

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Dimensionamento e Análise Multicritério de Sistemas de Lodos Ativados para o Município de Itajubá-Mg¹

Nathália Duarte Braz Vieira² e Ivan Felipe dos Santos Silva³

¹Aceito para Publicação no 4º Trimestre de 2015

²Engenheira ambiental (UFOP – MG) e mestranda em engenharia de energia pela UNIFEI, Av, BPS, 1302, Itajubá- MG, CEP: 37500-903. nathaliadbv@unifei.edu.br

³Engenheiro hídrico e mestrando em engenharia de energia pela UNIFEI, Av, BPS, 1302, Itajubá- MG, CEP: 37500-903, tel (35) 84663595. ivanfelipeceice@hotmail.com

Resumo

O tratamento de efluentes sanitários é assunto de grande importância no cenário atual, não somente pela preocupação ambiental com o lançamento destes efluentes em corpos hídricos, mas também pela possibilidade de aproveitamento energético nestes sistemas através do biogás gerado nos reatores. Em cidades de médio porte, muitas vezes a implantação destes sistemas se torna inviável dada a necessidade de aplicação de altos investimentos, requisitos locais a serem atendidos, dentre outros, comprometendo a saúde pública e meio ambiente local. No entanto, o aproveitamento do biogás tem promovido atratividade para estes sistemas. Dessa forma, o presente estudo buscou avaliar os requisitos de área, consumo energético e produção de metano de um sistema de lodos ativados para o município de Itajubá-MG, de modo a promover um diagnóstico da implantação destes sistemas, como apoio a tomadas de decisão no futuro.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes, lodos ativados, biogás.

DIMENSIONING AND MULTICRITERIA ANALYSIS OF ACTIVATED SLUDGE SYSTEMS FOR THE MUNICIPALITY OF ITAJUBÁ-MG

Abstract

The wastewater treatment is subject of great importance in the current scenario, not only for environmental concern with the effluents discharge into aquatic system, but also by the possibility of energy use through the biogas generated in the reactors. In medium-sized cities, often the implementation of these systems is not feasible due to the need to apply high investments, fulfill site requirements, among others, affecting public health and environment. However, the use of biogas has promoted attractiveness for these systems. Thus, this study searched to evaluate area requirements, power consumption and methane production of an activated sludge system for the city of Itajubá-MG, in order to promote a diagnosis of deployment of these systems, in support of decision making in the future.

Keywords: Wastewater treatment, activated sludge, biogas.

Introdução

A disposição e tratamento adequado dos esgotos são essenciais, pois estes podem transmitir doenças, contaminar águas e alimentos, constituindo uma questão de saúde pública e preservação ambiental. Atualmente no Brasil, 54,16% dos esgotos sanitários são coletados, sendo que 69,42 % destes despejos recebem algum tipo de tratamento(SNIS, 2013).

Segundo a pesquisa nacional do saneamento básico (IBGE, 2010a), quanto maior a população do município, maior a proporção de domicílios com serviço de esgoto. Os municípios com mais de 300.000 habitantes têm quase três vezes mais domicílios ligados à rede geral de esgoto do que os domicílios em municípios com população até 20.000 habitantes. Atribui-se a este fato as deficiências de recursos e investimentos em sistemas de coleta e tratamento de esgotos, muitas vezes de alto valor para os municípios em questão. Entretanto, 89,0% dos municípios brasileiros possuem até 50.000 habitantes (IBGE, 2010b), mostrando a importância de se viabilizar investimentos para implantação destes sistemas em cidades deste porte.

O sistema de esgotamento sanitário brasileiro apresenta um consumo médio de 0,23 kWh/m³ de esgoto tratado (SNIS, 2013). Logo, o aproveitamento energético destes efluentes tem se mostrado uma alternativa não só para a disposição final do resíduo final gerado (lodo),

mas mostra-se também uma alternativa econômica, por meio do biogás produzido em reatores anaeróbios, que pode ser utilizado na geração de eletricidade para consumo na própria instalação ou geração de receitas com venda; ou injetado na rede de gás local, após tratamento prévio, fatores que podem viabilizar a implantação destes sistemas em cidades de pequeno/médio porte.

