

TRATAMENTO DE ESGOTOS DE PEQUENAS E MÉDIAS COMUNIDADES

Marcos von Sperling

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais
E-mail: marcos@desa.ufmg.br

INTRODUÇÃO

É grande o número de opções tecnológicas disponíveis para o tratamento biológico de esgotos domésticos. O tratamento biológico utiliza-se de microrganismos já existentes nos esgotos, para transformar os principais poluentes em compostos inertes do ponto de vista ambiental. Em termos mundiais, a lista de tecnologias disponíveis é bastante grande, refletindo o avanço na área de controle ambiental experimentado nos últimos anos. No Brasil, em virtude do clima favorável ao crescimento mais acelerado dos microrganismos responsáveis pelo tratamento dos esgotos, há um campo aberto em termos de processos simples e totalmente naturais para o tratamento dos esgotos. Mas quando não há área disponível, ou quando as condições ambientais são desfavoráveis, há ainda um outro elenco de tecnologias, mais compactas e mecanizadas, que pode ser empregado.

O tratamento biológico dos esgotos tenta reproduzir os fenômenos naturais de estabilização da matéria orgânica, que ocorrem no corpo receptor. A vantagem é que o processo é feito mais rapidamente (ocupando menos espaço), e em condições controladas. A série de reações que iriam causar uma degradação no corpo d'água ocorrem em condições ambientais favoráveis, na estação de tratamento de esgotos.

Tecnologias de tratamento de esgotos disponíveis

Para facilidade de compreensão, os processos de tratamento de esgotos podem ser divididos entre *sistemas simplificados* (sem mecanização) e *sistemas mecanizados*. Os principais processos utilizados são:

Quadro 1. Principais processos utilizados no tratamento biológico dos esgotos

Sistemas simplificados	Sistemas mecanizados
<ul style="list-style-type: none">• Lagoas de estabilização• Disposição no solo• reatores anaeróbios	<ul style="list-style-type: none">• Lagoas de estabilização com aeração• reatores aeróbios com biofilmes• Lodos ativados

Dentro de cada um destes sistemas, existem diversas variantes. Os principais sistemas são descritos nos Quadros 2 e 3 e ilustrados nas Figuras 1 e 2.

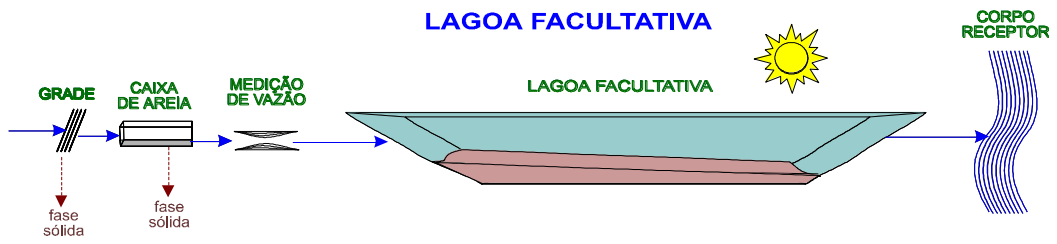
Quadro 2. Descrição sucinta dos principais sistemas simplificados

Lagoas de estabilização (sem aeração)
<p>As principais variantes destas lagoas são as denominadas lagoas facultativas. Estas são construídas de forma simples, com diques de terra. Os esgotos entram em uma extremidade e saem na extremidade oposta. A matéria orgânica, na forma de sólidos em suspensão, vai para o fundo da lagoa, onde forma uma camada de lodo, que vai, aos poucos, sendo estabilizada pelas bactérias presentes. Na parte superior da lagoa ocorre a estabilização, através de bactérias, da matéria orgânica que não sedimenta. O oxigênio necessário para a respiração das bactérias é fornecido por algas, que fazem a fotossíntese. Para as algas crescerem é necessária uma insolação suficiente. Os sistemas de lagoas requerem grandes áreas, muitas vezes não disponíveis na localidade. Nestas condições, há necessidade de se buscar soluções que possam trazer uma redução na área requerida. Uma redução de cerca de 1/3 da área pode ser alcançada pelo sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas. Nas primeiras lagoas, de pequenas dimensões, predominam as reações anaeróbias, as quais ocorrem na ausência de oxigênio. Com a remoção em torno de 50 a 60% da matéria orgânica nas lagoas anaeróbias, as lagoas facultativas que se seguem podem ser bem menores.</p>
Disposição no solo
<p>Os esgotos são dispostos no solo, fornecendo água e nutrientes necessários para o crescimento das plantas. Parte do líquido é evaporada, parte pode infiltrar pelo solo, e parte é absorvida pelas plantas. Em alguns processos (infiltração lenta, infiltração rápida, infiltração subsuperficial), a infiltração no solo é elevada, e não há efluente superficial. Em outros processos (escoamento superficial), a infiltração é baixa, saindo esgotos (tratados) na extremidade oposta do terreno, após escoarem por uma rampa suavemente inclinada. Os esgotos podem ser aplicados ao solo por meio de aspersores, sulcos, valas, canais, alagamento e outros. Os sistemas de disposição no solo requerem áreas bastante elevadas, mas são de grande simplicidade conceitual.</p>
Sistemas anaeróbios
<p>O tratamento anaeróbio é efetuado por bactérias que não necessitam de oxigênio para sua respiração. Há duas tecnologias bastante comuns em nosso meio: o filtro anaeróbio e o reator anaeróbio de manta de lodo. Ambos os processos são bastante compactos, requerendo pouca área para sua implementação. Filtro anaeróbio: a matéria orgânica é estabilizada por bactérias aderidas a um meio suporte (usualmente pedras) em um tanque fechado. O tanque trabalha afogado, e o fluxo do líquido é de baixo para cima. Reator anaeróbio de manta de lodo: a matéria orgânica é estabilizada por bactérias dispersas no líquido dentro do tanque. O fluxo do líquido também é de baixo para cima. A parte superior do tanque é dividida em zonas de sedimentação e zonas de coleta de gás. Entre os gases formados inclui-se o metano. O sistema usualmente necessita de uma unidade de pós-tratamento, para melhorar a qualidade do efluente final. Todos os processos descritos podem atuar como pós-tratamento.</p>

