

II-465 – AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DO PROCESSO MBBR/IFAS VERSUS LODOS ATIVADOS TRATANDO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS – CONSIDERANDO O TRATAMENTO DO LODO

Daniel Vieira Minegatti de Oliveira ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa – UFV (2005). Mestre em Tecnologia de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ (2008). Doutorado do Programa de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – USP.

Roque Passos Piveli

Engenheiro civil pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP (EESC-USP). Doutor em engenharia hidráulica e sanitária pela Escola Politécnica da USP e Mestre em engenharia hidráulica e saneamento pela EESC-USP.

Endereço ⁽¹⁾: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Av. Prof. Almeida Prado, 271 – Butantã – São Paulo – SP – Brasil, CEP: 05508-900. Tel: +55(11)8618-4528. E-mail: daniel.minegatti@gmail.com

RESUMO

O processo MBBR/IFAS é uma tecnologia de desenvolvimento recente que incorpora as melhores características dos processos com crescimento de biomassa em suspensão e de biomassa aderida (biofilme). No interior do reator biológico mantém-se em suspensão meios suporte com elevada área superficial específica, que quando sujeitos à agitação promovida pelo sistema de aeração são expostos na massa líquida em suspensão e, consequentemente, os microrganismos decompositores são mantidos aderidos e em suspensão. Desta forma, em um mesmo volume de reator biológico é possível manter maior quantidade de biomassa e assim aportar maior quantidade de substrato para biodegradação. Seus parâmetros de controle são os mesmos aplicados ao processo de lodos ativados, observadas algumas especificidades. Como objetivo principal deste trabalho, apresenta-se uma análise comparativa entre os custos de implantação de uma nova unidade IFAS, lodos ativados convencional e lodos ativados por aeração prolongada para uma população de 50.000 e 100.000 habitantes, levando-se em consideração o custo estrutural da unidade em concreto armado, dos meios suporte utilizados ou não, do sistema de aeração, do decantador secundário, do processo de tratamento de lodo e da área requerida para instalação. Baseado nos resultados obtidos foi possível constatar que o emprego da tecnologia IFAS foi interessante para população superior a 120.000 habitantes, aproximadamente, ou caso valor do terreno fosse maior que R\$ 900,00/m².

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação Econômica, Lodos Ativados, MBBR/IFAS, Tratamento de Esgotos Domésticos, Tratamento do Lodo.

INTRODUÇÃO

O processo de lodos ativados é o processo biológico para o tratamento de efluentes mais aplicado no mundo e, em 2014 completará um século de existência. Sinteticamente, o princípio de funcionamento se baseia no contato entre o esgoto afluente e a biomassa (lodo biológico ou ativado), agitados e aerados (em unidades chamadas tanques de aeração), para logo após se separar esta biomassa pelo processo de sedimentação nos decantadores. A maior parte do lodo ativado, assim separado, retorna para o processo, enquanto uma parcela menor é retirada para tratamento específico ou destino final, o chamado lodo em excesso. O esgoto tratado verte superficialmente pelo decantador, no qual ocorreu a separação, caracterizando o efluente final.

A grande desvantagem do processo de lodos ativados é o elevado volume de lodo em excesso gerado. Deste modo, a fim de minimizar a geração de lodo, pode-se inserir o conceito de aeração prolongada, segundo o qual a taxa de produção de biomassa pode ser balanceada pela taxa de destruição devido a eventos de autodigestão (respiração endógena) em tempos de detenção celular elevados, de tal forma que a taxa de crescimento da biomassa aproxima-se de zero (JORDÃO & PESSÔA, 2009).

Já em relação aos processos “*Moving Bed Biofilm Reactor*” (MBBR) e “*Integrated Fixed Film Activated Sludge*” (IFAS), tem-se uma tecnologia recente que vem ganhando mercado e aplicação para o tratamento de efluentes, podendo ser traduzidos como Reator Biológico com Leito Móvel, que consiste em uma tecnologia adaptada ou não do processo de lodos ativados, baseada na combinação entre sistemas dos tipos massa líquida em suspensão e massa aderida (biofilme). Esta tecnologia foi induzida pelas autoridades responsáveis pelo controle de poluição da Noruega. A empresa norueguesa *Kaldnes Miljøteknologi A/S*, em parceria com a Universidade da Noruega, iniciou o desenvolvimento do processo MBBR/IFAS, objetivando principalmente a ampliação da capacidade de tratamento de grande quantidade das ETE de pequeno porte existentes no país, proporcionando ETE que ao mesmo tempo possuíam dimensões compactas e elevada capacidade de tratamento (ØDEGAARD *et al.*, 1994).

A diferença entre os processos MBBR e IFAS, resumidamente, é a recirculação de lodo que acontece no processo IFAS da mesma forma em que se aplica no processo de lodos ativados. Por isso, estes dois processos – lodos ativados e IFAS –, possuem elevada semelhança para seu dimensionamento e operação.