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado no mundo para o tratamento de despejos domésticos e industriais, em situações onde se necessita de um efluente de elevada qualidade, com requisitos de área reduzidos, pela recirculação de sólidos, que faz com estes permaneçam no sistema por um tempo superior ao líquido, garantindo a biomassa tem tempo suficiente de metabolizar toda matéria orgânica presente nos esgotos. Nestes sistemas, a biomassa aumentada por reprodução, conhecida como *lodo biológico excedente*, deve ser retirada para manutenção do equilíbrio e eficiência do sistema, constituindo assim um efluente de grande interesse para o aproveitamento energético em biodigestores (VON SPERLING, 1997).

O sistema de lodos ativados pode ser do tipo convencional, que é composto de um decantador primário, onde parte da matéria orgânica dos esgotos é retirada (o que permite economia de energia para a aeração); tanque de aeração (etapa biológica do tratamento); e decantador secundário, onde o efluente final clarificado é enviado ao corpo receptor, e separado do lodo excedente, ainda ativo, que é recirculado ao tanque, como mostra a Fig.1.

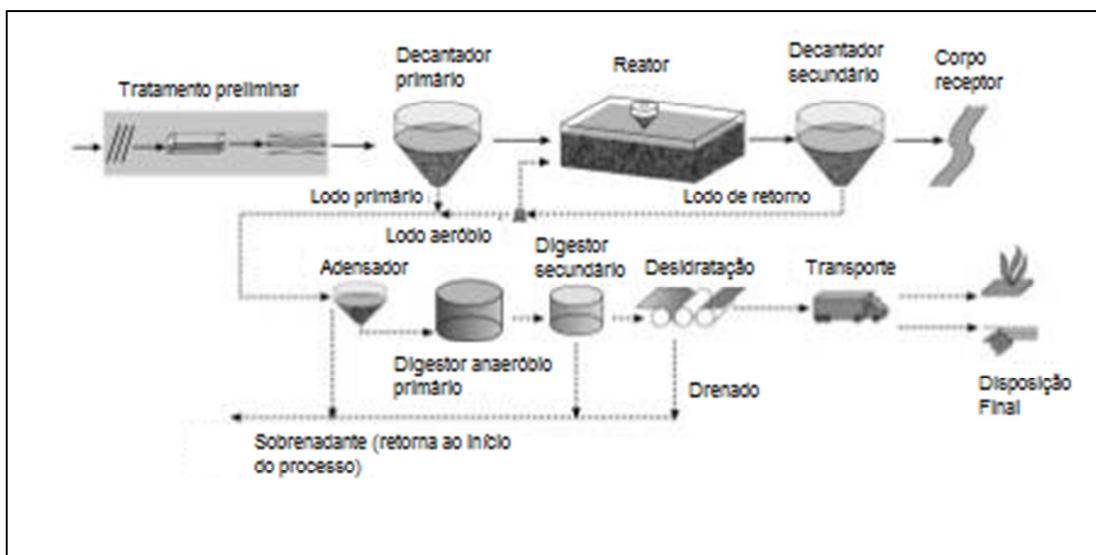


Figura 1 - Fluxograma de um sistema de lodos ativados convencional. Fonte: Chernicharo (2001).

Este sistema pode ser também do tipo aeração prolongada, onde a biomassa permanece no sistema por um período mais longo (18 a 30 dias), o que reduz a matéria

orgânica por unidade de volume de tanque, levando as bactérias a metabolizarem a própria matéria orgânica decorrente de suas células, estabilizando a biomassa. Desse modo, busca-se evitar a geração de lodos não estabilizados, o que elimina a necessidade de decantadores primários nesses sistemas, simplificando o processo. No entanto, o gasto energético com aeração é maior.