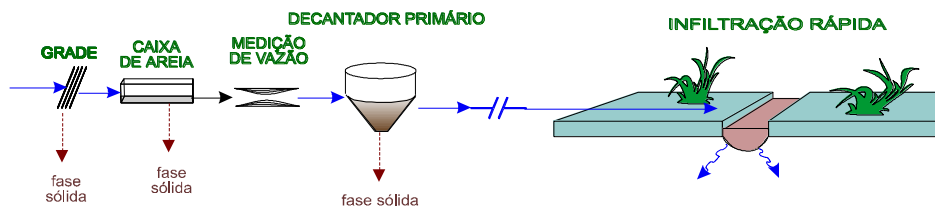
Quadro 3. Descrição sucinta dos principais sistemas mecanizados

Lagoas de estabilização aeradas
<p>Os mecanismos de remoção da matéria orgânica são similares aos de uma lagoa de estabilização facultativa. No entanto, o oxigênio é fornecido por equipamentos mecânicos, denominados aeradores. Os sistemas de lagoas aeradas requerem menos área que os sistemas de lagoas sem aeração, mas mais área que os demais sistemas mecanizados.</p>
Reatores aeróbios com biofilmes
<p>A matéria orgânica é estabilizada por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte (comumente pedras, mas também podem ser usados meios sintéticos). São as seguintes as principais variantes do sistema: filtros biológicos, biofiltros aerados submersos e biodiscos. Os sistemas são bastante compactos.</p>
Lodos ativados
<p>O sistema é similar ao de uma lagoa aerada, com a diferença que os tanques são bem menores (usualmente de concreto). A biomassa (bactérias) do tanque de aeração sedimenta em um decantador final, permitindo que o efluente saia clarificado para o corpo receptor. O lodo (biomassa) que se sedimenta no fundo do decantador é retornado, por bombeamento, ao tanque de aeração, aumentando a eficiência do sistema. Os sistemas de lodos ativados são bastante compactos. Quanto ao fluxo, há variantes de fluxo contínuo e fluxo intermitente (batelada), e quanto à carga do sistema, há a modalidade convencional ou aeração prolongada.</p>

PROCESSOS DE TRATAMENTO SIMPLIFICADOS



DISPOSIÇÃO NO SOLO - INFILTRAÇÃO RÁPIDA



REATOR ANAERÓBIO DE MANTA DE LODO E FLUXO ASCENDENTE

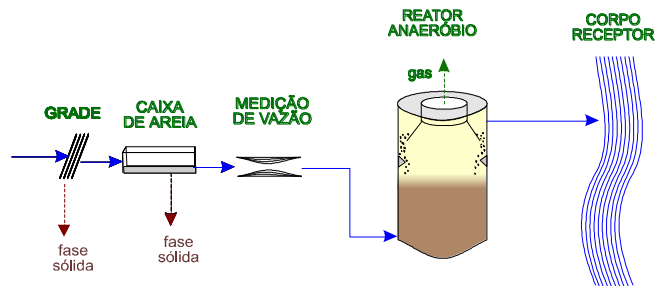


Fig. 1. Fluxogramas de algumas alternativas de tratamento simplificado de esgotos