No interior do tanque de aeração do processo MBBR/IFAS é mantido em suspensão os meios suporte, que sujeito a agitação promovida pelo sistema de aeração, apresenta elevada mobilidade e, conseqüentemente, exposição e contato com a massa líquida em suspensão. Trata-se assim de um reator biológico híbrido, no qual os microrganismos são mantidos em suspensão no meio como também aderidos ao meio suporte.

O conceito para o emprego de meios suporte no reator biológico consiste na criação de área superficial para o crescimento de biomassa e elevação do tempo de retenção celular. A maior concentração de sólidos mantida aderida e em suspensão no reator permite o aumento da capacidade de decomposição da matéria orgânica carbonácea e da conversão de compostos nitrogenados, quando comparadas as que ocorrem no processo de lodos ativados. Nesse sentido, o processo demanda menores volumes para o reator biológico, reduzindo assim o custo da obra civil, constituindo alternativa atrativa para o aumento da capacidade de uma ETE, principalmente quando se tem maior restrição de área.

Seus parâmetros de controle são os mesmos aplicados ao processo de lodos ativados, guardada a especificidade de que a concentração de sólidos biológicos no tanque de aeração é também devida à biomassa aderida aos meios suporte e, por conseqüência, existe uma relação entre os volumes de meio suporte e do tanque de aeração. No controle de reatores com biomassa aderida, costuma-se relacionar a carga orgânica aplicada ao reator biológico com a área superficial total do meio suporte, aqui denominado Carga Orgânica Superficial (COS), expressa em $\text{gDBO}/\text{m}^2\cdot\text{d}$. Sendo este parâmetro que melhor pode ser associado a este processo.

O material utilizado para a fabricação dos meios suporte é usualmente polietileno ou polipropileno, cuja densidade varia entre 0,95 a 0,99 g/cm^3 ; diâmetro entre 10 e 45 mm e largura entre 7 e 30 mm tem sido empregados. A adição máxima de meios suporte ao tanque de aeração corresponde a 70% do seu volume. Apresentam-se, na Figura 1, alguns tipos de meio suporte empregados, atualmente, no processo MBBR/IFAS.

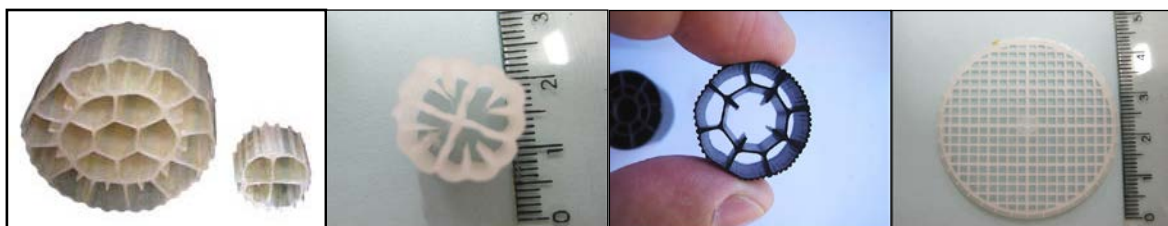


Figura 1: Meios suporte empregados no processo MBBR/IFAS

As diferentes configurações dos meios suporte resultam em diferentes áreas de contato, as quais podem ainda apresentar maior ou menor potencial para aderência de biomassa em função do arranjo e desenho geométrico da peça. Neste sentido, os meios suporte podem ser caracterizados tanto em função da superfície total disponível, assim como em função de uma parcela desta, a qual corresponderia à área em que realmente possibilita a efetiva aderência de biomassa. A área superficial específica destes meios suporte existentes no mercado variam desde 350 até 900 m^2/m^3 .

O volume de meios suporte normalmente inseridos no reator é de 20 a 70% do volume do tanque. Pois, para porcentagens inferiores a 20, há uma perda na eficiência de transferência de oxigênio pelo fato do baixo volume de meios suporte para efetivar a quebra das bolhas grossas produzidas. Já para porcentagens superiores a 70, não se obtém boa mistura dos meios suporte e o custo energético para fornecimento de oxigênio demandado pela elevada quantidade de biomassa torna-se elevado.

Dentre as principais vantagens desta tecnologia tem-se a obtenção de sistemas compactos e robustos aos picos de cargas orgânicas e hidráulicas e às variações de pH e temperatura; a possibilidade de supressão da operação de recirculação do lodo.

Em relação ao sistema de aeração empregado no processo MBBR/IFAS, deve-se levar em conta para o projeto o fornecimento de oxigênio para satisfazer a demanda adicional da biomassa, da DBO e/ou nitrogênio a ser oxidado e da manutenção dos meios suporte. Para isso, utiliza-se sistema de bolhas grossas ou médias, pois existem dados na literatura que indicam que os meios suporte favorecem a absorção de oxigênio por meio da quebra destas bolhas em bolhas finas e do tempo de retenção das bolhas no meio. Ressalta-se que, em casos de conversão de lodo ativado em MBBR/IFAS, a quantidade adicional de oxigênio requerida pelo aumento da carga orgânica aplicada, pode ser introduzida pelo sistema de aeração por bolhas finas pré-existente, instalando-se novos sopradores de ar. A Norma Técnica NBR 12.209 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) recomenda manter no reator uma concentração de oxigênio dissolvido no tanque de aeração de 3,0 mg/L. Isto faz com que o consumo de oxigênio no processo MBBR/IFAS seja maior do que no lodo ativado, em que se mantém OD abaixo de 2,0 mg/L, com importante consequência sobre os custos operacionais.