Segundo Von Sperling (1997), para estações entre 20.000 e 100.000 habitantes, são necessários estudos técnicos e econômicos para tomada de decisão em relação ao sistema de tratamento utilizado, pois, em estações menores, a simplicidade operacional tem grande peso, enquanto que nas estações maiores (acima de 100.000 habitantes), a economia de energia possui grande importância. Logo, a seleção pode partir de estudos econômicos, ou simplesmente da comparação de volumes, áreas, potências requeridas, obtidas em pré-dimensionamentos efetuados, como realiza este trabalho.

Materiais e métodos

Parâmetros e coeficientes do modelo adotados:

Segundo Von Sperling (1997), alguns valores típicos são adotados para o dimensionamento dos sistemas. A tabela 1 apresenta um quadro resumo dos parâmetros adotados:

Tabela 1 - Parâmetros adotados para dimensionamento. Fonte: adaptado de Von Sperling (1997)

Parâmetros	Sistema Convencional	Aeração Prolongada
Quota per capita de água (L/hab.dia)	170	
Coeficiente de retorno (C)	0,8	
Carga de DBO per capita (kgDBO/hab.dia)	0,054	
Carga de DQO per capita (kgDQO/hab.dia)	0,100	
Carga de SS per capita (kgSS/dia)	0,060	
Eficiência de remoção de DBO no decantador primário	30%	Não se aplica
Coeficiente de produção celular (Y) (kg/kg)	0,6	
Coeficiente de respiração endógena (K_d) (d^{-1})	0,08	
Fração biodegradável de sólidos (f_b)	0,72	0,58
Idade do lodo (dias)	7	24
Tempo de retenção hidráulica (horas)	7	20
Relação SSV/SST do esgoto bruto	0,8	
Profundidade útil dos reatores (h) (m)	4	
Comprimento dos reatores (m)	32	57,2

Largura dos reatores (m)	8	14,3
Taxa de aplicação hidráulica (TAH) (m ³ /m ² .h)	1,0 (Q _{méd}) e 1,85 (Q _{máx})	0,5 (Q _{méd}) e 1,2 (Q _{máx})
Taxa de aplicação de sólidos (TAS) kg/m ² .h)	5,0 (Q _{méd}) e 10 (Q _{máx})	3,0 (Q _{méd}) e 7,0 (Q _{máx})
Concentração do lodo de retorno (mg/L)	10.000	

Projeção da população e da vazão a ser atendida:

O modelo de projeção populacional escolhido para aplicação no presente trabalho foi o modelo logístico de crescimento, inicialmente apresentado por Verhust, e posteriormente aplicado por diversos autores, tais como Barros (2012). A partir da população de projeto, e utilizando valores de quota per capita de consumo de água (QPC) e coeficiente de retorno (C), a vazão média de projeto foi calculada. A partir desta, calculou-se a vazão máxima, utilizando o coeficiente do dia de maior consumo (k1) e o coeficiente da hora de maior consumo (k2), iguais a 1,2 e 1,5 respectivamente.

Cálculo da concentração de sólidos em suspensão no reator:

Para este trabalho, o dimensionamento dos sistemas foi realizado utilizando a DBO como variável representativa da matéria carbonácea. A partir da contribuição per capita de DBO, calcula-se a concentração do efluente, pela equação 1.

$$S_0 = \frac{QPC_{DBO}}{Q_{méd}} * Pop. * 1000 \quad (1)$$

Onde: QPC_{DBO} – Contribuição per capita de DBO [kg/hab.dia]; Q_{méd} – Vazão média [m³/d]; 1000 – fator de correção de unidades [mg/L]

A concentração final do efluente foi calculada considerando-se uma eficiência de 95,0% de remoção ao sistema. Segundo Von Sperling (1997), 30% da DBO já é removida nos decantadores primários. Logo, a distribuição de sólidos será contabilizada de forma diferente para os sistemas convencional e prolongado.