PROCESSOS DE TRATAMENTO MECANIZADOS

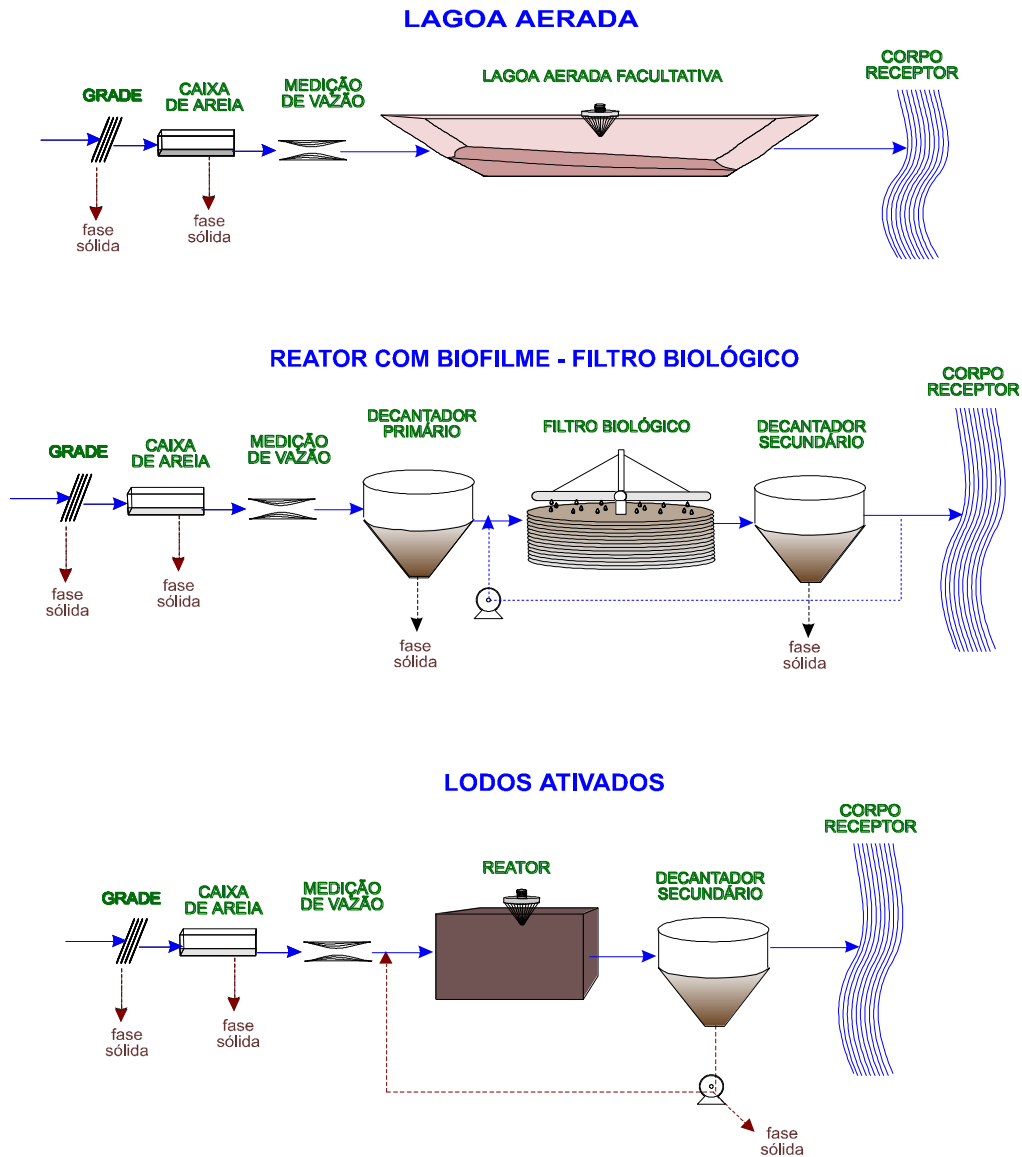


Fig. 2. Fluxogramas de algumas alternativas de tratamento mecanizado de esgotos

Atualmente, os reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (reatores UASB) têm tido papel de destaque como primeira etapa do tratamento biológico dos esgotos, na qual é removida cerca de 70% da matéria orgânica. Esta eficiência é muitas vezes insatisfatória para lançamento nos corpos receptores, trazendo a necessidade de um pós-tratamento. A vantagem é que o pós-tratamento se torna bastante reduzido e usualmente mais econômico, em virtude da remoção prévia de grande parte da matéria orgânica. Todas as formas de tratamento de esgotos listadas acima podem ser utilizadas como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. A Figura 3 ilustra fluxogramas típicos de sistemas compostos por reatores UASB, seguidos por uma etapa de pós-tratamento.

