológicos é mais eficiente com maior tempo de operação do RBSG, quando os grânulos já estão bem desenvolvidos. No caso do fósforo, os dados apresentados referem-se a apenas 1 ciclo monitorado, portanto, necessitando confirmação com mais análises.

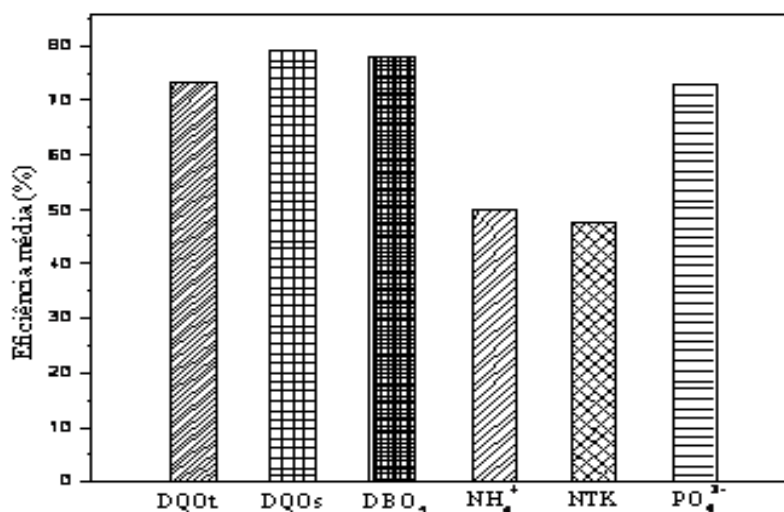


Figura 5: Eficiências médias de remoções para DQOs, NH₄⁺, NTK, DQOt, PO₄³⁻.

Os primeiros resultados do estudo dos grânulos (composição e estrutura física) através de observações microscópicas mostram a evolução na formação dos grânulos (Figura 6), que aos poucos estão constituindo a biomassa principal do processo de tratamento.

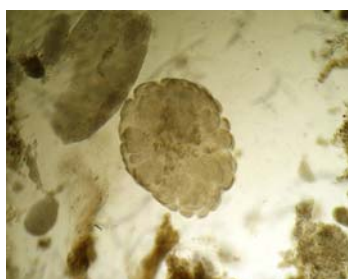


Figura 6: Microscopia do lodo com 2 semanas de funcionamento do RBSG (Aumento de 400x).

Com três semanas de funcionamento já se percebe a aglutinação dos microrganismos por polímeros extracelulares para formação de grânulos (Figura 7).



Figura 7: Microscopia com 3 semanas de funcionamento do RBSG (Aumento 400x).



CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O sistema mostra-se eficiente, com remoção de DQOs e DBO em torno de 80% e COT de 85%. A conversão da amônia foi de 49% ao final dos ciclos, apresentando concentrações de acordo com os padrões de lançamento do CONAMA 357/2005 (≤ 20 mg/L). Houve remoção de 74% em $\text{PO}_4\text{-P}$, com concentração final de 1,0 mg/L, atendendo a Legislação Ambiental de Santa Catarina para lançamento em corpos receptores contribuintes de ambientes lênticos.

Faz-se necessário tempo de sedimentação mais curto, para que a biomassa que não granule possa sair mais rapidamente do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 Ed., Washington, 2005.
2. CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução N°357, de 17 de março de 2005, <http://www.mmagov.br/port/CONAMA/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em 10/04/2009.
3. DE KREUK, M. K.; DE BRUIN, L. M. M. Aerobic Granule Reactor Technology. Water and Wastewater Practitioner. Series: STOWA Report, IWA Publishing, London, England, 2004.
4. EPA, United States Environmental Protection Agency. Manual Nitrogen Control. Technomic Publishing, Washington, USA, 311 pp., 1993.
5. JORDAO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4. ed. Belo Horizonte: Segrac Editora, v. 1, 906 p., 2005.
6. LEIRO, M.F. Operación y caracterización de biomassa granular en reactores secuenciales (SBR). Trabajo de Investigación Tutelado de la Universidad de Santiago de Compostela, 2006.
7. MORGENROTH, E.; SHERDEN T.; van LOOSDRECHT M. C. M.; HEIJNEN, J. J.; WILDERER, P.A. Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor. Wat. Res., v.31, p. 3191-3194, 1997.
8. MOSQUERA-CORRAL, A.; KREUK, M. K.; HEIJNEN, J. J.; van LOOSDRECHT, M. C. M. Effects of oxygen concentration on N-removal in an aerobic granular sludge reactor. Water Research 39, 2676-2686, 2005.
9. RUAN, W.; HUA, Z.; CHEN, J. Simultaneous nitrification and denitrification in an aerobic reactor with granular sludge originating from an upflow anaerobic sludge bed reactor. Water Environment Research, v. 78, 8, 792-796, 2006.
10. STURM, M. B. S.; IRVINE, L. Dissolved oxygen as key parameter to aerobic granule formation. Water Science & Technology, v. 58, n. 4, p. 781-787, 2008.
11. ZHU, J.; LIU, C.; WILDERER, A. P. Bio-P removal profile of aerobic granular activated sludge. In: Aerobic Granular Sludge. Water and Environmental Management Series. IWA Publishing. Munich, p. 15-24, 2005.
12. von SPERLING, M. Lodos Ativados. Vol.4. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG. 2ªEd. 428p. 2002.