Para se obter a concentração de sólidos suspensos voláteis em um sistema com recirculação, foi utilizada a equação 2. Para um sistema sem recirculação, visto que a idade do lodo é igual ao tempo de detenção hidráulica, a equação fica simplificada a primeira parcela, pois $\theta_c = t$.

$$X_v = \frac{Y \cdot (S_0 - S)}{1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta_c} \cdot \frac{\theta_c}{t} \quad (2)$$

Onde: Y – coeficiente de produção celular (kg/kg); θ_c – Idade do lodo; S_0 – Concentração de DBO afluente [mg/L]; S – Concentração de DBO efluente [mg/L]; f_b – fração biodegradável do SSV gerados no sistema submetidos a uma idade de lodo θ_c ; K_d – Coeficiente de respiração endógena (d^{-1}); t – tempo de detenção hidráulica do reator;

Cálculo do volume do reator e da área requerida:

O volume do reator (V) é calculado em termos de DBO removida (S_r), como mostra a equação 3:

$$V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot (S_0 - S)}{X_v \cdot (1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c)} \quad (3)$$

Desse modo, a área requerida e o dimensionamento dos reatores serão dados por:

$$A_{requerida} = \frac{V}{H_{util}} \quad (4)$$

$$n = \frac{A_{requerida}}{L \cdot B} \quad (5)$$

Onde: H_{util} – Altura útil do reator [m]; n – número de reatores; L – comprimento dos reatores [m]; B – largura [m].

Para o decantador secundário, a área requerida é calculada baseando-se na taxa de aplicação de sólidos (TAS) e taxa de aplicação hidráulica (TAH), tanto para a vazão média quanto para a máxima, aplicando valores pré-determinados para TAS e TAH, conforme as equações 6 e 7, adotando-se o maior valor obtido. A vazão de recirculação é obtida pela multiplicação da vazão média pela razão de recirculação R, tipicamente adotada entre 0,7 e 1,2 (VON SPERLING, 1997).

$$A = Qi/TAH \quad (6)$$

$$A = (Qi + Qr) \cdot X / (1000 \cdot TAS) \quad (7)$$

Onde: i – cálculo para vazão média e vazão máxima; Qr – vazão de recirculação; X – Concentração de sólidos no reator [g/m^3];

Cálculo da produção de lodo excedente e da vazão diária produzida:

Os sólidos totais a serem removidos pelo sistema são dados em função dos sólidos suspensos voláteis totais do afluente (SSVTA), pela relação sólidos suspensos voláteis por sólidos suspensos (SSV/SS). A partir dessa relação, obtêm-se o volume de lodo a ser removido diariamente no reator, calculado primeiramente por:

Produção líquida de lodo excedente:

A produção do lodo excedente é calculada pela diferença entre a produção bruta de sólidos voláteis no reator (X_v), e a destruição da matéria orgânica biodegradável (X_b), dada pela equação 8:

$$P_{XV} = Y \cdot Q \cdot (S_0 - S) - K_d \cdot f_b \cdot X_v \cdot V \quad (8)$$

A partir da relação SSV/SS (0,8), a produção bruta (P_x) foi calculada.

A partir da aplicação da equação acima, tem-se que a remoção de lodo excedente (vazão diária a ser extraída) diretamente do reator, é dada pela divisão do volume do reator em relação à idade do lodo. No entanto, para sistemas onde há recirculação de lodo, a vazão diária a ser extraída é dada por:

$$Q_{ex} = \frac{V}{\theta_c} \cdot \frac{X}{X_r} \quad (9)$$

Onde: X – concentração de sólidos suspensos no reator (mgSS/L); e X_r – concentração do lodo de retorno (8.000 a 12.000 mg/L)

Desse modo, a carga diária a ser extraída é a multiplicação da vazão excedente pela concentração do lodo de recirculação.

Requisitos de oxigênio e energético dos sistemas

O requisito de oxigênio é importante parâmetro, pois esta relacionado ao consumo energético dos sistemas de lodos ativados. O cálculo deste parâmetro foi feito através da equação 10:

$$RO = Q \cdot (S_0 - S) \cdot \left(1,46 - \frac{1,42 \cdot Y}{1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c} \right) \quad \left[\frac{kg}{d} \right] \quad (10)$$

Adotando-se uma eficiência de oxigenação padrão de 1,8 kgO₂/kWh (VON SPERLING, 1997), para aeração mecânica, é possível obter a potência requerida pelo sistema e o consumo de eletricidade.