Portanto, teoricamente, a utilização da tecnologia MBBR/IFAS pode apresentar grande vantagem econômica em relação ao processo de lodos ativados, pelo fato de permitir, para a mesma carga orgânica aplicada, a implantação de unidades de menor dimensão. Ou ainda, considerando unidades de mesma dimensão, a maior capacidade de tratamento. No entanto, os elevados custos de aquisição dos meios suporte podem ainda tornar a implantação do processo de lodos ativados economicamente mais atraente.

Assim, o presente trabalho tem como principal objetivo demonstrar a viabilidade econômica, ou não, da aplicação do processo IFAS, comparando-o com os processos de lodos ativados convencional e Lodos Ativados por aeração prolongada dimensionado para uma população equivalente de 50.000 e 100.000 habitantes, levando em consideração os custos devidos à estrutura de concreto armado, o sistema de aeração, os meios suporte, o sistema de remoção de lodo e o tratamento do lodo. Isto para cinco diferentes municípios da região metropolitana de São Paulo e Campinas, ou seja, cinco diferentes custos de terreno/área requerida para implantação.

METODOLOGIA

A avaliação econômica da implantação das ETE formadas pelos processos IFAS, lodos ativados convencional e lodos ativados por aeração prolongada foi realizada a partir dos parâmetros tradicionais de dimensionamento encontrados na literatura especializada e também contidos nas Normas Brasileiras da ABNT. As populações de projeto adotadas para este estudo foram 50.000 e 100.000 habitantes, considerando-se um consumo *per capita* de água de 200 l/hab.d, o coeficiente de retorno de 0,8 e carga de DBO *per capita* de 54 gDBO/hab.dia, conforme praticado no Brasil.

As estimativas dos custos de implantação como o estrutural de fundações, lajes, ferragem, etc., foram obtidas com o auxílio do aplicativo SIENGE – Software para a Indústria da Construção, que utiliza um software ERP (*Enterprise Resource Planning*) específico para Construção Civil, no qual primeiramente deve-se fornecer a quantidade total de suprimentos necessários (cimento, pedras britadas, ferragens, mão de obra, etc.), posteriormente, o software faz uma varredura online no mercado e fornece assim todos os custos solicitados. Isto foi realizado para cada um dos dimensionamentos, levando-se em conta as diferentes populações e tecnologias.

Ressalta-se que serão incorporados também os custos dos sistemas de aeração (soprador, difusores, tubulação, etc.), de remoção de lodo dos decantadores e dos meios suporte, quando aplicado; e para a recirculação de lodo será considerado o sistema *airlift*. Além disso, será abordada a questão do tratamento do lodo gerado via adensador ou flotador, seguido por digestor e leito de secagem. Segundo VESILIND (1980) *apud*

SPELLMAN (1997) representa 40% dos custos de implantação, 50% dos custos de operação e 90% dos problemas operacionais.

Para finalizar, foi definido que o valor de cada m³ dos meios suporte empregados na tecnologia IFAS é de R\$ 3.000,00, reproduzindo o preço médio praticado no Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na população considerada de 50.000 e 200.000 habitantes, adotando os valores de vazão e DBO citados, obtêm-se os dados de projeto do efluente a ser avaliado, ou seja, vazão (Q) igual a 8.000 m³/d e 16.000 m³/d, correspondente a uma carga de DBO de 2,7 ton/d e 5,4 ton/d, respectivamente. Pode-se assim dimensionar as unidades das tecnologias mencionadas obtendo o requisito de área, de energia e de produção de lodo.

Salienta-se que será utilizada para o dimensionando a seguir somente uma das populações e, consequentemente, vazão e carga, isto é, 50.000 habitantes, 8.000 m³/d e 2,7 tonDBO/d, respectivamente. Para a população de 100.000 habitante será apresentado os dados obtidos e a sua respectiva análise. Ademais, devido a recente desenvolvimento do processo IFAS, apenas esta tecnologia será dimensionada e apresentada de forma detalhada para um dos cenários.