REATOR UASB E PÓS-TRATAMENTO

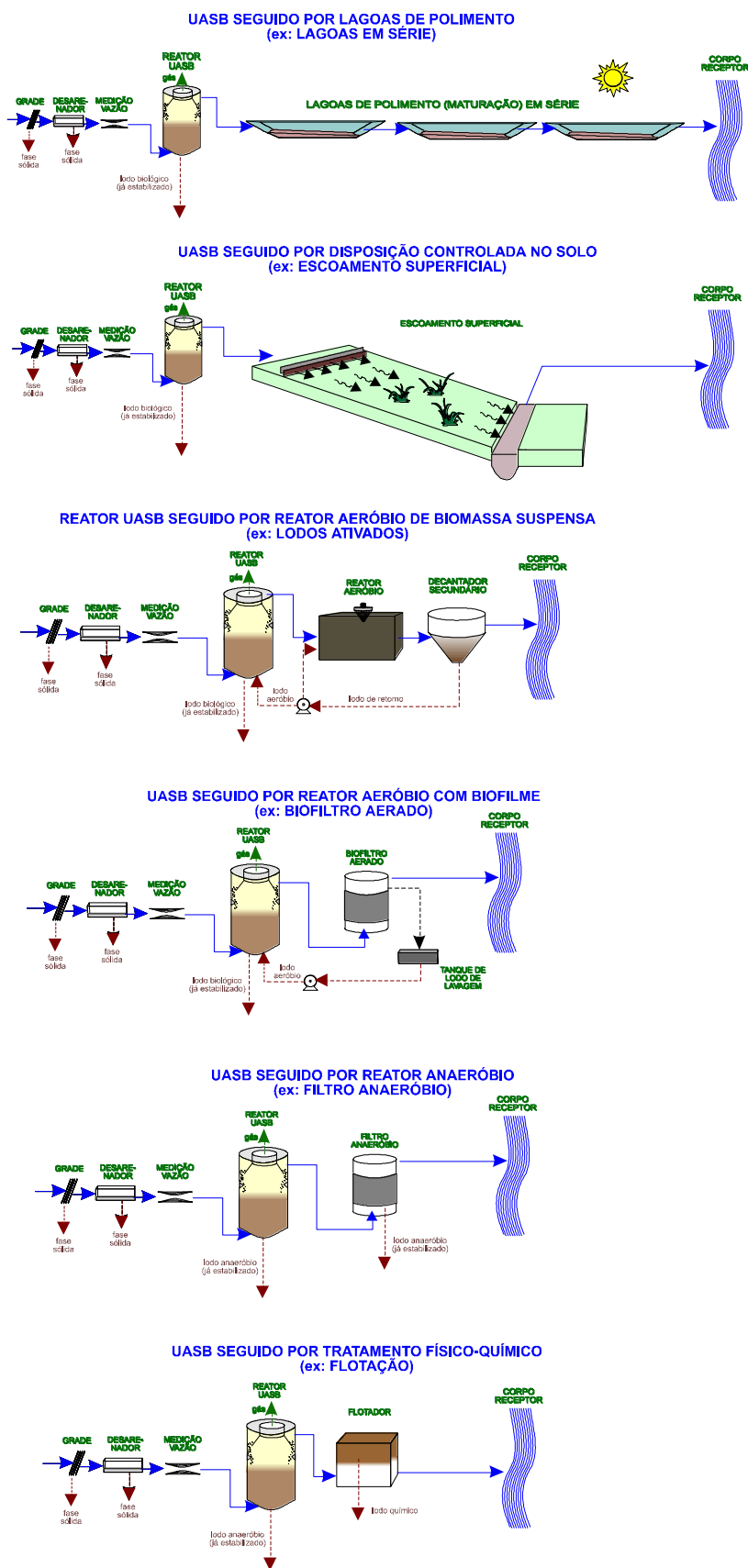


Fig. 3. Fluxogramas de tratamento de esgotos por reator UASB seguido por unidades de pós-tratamento

SELEÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

A escolha do processo de tratamento a ser adotado deve levar em conta, tanto os aspectos técnicos como os econômico-financeiros, conciliando-os de forma a atender da melhor forma possível a realidade local. O Quadro 4 lista algumas características de importância, que podem auxiliar, de forma expedita, em uma pré-seleção dos processos de tratamento de esgotos em nosso meio.

Quadro 4. Características típicas dos principais processos de tratamento de esgotos

Sistema de tratamento	Eficiência na remoção (%)		Requisitos		Custos (R\$/hab)
	Matéria orgânica	Patogênicos	Área (m ² /hab)	Potência (W/hab)	
Lagoas sem aeração	80-90	60-99,9	1,5-5,0	≈ 0	15-35
Disposição no solo	85-99	90-99	1-50	≈ 0	10-25
Sistemas anaeróbios	60-90	60-90	0,05-0,4	≈ 0	30-60
Lagoas com aeração	70-90	60-99	0,2-2,5	1-1,7	25-45
Reatores com biofilmes	80-95	60-90	0,05-0,7	0,2-4,5	60-100
Lodos ativados	85-98	60-90	0,2-0,35	3,0-5,5	60-120

Nota: os custos maiores estão geralmente associados a menores populações de contribuição ou a versões mais sofisticadas do sistema

Os Quadros 5 a 12 listam variantes tecnológicas de cada um dos grandes grupos de sistemas de tratamento de esgotos, indicando sua capacidade de atender consistentemente distintos valores de padrões de lançamento de esgotos.

Quadro 5. Capacidade de diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias em atingir consistentemente distintos níveis de qualidade do efluente em termos de DBO

Sistema	DBO				
	100 mg/L	80 mg/L	60 mg/L	40 mg/L	20 mg/L
Lagoa facultativa	✓	✓			
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	✓	✓			
Lagoa aerada facultativa	✓	✓	✓		
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sediment.	✓	✓	✓		
Lagoa + lagos de maturação	✓	✓	✓		
Lagoa + lagoa de alta taxa	✓	✓	✓		
Lagoa + remoção de algas	✓	✓	✓	✓	
Infiltração lenta	✓	✓	✓	✓	✓
Infiltração rápida	✓	✓	✓	✓	✓
Escoamento superficial	✓	✓	✓		
Banhados artificiais (wetlands)	✓	✓	✓		
Tanque séptico + filtro anaeróbio	✓	✓	✓		
Tanque séptico + infiltração	✓	✓	✓	✓	✓
UASB	✓				
UASB + lodos ativados	✓	✓	✓	✓	
UASB + biofiltro aerado submerso	✓	✓	✓	✓	
UASB + filtro anaeróbio	✓	✓	✓		
UASB + filtro biológico de baixa carga	✓	✓	✓	✓	
UASB + lagoas de maturação	✓	✓	✓		
UASB + escoamento superficial	✓	✓	✓		
Lodos ativados convencional	✓	✓	✓	✓	
Aeração prolongada	✓	✓	✓	✓	✓
Reator por batelada	✓	✓	✓	✓	
Lodos ativados c/ remoção biológica de N	✓	✓	✓	✓	
Lodos ativados c/ remoção biológica de N/P	✓	✓	✓	✓	
Lodos ativados + filtração	✓	✓	✓	✓	✓
Filtro biológico de baixa carga	✓	✓	✓	✓	
Filtro biológico de alta carga	✓	✓	✓		
Biofiltro aerado submerso	✓	✓	✓	✓	✓
Biofiltro aerado submerso com rem. biológ. de N	✓	✓	✓	✓	✓
Biodisco	✓	✓	✓	✓	

Quadro 6. Capacidade de diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias em atingir consistentemente distintos níveis de qualidade do efluente em termos de DQO