Cálculo da produção de biogás:

Cassini (2003) sugere uma metodologia para cálculo do biogás gerado pelo tratamento do lodo em biodigestores, utilizando como parâmetro a DQO e as equações 11, 12 e 13.

Produção de metano:

$$DQO_{CH_4} = Q_{méd} [(S_{0(DQO)} - S) - (Y_{obs} * S_{0(DQO)})] \quad (11)$$

Onde: Y_{obs} – coeficiente de produção de sólidos em termos de DQO (adotado 0,16) (kg lodo/kg DQO aplicada); $(S_0 - S)$ – DQO removida (considerando 70% de eficiência) (mg/L);

Fator de correção da temperatura operacional do reator:

$$K(t) = \frac{P \cdot K}{R \cdot (273 + t)} \quad (12)$$

Onde: P – pressão (1 atm); K – COD correspondente a um mol de CH_4 (64g DQO/mol); t – temperatura média do esgoto (adotado padrão de 23°C); e R – constante universal dos gases (0,08206 atm.L/mol.K);

Vazão diária de metano:

A vazão diária de metano produzida é dada então, pela relação:

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4} / K(t) \quad (13)$$

Considerando que o metano produzido representa 60% da composição do biogás, podemos obter o volume de biogás produzido, pela divisão do valor encontrado por 0,6.

Resultados e Discussões

População e vazão de projeto:

A população de projeto obtida para este estudo foi de 98.952 habitantes em 2035. De porte deste valor, e dos parâmetros de quota per capita e coeficiente de retorno, foram obtidas as vazões média e máxima (560 m³/h e 1009,31 m³/h, respectivamente), para um horizonte de projeto de 20 anos.

Análise do volume, número de reatores e requisitos de área para os sistemas.

Conhecendo a vazão de projeto e adotando-se os parâmetros da Tabela 1, foram aplicadas as equações 1 a 7, alcançando os seguintes resultados:

Tabela 2 - Aspectos relacionados ao tamanho do reator

	Sistema Convencional	Aeração Prolongada
Concentração afluente ao reator (mgDBO/L)	277,94 (30% foi removido no decantador primário)	397,06
Concentração desejada do efluente p/ eficiência de 95% (mgDBO/L)	19,85	19,85
Concentração de sólidos voláteis no reator - X_v (kgSSV/m ³ .d)	0,15 (sem recirculação) e 2,65 (com recirculação)	0,22 (sem recirculação) e 3,09 (com recirculação)
Volume do reator (m ³)	3925	11215
Área requerida (reatores) (p/ h=4,0m) (m ²)	872	2492
Número de reatores para as dimensões padrão	3	3
Área requerida para os decantadores secundários (m ²)	803,18	1121,5

Como era esperado, o volume do reator e o requisito de área para o sistema convencional é inferior ao de aeração prolongada (65,0% menor para os reatores e 40% menor para os decantadores secundários). Este fato se deve ao maior tempo de retenção hidráulica necessário aos sistemas de aeração prolongada que, por consequência, acabam por aumentar a concentração de sólidos suspensos no reator, interferindo diretamente no volume e área ocupado por este. No entanto, vale ressaltar a existência do decantador primário no sistema convencional, o que diminui a diferença do requisito de área entre os sistemas. Contudo, para este trabalho, este equipamento não foi dimensionado.

Análise da produção de lodo excedente nos reatores

A produção de lodo excedente ou lodo secundário é de grande importância para o aproveitamento energético, pois, a partir da biodigestão deste, é possível produzir o biogás. Para cálculo desta parcela neste estudo, foram aplicadas as equações 10, 11 e 12, obtendo-se os seguintes resultados (Tabela 3).