Processo IFAS

Dimensões do Reator

Para o dimensionamento deste sistema, como já relatado, a Carga Orgânica Superficial (COS) é o principal parâmetro, contudo o TDH e em alguns casos, a relação alimento/microrganismo (A/M) é também empregado. Desta forma, algumas considerações foram feitas, tais como: adoção do TDH de 4 horas; Área Superficial Específica dos meios suporte com de 700 m²/m³. Adotando o valor de TDH de 4 horas, obtém-se o volume do reator de:

$$TDH = \frac{Vol}{Q} \quad \square \quad Vol = TDH \times Q = 4 \times (8.000/24) = 1.333m^3 \quad \text{Equação 1}$$

Com aplicação do sistema de aeração por ar difuso, e conforme encontra na literatura especializada, adotou-se uma profundidade (h) igual a 6,0 m. Entretanto, pode-se aplicar reatores com profundidades de até 9 metros. Assim, a área (A) é:

$$A = \frac{Vol}{h} \quad \square \quad A = \frac{1.333}{6,0} = 222m^2 \quad \text{Equação 2}$$

Optou-se por adotar três reatores em série com volume equivalente a 444 m³ e área de, aproximadamente, 74 m², cada. Isto se justifica pelo fato de que esta configuração tende a otimizar o processo de decomposição dos poluentes (fluxo pistão).

Recomenda-se para o tratamento de esgotos domésticos, COS menor ou igual a 9 gDBO/m².d, adotando-se uma COS de 7 gDBO/m².d pode-se obter, por meio da Equação 3, a área superficial total contidas nos meios suporte:

$$COS = \frac{Carga}{ÁreaTotalMeiosSuporte} \quad \square \quad ÁreaTotalMeiosSuporte = \frac{Carga}{COS} \quad \text{Equação 3}$$

$$ÁreaTotalMeiosSuporte = \frac{2.700.000}{7} = 385.714m^2$$

Por fim, para obtenção do volume de meios suporte a ser inserido no reator, pode-se ser calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{VolMeiosSuporte} = \frac{\text{ÁreaTotalMeiosSuporte}}{\text{ÁreaMeiosSuporte}/\text{m}^3} = \frac{385.714}{700} = 551\text{m}^3 \quad \text{Equação 4}$$

O volume de 571 m³ de meios suporte equivale a 41% do volume do reator, valor dentro do recomendado para a tecnologia IFAS.

Requisito de Oxigênio e Energético

O requisito de oxigênio necessário para suprir a demanda de microrganismos presentes no reator é alcançado mantendo uma concentração de OD no reator em torno de 3,0 mg/l, valor recomendado pela NBR 12.209 em revisão. Pode-se sustentar esta concentração, simplificada, por meio da Equação 5:

$$\text{ConsumoO}_2 = 3 \times (C_{\text{arg}} a_{\text{Orgânica}}) = 3 \times (2.700) = 8.100\text{kg} / \text{dia} \quad \text{Equação 5}$$

- Vazão de ar necessária

Dados considerados:

- Massa específica de Ar = 1,2 kg/m³
- Eficiência de trans de O₂ = 0,2
- Teor de O₂ no Ar = 0,232 kg O₂/ kg Ar

$$Q_{\text{ar}} = \frac{\text{ConsumoO}_2}{0,2 \times 1,2 \times 0,232} = \frac{8.100}{0,2 \times 1,2 \times 0,232} = 145.474\text{m}^3 / \text{dia} = 101\text{m}^3 / \text{min} \quad \text{Equação 6}$$

- Potência Necessária

Dados considerados:

- Massa de Ar (Mar) = (Qar x Massa específica de Ar)/60 minutos = 2,02 kg/s
- Constante do gás (R) = 8,31 kJ/k mol°K
- Temperatura absoluta de entrada (To) = 25 °C → K = 25 °C + 273,15 = 298,15 °K
- Eficiência do compressor (E) = 0,7
- Pressão absoluta de entrada (Pe) = 1 atm
- Pressão absoluta de saída (Ps) ≈ 1,3 x profundidade lamina d'água = 1,3 x 6,0 m = 7,8 m.c.a = 0,75 atm; ⇒ Ps deve ser = 1 + 0,75 = 1,75 atm

$$Pot = \frac{Mar \times R \times To}{8,41 \times E} \left\{ \left(\frac{Ps}{Pe} \right)^{0,283} - 1 \right\} = \frac{2,02 \times 8,31 \times 298,15}{8,41 \times 0,7} \left\{ \left(\frac{1,75}{1} \right)^{0,283} - 1 \right\} \quad \text{Equação 7}$$

$$Pot = 147 \text{ kW} = 197 \text{ HP}$$

Para a recirculação de lodo, será aplicado o sistema de *airlift*, adotando na prática um acréscimo de 10% da potência do sistema de aeração. Deste modo, obtém-se:

$$Pot = 111 \text{ kW} = 216 \text{ HP}$$

Decantador Secundário

O parâmetro de projeto adotado é o mesmo dos outros processos, isto é, a TAS, Contudo, recomenda-se que seja inferior a 20 m³/m².d. Desta forma, adotando o valor de 18 m³/m².d, obtém-se:

$$TAS = \frac{Q}{A} \Rightarrow A = \frac{Q}{TAS} = \frac{8.000}{18} = 444\text{m}^2 \quad \text{Equação 8}$$

Adotando dois decantadores com 222 m² cada, obtém-se um diâmetro de, aproximadamente, 17 m. O consumo energético necessário para a raspagem do lodo com acionamento periférico é estimado em 1,0 HP para cada unidade de decantação.