Sistema	DQO		
	200 mg/L	150 mg/L	100 mg/L
Lagoa facultativa	✓		
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	✓		
Lagoa aerada facultativa	✓		
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sediment.	✓		
Lagoa + lagos de maturação	✓		
Lagoa + lagoa de alta taxa	✓		
Lagoa + remoção de algas	✓	✓	
Infiltração lenta	✓	✓	✓
Infiltração rápida	✓	✓	✓
Escoamento superficial	✓		
Banhados artificiais (wetlands)	✓		
Tanque séptico + filtro anaeróbio	✓		
Tanque séptico + infiltração	✓	✓	✓
UASB	✓		
UASB + lodos ativados	✓	✓	✓
UASB + biofiltro aerado submerso	✓	✓	✓
UASB + filtro anaeróbio	✓		
UASB + filtro biológico de alta carga	✓	✓	✓
UASB + lagoas de maturação	✓		
UASB + escoamento superficial	✓		
Lodos ativados convencional	✓	✓	✓
Aeração prolongada	✓	✓	✓
Reator por batelada	✓	✓	✓
Lodos ativados c/ remoção biológica de N	✓	✓	✓
Lodos ativados c/ remoção biológica de N/P	✓	✓	✓
Lodos ativados + filtração	✓	✓	✓
Filtro biológico de baixa carga	✓	✓	✓
Filtro biológico de alta carga	✓		
Biofiltro aerado submerso	✓	✓	✓
Biofiltro aerado submerso com rem. biológ. de N	✓	✓	✓
Biodisco	✓	✓	✓

Quadro 7. Capacidade de diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias em atingir consistentemente distintos níveis de qualidade do efluente em termos de SS

Sistema	SS		
	90 mg/L	60 mg/L	30 mg/L
Lagoa facultativa	✓		
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	✓		
Lagoa aerada facultativa	✓		
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sediment.	✓		
Lagoa + lagos de maturação	✓		
Lagoa + lagoa de alta taxa	✓		
Lagoa + remoção de algas	✓	✓	
Infiltração lenta	✓	✓	✓
Infiltração rápida	✓	✓	✓
Escoamento superficial	✓	✓	
Banhados artificiais (wetlands)	✓		
Tanque séptico + filtro anaeróbio	✓	✓	
Tanque séptico + infiltração	✓	✓	✓
UASB	✓		
UASB + lodos ativados	✓	✓	✓
UASB + biofiltro aerado submerso	✓	✓	✓
UASB + filtro anaeróbio	✓	✓	
UASB + filtro biológico de baixa carga	✓	✓	✓
UASB + lagoas de maturação	✓		
UASB + escoamento superficial	✓	✓	
Lodos ativados convencional	✓	✓	✓
Aeração prolongada	✓	✓	✓
Reator por batelada	✓	✓	✓
Lodos ativados c/ remoção biológica de N	✓	✓	✓
Lodos ativados c/ remoção biológica de N/P	✓	✓	✓
Lodos ativados + filtração	✓	✓	✓
Filtro biológico de baixa carga	✓	✓	✓
Filtro biológico de alta carga	✓	✓	✓
Biofiltro aerado submerso	✓	✓	✓
Biofiltro aerado submerso com rem. biológ. de N	✓	✓	✓
Biodisco	✓	✓	✓

Quadro 8. Capacidade de diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias em atingir consistentemente distintos níveis de qualidade do efluente em termos de Amônia

Sistema	Amônia – N		
	15 mg/L	10 mg/L	5 mg/L
Lagoa facultativa			
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa			
Lagoa aerada facultativa			
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sediment.			
Lagoa + lagos de maturação	✓		
Lagoa + lagoa de alta taxa	✓	✓	
Lagoa + remoção de algas			
Infiltração lenta	✓	✓	✓
Infiltração rápida	✓	✓	✓
Escoamento superficial	✓	✓	
Banhados artificiais (wetlands)			
Tanque séptico + filtro anaeróbio			
Tanque séptico + infiltração	✓	✓	✓
UASB			
UASB + lodos ativados	✓	✓	
UASB + biofiltro aerado submerso	✓	✓	
UASB + filtro anaeróbio			
UASB + filtro biológico de baixa carga			
UASB + lagoas de maturação	✓		
UASB + escoamento superficial	✓	✓	
Lodos ativados convencional	✓	✓	✓
Aeração prolongada	✓	✓	✓
Reator por batelada	✓	✓	✓
Lodos ativados c/ remoção biológica de N	✓	✓	✓
Lodos ativados c/ remoção biológica de N/P	✓	✓	✓
Lodos ativados + filtração	✓	✓	✓
Filtro biológico de baixa carga	✓	✓	
Filtro biológico de alta carga			
Biofiltro aerado submerso	✓	✓	✓
Biofiltro aerado submerso com rem. biológ. de N	✓	✓	✓
Biodisco	✓	✓	

Quadro 9. Capacidade de diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias em atingir consistentemente distintos níveis de qualidade do efluente em termos de Nitrogênio Total

Sistema	N Total		
	20 mg/L	15 mg/L	10 mg/L
Lagoa facultativa			
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa			
Lagoa aerada facultativa			
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sediment.			
Lagoa + lagos de maturação	✓		
Lagoa + lagoa de alta taxa	✓	✓	
Lagoa + remoção de algas			
Infiltração lenta	✓	✓	✓
Infiltração rápida	✓	✓	
Escoamento superficial	✓		
Banhados artificiais (wetlands)			
Tanque séptico + filtro anaeróbio			
Tanque séptico + infiltração	✓	✓	✓
UASB			
UASB + lodos ativados			
UASB + biofiltro aerado submerso			
UASB + filtro anaeróbio			
UASB + filtro biológico de baixa carga			
UASB + lagoas de maturação	✓		
UASB + escoamento superficial	✓		
Lodos ativados convencional			
Aeração prolongada			
Reator por batelada			
Lodos ativados c/ remoção biológica de N	✓	✓	✓
Lodos ativados c/ remoção biológica de N/P	✓	✓	✓
Lodos ativados + filtração			
Filtro biológico de baixa carga			
Filtro biológico de alta carga			
Biofiltro aerado submerso			
Biofiltro aerado submerso com rem. biológ. de N	✓	✓	
Biodisco			