Comparando-se os sistemas, percebe-se que a produção de lodo no sistema convencional é relativamente maior do que nos sistemas de aeração prolongada. Este fato se deve ao maior tempo de detenção hidráulica dos lodos nestes sistemas, o que contribui não só para a estabilização da biomassa, mas para redução na produção de lodo. Comparando os sistemas com e sem recirculação, vemos que a produção é maior nos sistemas que não

recirculam. Isso se deve ao fato de que parte do lodo é retornado ao reator, reduzindo o volume excedente a ser biodigerido.

Tabela 3 - Produção de lodo no reator.

	Sistema Convencional	Aeração Prolongada
Produção de lodo excedente (kgSS/dia)		
<i>Sem recirculação</i>	2561,91	3665,91
<i>Com recirculação</i>	1856,83	1804,50
Vazão diária a ser extraída (m ³ /d)		
<i>Diretamente do reator</i>	560,73	467,27
<i>Na linha de recirculação</i>	24,73	20,61
Carga diária a ser extraída (KgSS/d)		
<i>Diretamente do reator</i>	1856,83	1715,35
<i>Na linha de recirculação</i>	247,28	206,07

Análise do consumo energético

Aplicando-se a equação 10 e uma eficiência de aeração mecânica padrão de 1,8 kg O₂/kWh, os resultados de consumo de oxigênio e de eletricidade foram obtidos (Tabela 4).

Tabela 4 - Requisito de oxigênio e consumo de eletricidade diário.

	Sistema convencional	Aeração prolongada
Requisito de O ₂ (KgO ₂ /d)	123,4	215,18
Consumo energético diário (kWh)	68,6	124,1

A partir da tabela 4, verifica-se que o consumo de energético nos sistemas de aeração prolongada é 1,8 vezes maior do que o consumo do sistema convencional. Este fator é atribuído ao grande requisito de oxigênio pela respiração da grande quantidade de biomassa presente, e pela inexistência de decantação primária, o que eleva a carga de sólidos no reator.

Produção de biogás

Aplicando-se as equações 11, 12 e 13, a produção de biogás para este sistema foi estimada, encontrando valores de 1652,6 m³ CH₄/d e 2754,4 m³ biogás/d. Vale ressaltar que, para os sistemas de aeração prolongada, a biomassa já sai do reator estabilizada, o que inviabiliza a geração de biogás a partir deste resíduo para aproveitamento energético.

Conclusões

A partir dos valores encontrados, podemos inferir que os sistemas de lodos ativados convencionais são mais vantajosos do que os sistemas de aeração prolongada tanto em termos de área, consumo energético (consomem menos energia para oxigenação) e produção de

biogás (podem gerar biogás a partir da biodigestão do lodo de seus reatores). Entretanto, analisando sob a ótica de purificação do efluente a ser descartado, ao manter a biomassa por mais tempo dentro do reator, os sistemas de aeração prolongada podem alcançar eficiências maiores de remoção de DBO, gerando um efluente secundário (lodo) já estabilizado, pronto para a disposição final. Para este estudo, como o dimensionamento foi feito considerando a mesma eficiência de remoção para ambos os sistemas, podemos concluir que, para o município de Itajubá no ano de 2035, os sistemas convencionais se apresentam como alternativamais viável, apresentando ainda a possibilidade de geração de biogás que, em uma análise posterior, pode vir a compensar este consumo energético destes sistemas.

Referências Bibliográficas

BARROS, R.M. Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012. 374p.

CASSINI, T., S. Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Coordenação Sérgio Túlio Cassini. Vol 3, Rio de Janeiro: Programa de pesquisa em saneamento básico (PROSAB), 2003, 210p.

CHERNICHARO, C. A. L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Coordenação Carlos Augusto Lemos Chernicharo. Rio de Janeiro: Programa Saneamento Básico (PROSAB), 2001.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão/IBGE, 2010.

_____. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão/IBGE, 2010.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto 2013, 2013.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de água residuárias – Volume IV: Lodos Ativados. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1ªed. 416p., 1997.