Produção de Lodo

Em relação à produção de lodo do processo IFAS, não há dados concretos na literatura. No entanto, em alguns trabalhos publicados, observou-se uma produção de lodo similar a encontrada no processo de lodos ativados por aeração prolongada. Dito isso, pode-se obter a geração de lodo adotando o valor da idade do lodo e a concentração de SSVTA (somente em suspensão), pois a parcela aderida permanece do sistema por um longo e indeterminado período. Assim, tem-se:

$$\theta_c = \frac{SSVTA \times Vol}{SSVex \times Qex} \square SSVex \times Qex = \frac{SSVTA \times Vol}{\theta_c} = \frac{1,5 \times 1.333}{18} = 111 \text{ kg/dia} \quad \text{Equação 9}$$

Onde: SSVex = Sólidos em Suspensão Voláteis no lodo excesso; Qex = Vazão de descarte de lodo.

Salienta-se que, através de dados experimentais reportados por MINEGATTI (2008), o lodo produzido pela tecnologia IFAS contém excelente qualidade em relação à estabilidade, ou seja, possui baixa razão SSV/SST, em torno de 40%, que indica como um lodo já digerido.

Tratamento do Lodo – Adensador por gravidade

Conforme relatado, o lodo gerado do processo IFAS possui excelente qualidade, ou seja, relativamente uma boa estabilização e, consequentemente, boa capacidade para desidratação. Por causa destas características é justificada a adoção deste tipo de adensamento, visto que, para o processo de lodos ativados, não é indicado. Na Tabela 1 abaixo, apresenta-se os valores máximos para o dimensionamento do adensamento por gravidade para o processo de lodos ativados.

Tabela 1: Valores máximos para adensamento por gravidade

Tipo de lodo	Máximo teor de sólidos em suspensão no lodo adensado (%)	Máxima Taxa de Aplicação de Sólidos (kgSS/m ² .d)	Máxima Taxa de Aplicação Hidráulica (m ³ /m ² .d)
Lodo Biológico (lodos ativados)	3	30	8

Fonte: NBR 12.209 (no prelo)

Desde modo, considerou-se que o lodo de entrada possui concentração de 7 kgSS/m³ e que ocorrerá um adensamento para teor de sólidos de 3%, conforme recomenda a NBR 12.209.

Ressalta-se que, foi adotado como parâmetro de projeto o valor indicado para o lodo processo de lodos ativados, isto é, um lodo de característica distinta, que corresponde a valor adotado foi bastante conservador.

De acordo com a produção de lodo do processo IFAS, equivalente a 111 kg/d, que corresponde a vazão de 16 m³/d, e adotando uma Taxa de Aplicação Hidráulica de sólidos (*TDHSol*) de 5 m³/m².d, tem-se:

$$TDHSol = \frac{Qex}{Area} \Rightarrow Area = \frac{16}{5} \approx 3,2 \text{ m}^2 \quad \text{Equação 10}$$

O consumo energético necessário para o sistema de raspagem/retirada do lodo é estimado em ½ HP. E, o volume de lodo gerado nesta unidade é igual a:

$$Q_{lodo} = \frac{\Delta x}{SST} = \frac{111}{30} = 3,7 \text{ m}^3/d \quad \text{Equação 11}$$

Tratamento do Lodo – Desaguamento via Leito de Secagem

Dimensiona-se o sistema de leito de secagem por meio da taxa de aplicação de sólidos, sendo o valor máximo recomendado pela NBR 12.209 igual a 15 kg SS/m². Desta forma, adotando o valor de 13 kg SS/m² por ciclo, com 15 ciclos de secagem por ano, a área mínima de leitos de secagem (ALSec), seria de:

$$AL_{Sec} = \left(\frac{111 \times 365}{15 \times 13} \right) = 208 m^2$$

Equação 12

Para o cálculo da quantidade de lodo desaguado produzido considerou-se uma recuperação de sólidos nos leitos de secagem de, aproximadamente, 98%, proporcionando em uma torta de lodo desaguado com teor de sólidos de 25% e com $\rho \approx 1100 \text{ kg/m}^3$. Assim, obtém-se a quantidade de lodo igual a 109 kg Sol/d, correspondendo ao volume de torta de 0,4 m³/d.

Processo Lodos Ativados

Conforme referido, apresenta-se na Tabela 2, os principais dados obtidos de cada uma das unidades de tratamento para os processos de lodos ativados convencional e por aeração prolongada. Salienta-se que foram seguidos os parâmetros de projeto estabelecido pela NBR 12.209 da ABNT e recomendados por JORDÃO & PESSÔA (2009) e METCALF & EDDY (2003).

Já na Tabela 3 são apresentados o resumo dos principais dados adquiridos dos processos avaliados para ambas as populações de projeto, tais como: área necessária, potência instalada e produção de lodo.