Quadro 10. Capacidade de diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias em atingir consistentemente distintos níveis de qualidade do efluente em termos de Fósforo Total

Sistema	P Total			
	4,0 mg/L	3,0 mg/L	2,0 mg/L	1,0 mg/L
Lagoa facultativa				
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa				
Lagoa aerada facultativa				
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sediment.				
Lagoa + lagos de maturação				
Lagoa + lagoa de alta taxa	✓			
Lagoa + remoção de algas				
Infiltração lenta	✓	✓	✓	
Infiltração rápida	✓			
Escoamento superficial				
Banhados artificiais (wetlands)				
Tanque séptico + filtro anaeróbio				
Tanque séptico + infiltração				
UASB				
UASB + lodos ativados				
UASB + biofiltro aerado submerso				
UASB + filtro anaeróbio				
UASB + filtro biológico de baixa carga				
UASB + lagoas de maturação				
UASB + escoamento superficial				
Lodos ativados convencional				
Aeração prolongada				
Reator por batelada				
Lodos ativados c/ remoção biológica de N				
Lodos ativados c/ remoção biológica de N/P	✓	✓	✓	
Lodos ativados + filtração	✓			
Filtro biológico de baixa carga				
Filtro biológico de alta carga				
Biofiltro aerado submerso				
Biofiltro aerado submerso com rem. biológ. de N				
Biodisco				
Qualquer das tecnologias acima + precipitação química	✓	✓	✓	✓

Quadro 11. Capacidade de diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias em atingir consistentemente distintos níveis de qualidade do efluente em termos de Coliformes Fecais

Sistema	Coliformes Fecais (CF/100ml)			
	1 x 10 ⁶	1 x 10 ⁵	1 x 10 ⁴	1 x 10 ³
Lagoa facultativa	✓			
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	✓	✓		
Lagoa aerada facultativa	✓			
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sediment.	✓			
Lagoa + lagos de maturação	✓	✓	✓	✓
Lagoa + lagoa de alta taxa	✓	✓		
Lagoa + remoção de algas	✓	✓		
Infiltração lenta	✓	✓	✓	✓
Infiltração rápida	✓	✓	✓	
Escoamento superficial	✓			
Banhados artificiais (wetlands)	✓	✓		
Tanque séptico + filtro anaeróbio	✓			
Tanque séptico + infiltração	✓	✓	✓	✓
UASB				
UASB + lodos ativados	✓			
UASB + biofiltro aerado submerso	✓			
UASB + filtro anaeróbio	✓			
UASB + filtro biológico de baixa carga	✓			
UASB + lagoas de maturação	✓	✓	✓	✓
UASB + escoamento superficial	✓	✓		
Lodos ativados convencional				
Aeração prolongada	✓			
Reator por batelada				
Lodos ativados c/ remoção biológica de N				
Lodos ativados c/ remoção biológica de N/P				
Lodos ativados + filtração	✓	✓	✓	✓
Filtro biológico de baixa carga				
Filtro biológico de alta carga				
Biofiltro aerado submerso				
Biofiltro aerado submerso com rem. biológ. de N				
Biodisco				
Qualquer das tecnologias acima + desinfecção/barreira (a)	✓	✓	✓	✓

(a) Desinfecção: ex. cloração, ozonização, radiação UV; Barreira: ex. membranas (desde que o processo de desinfecção / barreira seja compatível com a qualidade do efluente do tratamento precedente)

Quadro 12 Capacidade de diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias em atingir consistentemente distintos níveis de qualidade do efluente em termos de Ovos de Helmintos

Sistema	Ovos de helmintos
	≤ 1 ovo/L
Lagoa facultativa	✓
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	✓
Lagoa aerada facultativa	
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sediment.	✓
Lagoa + lagos de maturação	✓
Lagoa + lagoa de alta taxa	
Lagoa + remoção de algas	
Infiltração lenta	✓
Infiltração rápida	✓
Escoamento superficial	✓
Banhados artificiais (wetlands)	✓
Tanque séptico + filtro anaeróbio	
Tanque séptico + infiltração	✓
UASB	
UASB + lodos ativados	
UASB + biofiltro aerado submerso	
UASB + filtro anaeróbio	
UASB + filtro biológico de baixa carga	
UASB + lagoas de maturação	✓
UASB + escoamento superficial	✓
Lodos ativados convencional	
Aeração prolongada	
Reator por batelada	
Lodos ativados c/ remoção biológica de N	
Lodos ativados c/ remoção biológica de N/P	
Lodos ativados + filtração	✓
Filtro biológico de baixa carga	
Filtro biológico de alta carga	
Biofiltro aerado submerso	
Biofiltro aerado submerso com rem. biológ. de N	
Biodisco	
Qualquer das tecnologias acima + desinfecção/barreira (a)	Variável

(b) Desinfecção: ex. cloração, ozonização, radiação UV; Barreira: ex. membranas (desde que o processo de desinfecção / barreira seja compatível com a qualidade do efluente do tratamento precedente)

REMOÇÃO DE ORGANISMOS PATOGÊNICOS

A maior parte dos processos de tratamento de esgotos citados é bastante eficiente na remoção de sólidos em suspensão e matéria orgânica, mas geralmente insuficiente para a remoção de microrganismos patogênicos. Apesar da importância deste item em nosso meio, ele não tem recebido a devida consideração no tratamento de esgotos.