Tabela 2: Principais dados obtidos de cada uma das unidades de tratamento para os processos de lodos ativados convencional e por aeração prolongada

	Unidades	Lodos Ativados Convencional	Lodos Ativados por Aeração Prolongada
Decantador 1 ^a	Área (m ²)	100,0	-
	Quantidade (kg/d)	1.080	-
	Requisito energético (HP)	2,0	-
Reator ⁽¹⁾	Volume (m ³)	2.100	6.667
	Área (m ²)	420,0	1.333
	Requisito energético	120,0	161,0
Decantador 2 ^a	Área (m ²)	364,0	364,0
	Requisito energético (HP)	2,0	2,0
Quantidade de lodo secundário (kg/d)		746,0	80
Adensador ⁽²⁾	Área (m ²)	11,0	2,5
	Volume (m ³ /d)	22,0	2,7
	Requisito energético (HP)	1,0	1,0

Tabela 2: Continuação...

Flotador Secundário	Área	9,3	-
	Volume (m³/d)	19,0	-
	Requisito energético (HP)	1,0	-
Digestor Anaeróbio	Área	68,0	-
	Requisito energético (HP)	20,0	-
Leito de secagem	Área (m²)	2392	150
	Quantidade (kg/d)	1278	78
	Volume da torta (m³/d)	4,6	0,3

⁽¹⁾ Adotado relação A/M igual a 0,5 d⁻¹ para processo lodos ativados convencional e de 0,15 d⁻¹ para processo lodos ativados por aeração prolongada

⁽²⁾ Adensador Primário para processo lodos ativados convencional e Secundário para processo lodos ativados por aeração prolongada

Tabela 3: Resumo dos principais dados adquiridos dos processos avaliadas para ambas as populações de projeto

Dados	População 50.000 hab.			População 100.000 hab.		
	Lodos Ativados	LA. Aeração Prolongada	IFAS	Lodos Ativados	LA. Aeração Prolongada	IFAS
Área (m²)	3296	1850	877	6593	3701	1755
Potência (HP)	145	164	227	281	325	453
Volume de lodo (m³/d)	3,0	0,3	0,4	9,1	0,6	0,8

Observa-se que o processo IFAS requisitou menor área para implantação nas duas situações, seguido pelos processos lodos ativados por aeração prolongada e, posteriormente, lodos ativados convencional. Desta forma, caso durante a análise de concepção do projeto da ETE a área para implantação fosse o fator preponderante, o processo IFAS seria a melhor opção.

Ainda segundo a Tabela 4, o processo lodos ativados convencional seria selecionado caso o fator de maior influência para a escolha da ETE fosse a potência instalada, que foi igual a 145 HP ou 281 HP. Contudo, caso agora o fator que tivesse maior peso para a seleção da ETE fosse a produção de lodo, processos lodos ativados convencional seria a opção menos interessante, devido sua elevada produção de lodo. Portanto, o processo que melhor se enquadraria para esta avaliação, seriam os processos lodos ativados por aeração prolongada seguido pelo o processo IFAS, que corresponderam a uma produção de lodo de 78 e 109 kg/d, respectivamente, considerando a população de 50.000 hab.

Para estimativa de custo da construção civil, como mencionado, foi utilizado o aplicativo *SIENGE*; e os custos dos sistemas de aeração e de remoção de lodo das unidades requerentes foram obtidos juntamente com as empresas fornecedoras de equipamentos do ramo. Desta forma, a Tabela 4 apresenta a estimativa destes custos para cada uma das tecnologias avaliadas para a população de 50.000 hab. Ressalta-se que, somente foi apresentada para esta população porque os custos são praticamente o dobro em relação a população de 100.000 hab.

Tabela 4: Estimativa dos custos de implantação (R\$) dos processos avaliados para população de 50.000 hab.

Processos	Construção Civil	Sistema de Aeração	Remoção de Lodo	Total
Lodos Ativados Convencional	2.253.425	188.350	548.890	2.990.665
Lodos Ativados por Aeração Prolongada	1.321.307	263.240	274.544	1.859.091
IFAS	841.795	232.510	290.545	3.077.850

⁽¹⁾ Somado com R\$ 1.713.000,00 referente a 571 m³ de meio suporte

Nota-se que o processo lodos ativados aeração prolongada obteve menor custo total de implantação. Em relação a tecnologia IFAS, o elevado custo foi devido ao preço de aquisição dos meios suportes, equivalente a R\$ 1.713.000,00.

No entanto, para realização de uma análise mais criteriosa, deve-se contabilizar o custo do terreno/área ocupada pela ETE. Assim, com base nos valores aproximados do m² obtidos para algumas cidades da região metropolitana de São Paulo e Campinas, apresenta-se na Tabela 5 estes valores e também expõe o custo equivalente ao terreno necessário para implantação de cada um dos processos de tratamento em questão para população de 50.000 habitantes. Salienta-se que optou-se por estas regiões pelo fato de estarem em ampla expansão habitacional.

Tabela 5: Valor do m² nas cidades avaliadas e o custo do terreno para implantação (R\$) dos processos em questão para população de 50.000 hab.

Cidades	m²	Lodos Ativados	LA. Aeração Prolongada	IFAS
Atibaia	120	395.556	221.940	105.264
Vinhedo	160	527.408	295.920	140.352
Jundiaí	180	593.334	332.910	157.896
Valinhos	210	692.223	388.395	184.212
São Paulo	430	1.417.409	795.285	377.196

Fonte: Revista Exame – Pesquisa IBOPE (2010)

Em vista disso, apresenta-se na Tabela 6 os custos finais de implantação dos processos dimensionados para ambas populações e cidades analisadas.

Tabela 6: Custos finais para implantação (R\$) dos processos em cada uma das cidades analisadas

Cidades	População 50.000 habitantes			População 100.000 habitantes		
	Lodos Ativados	LA. Aeração Prolongada	IFAS	Lodos Ativados	LA. Aeração Prolongada	IFAS
Atibaia	3.386.221	2.081.031	3.183.114	6.669.096	3.661.613	4.431.798
Vinhedo	3.518.073	2.155.011	3.218.202	6.932.816	3.809.637	4.502.014
Jundiaí	3.583.999	2.192.001	3.235.746	7.064.676	3.883.649	4.537.122
Valinhos	3.682.888	2.247.486	3.262.062	7.262.466	3.994.667	4.589.784
São Paulo	4.408.074	2.654.376	3.455.046	8.712.926	4.808.799	4.975.972

Observa-se que o custo de implantação obtido pelo processo de lodos ativados foi sempre superior aos outros processos independente da localidade. Todavia, nota-se também que na medida que o valor do m² aumenta a diferença entre o custo dos processos de lodos ativados por aeração prolongada e IFAS reduz, isto devido a menor área requerida para implantação.

Para melhor visualização e análise dos resultados alcançados, os gráficos das Figuras 2 e 3 ilustram, respectivamente, os dados da Tabela 6.

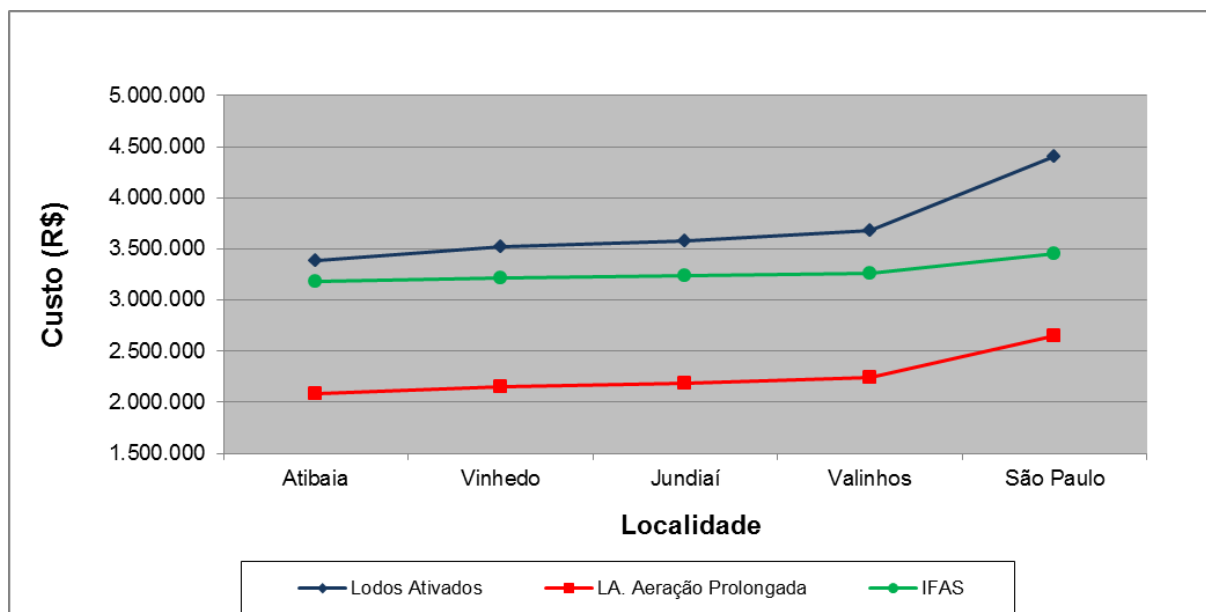


Figura 2: Gráfico da evolução do custo de implantação dos processos avaliados em relação a localidade (valor do m²) para população de 50.000 habitantes