A remoção adicional de microrganismos patogênicos pode ser alcançada através dos processos mais usuais, listados no Quadro 13. Todos os processos listados, desde que bem projetados e operados, são capazes de produzir efluentes com excelente qualidade bacteriológica, permitindo inclusive o uso para irrigação irrestrita.

Quadro 13. Principais processos para a remoção de patogênicos no tratamento dos esgotos domésticos

Tipo	Processo	Comentário
Natural	Lagoa de maturação	<ul style="list-style-type: none"> • São lagoas de menores profundidades, onde a penetração da radiação solar ultravioleta e as condições ambientais desfavoráveis causam uma elevada mortalidade dos patogênicos. • As lagoas de maturação não necessitam de produtos químicos ou energia, mas requerem grandes áreas. • Devido à sua grande simplicidade e baixos custos, são os sistemas mais recomendáveis (desde que haja área disponível).
	Infiltração no solo	<ul style="list-style-type: none"> • As condições ambientais desfavoráveis no solo favorecem a mortalidade de patogênicos. • Deve-se atentar para a possível contaminação de vegetais, os quais usualmente não devem ser ingeridos. • Não necessita de produtos químicos. • Requer grandes áreas.
Artificial	Cloração	<ul style="list-style-type: none"> • O cloro mata os microrganismos patogênicos. • São necessárias elevadas dosagens, o que encarece o processo. Quanto maior a prévia remoção de matéria orgânica, menor a dosagem requerida de cloro. • Há certa preocupação com relação à geração de subprodutos tóxicos aos seres humanos, mas deve-se levar em consideração o grande benefício em termos de saúde pública da remoção de patogênicos. • Em corpos d'água, deve-se ter também preocupação com a toxicidade causada pelo cloro residual aos seres aquáticos do corpo receptor. O cloro residual deve apresentar valores bem baixos, freqüentemente exigindo uma descloração. • No Brasil, há bastante experiência com cloração na área de tratamento de água e alguma experiência com cloração no tratamento de esgotos.
	Ozonização	<ul style="list-style-type: none"> • O ozônio é um agente bastante eficaz para a remoção de patogênicos. • No entanto, a ozonização é ainda cara em nosso meio, embora os custos estejam se reduzindo, tornando esta alternativa competitiva, em determinadas circunstâncias. • Há pouca experiência com ozonização no Brasil.
	Radiação ultravioleta	<ul style="list-style-type: none"> • A radiação ultravioleta, gerada por lâmpadas especiais, mata os agentes patogênicos. • Não há geração de subprodutos tóxicos. • Idealmente, o efluente deve ser bem clarificado, para que a radiação possa penetrar bem na massa líquida. • Este processo tem se desenvolvido bastante recentemente, tornando-se competitivo com a cloração em várias aplicações.
	Membranas	<ul style="list-style-type: none"> • A passagem dos esgotos tratados por membranas de diminutas dimensões (ultrafiltração, nanofiltração) constitui-se em uma barreira física aos microrganismos patogênicos, os quais são de maiores dimensões que os poros. • O processo é bastante promissor, e não introduz produtos químicos no líquido. • Os custos são ainda elevados, mas os mesmos têm se reduzido bastante recentemente.

TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DO LODO

Todos os sistemas de tratamento de esgotos geram algum subproduto sólido, como material gradeado e areia, removidos em uma etapa do tratamento, denominado tratamento preliminar. No entanto, o principal subproduto do tratamento é o lodo, o qual corresponde principalmente à biomassa que se reproduziu às custas da matéria orgânica dos esgotos.

O lodo removido necessita ser tratado e posteriormente disposto. Todos os sistemas de tratamento geram lodo, mas em alguns deles o lodo fica acumulado no próprio sistema, não necessitando ser removido dentro de um longo horizonte de operação da estação. Em outros sistemas, usualmente mais compactos, o lodo necessita ser removido continuamente ou com elevada freqüência. O Quadro 14 apresenta freqüências aproximadas de remoção do lodo.

Quadro 14. Frequência aproximada de remoção do lodo

Tipo de tratamento	Sistema	Frequência de remoção do lodo
Simplificado	Lagoas facultativas Disposição no solo Reatores anaeróbios	Maior que 20 anos - Mensal/vários meses
Mecanizado	Lagoas aeradas Reatores com biofilme Lodos ativados	Inferior a 5 – 10 anos (depende do tipo) Contínua Contínua

Nos sistemas com remoção freqüente do lodo, o tratamento e disposição final do mesmo são partes integrantes e fundamentais do processo de tratamento dos esgotos. Ampla atenção deve ser dada à questão, muitas vezes de difícil resposta, do que fazer com o lodo, após seu tratamento.

O tratamento do lodo usualmente é composto pelas seguintes etapas:

- **Adensamento:** redução de umidade (redução de volume). O lodo está na forma líquida.
- **Estabilização:** redução de matéria orgânica
- **Desidratação:** redução adicional da umidade (redução de volume). O lodo está na forma sólida.