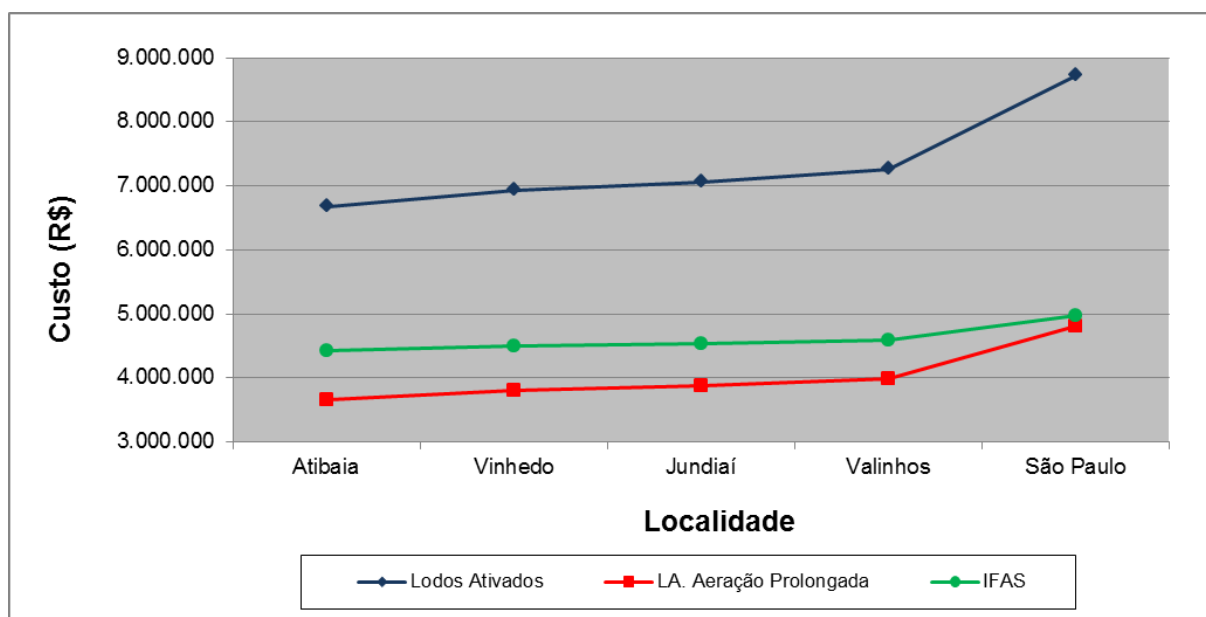


Figura 3: Gráfico da evolução do custo de implantação dos processos avaliados em função da localidade (valor do m²) para população de 100.000 habitantes

De acordo com os resultados obtidos, caso o valor do terreno fosse extrapolado para R\$ 900,00 e R\$ 550,00 o m² para as populações equivalentes de 50.000 e 100.000 hab., respectivamente, o custo de implantação dos processos lodos ativados por aeração prolongada e IFAS seria igualado. O mesmo raciocínio pode ser feito para o caso do aumento da população, considerando uma população atendida de, aproximadamente, 120.000 habitantes.

CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho, pode-se primeiramente, contribuir para o melhor entendimento da tecnologia IFAS, como:

- Os parâmetros de projetos a serem utilizados são principalmente a COS, a relação A/M e o TDH, mas para isso é de suma importância saber também qual a área superficial específica dos meios suporte;
- O requisito de energia para aplicação desta tecnologia é elevado;
- A produção de lodo deste processo é bastante atraente do ponto de vista econômico e ambiental;
- O custo de aquisição dos meios suporte ainda é elevado, influenciando enormemente na implantação da ETE.

O trabalho promoveu, sobretudo, o emprego das principais tecnologias de tratamento de efluentes domésticos, e com o dimensionamento e a análise de custo destas tecnologias pode-se concluir que:

- O processo lodos ativados teve o maior custo para implantação independente da população atendida;
- O custo de implantação da tecnologia lodos ativados por aeração prolongada foi inferior aos outros processos;
- O processo IFAS obteve custo intermediário para implantação em comparação aos outros processos, contudo sempre requereu menor área;
- O custo dos meios suportes é ainda muito elevado, o que interfere bastante para a viabilidade econômica do processo IFAS;
- O processo IFAS pode ser uma interessante opção de implantação caso a ETE receba uma contribuição de esgotos de população superior a 120.000 habitantes ou caso valor do terreno fosse maior que R\$ 900,00/m², considerando a concepção da ETE utilizada;
- A implantação do processo IFAS é uma excelente opção para *upgrade* de uma ETE ou para o caso em que já esteja prevista uma ampliação futura. Isto se justifica pelo fato de que, dependendo do *upgrade* que irá realizar, haverá apenas remodelação/reestruturação do sistema de aeração, e para o caso de uma ampliação precisará somente, desde que sejam obedecidos os princípios básicos de projeto, da aquisição de mais meios suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR-12.209 (no prelo). (2011). Elaboração de Projetos Hidráulico-sanitários de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários.
2. JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. (2009). Tratamento de Esgotos Domésticos. 5ª ed. ABES-RJ, 941p.
3. METCALF & EDDY. (2003). Inc. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4ª ed. New York: McGraw-Hill, 1848p.
4. MINEGATTI, D. V. O. (2008). Caracterização dos Parâmetros de Controle e Avaliação de Desempenho de um Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR). Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 91p.
5. ØDEGAARD, H, RUSTEN B. WESTRUM T. (1994). A new moving bed biofilm reactor – application and results. *Waste Science and Technology*, 10-11(29), 157-165.
6. SPELLMAN, F. R. (1997). Dewatering Biosolids, Technomic Publishing Company, 276p.