Possíveis alternativas de disposição final do lodo são:

- **Aplicação do lodo no solo**, na forma líquida (sem desidratação)
- **Aplicação do lodo no solo**, na forma sólida (após desidratação)
- **Compostagem** ou co-compostagem com o lixo urbano
- **Aterro sanitário**

Naturalmente que as alternativas mais desejáveis são as que possibilitam a utilização do lodo na agricultura, como fertilizante e recompositor da camada superficial de solo. Dependendo do tipo de cultura utilizada, usualmente se necessita de uma etapa adicional no tratamento do lodo, denominada **higienização**, cuja principal função é a remoção de organismos patogênicos (transmissores de doenças) do lodo.

A Figura 4 apresenta fluxogramas típicos de tratamento e disposição final do lodo. Os Quadros 15 e 16 apresentam produções típicas de lodo a ser tratado e a ser disposto, em função do processo de tratamento utilizado para a fase líquida.

TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DO LODO

FLUXOGRAMAS USUAIS

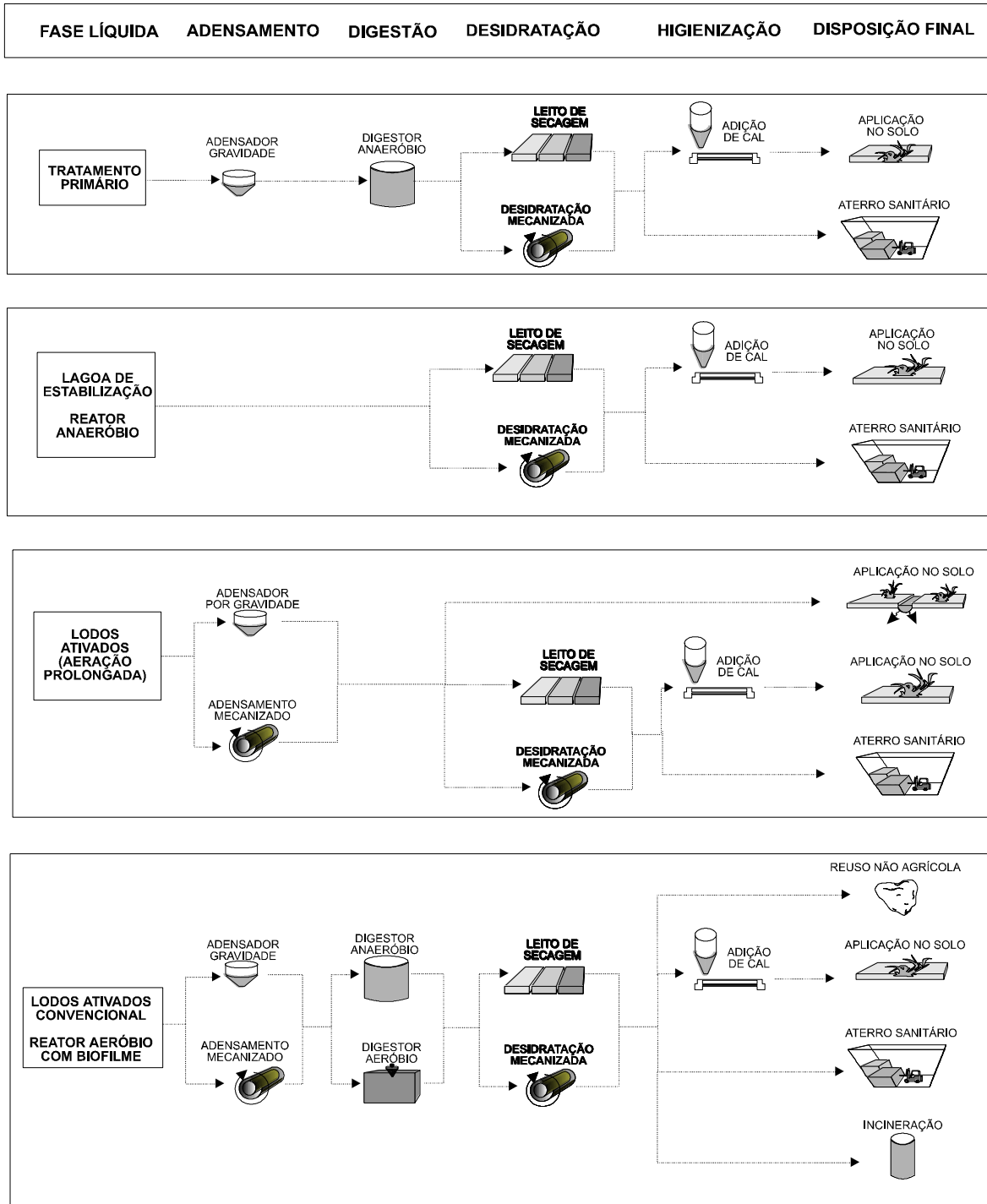


Fig. 4. Fluxogramas usuais de tratamento e disposição do lodo (representação esquemática de processos frequentemente empregados; certas etapas podem ser opcionais; em cada etapa, há várias variantes de processo)

Quadro 15. Comparação relativa entre a produção volumétrica per capita de lodo gerado (**lodo a ser tratado**) em vários sistemas de tratamento de esgotos

Sistema	Valor (L/hab.d)	Volume per capita de lodo produzido (a ser tratado) (L/ hab.d)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tratamento primário (convencional)	0,6 – 2,2										
Tratam. primário (tanques sépticos)	0,3 – 1,0										
Lagoa facultativa	0,1 – 0,25										
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa											
• Lagoa anaeróbia	0,1 – 0,3										
• Lagoa facultativa	0,05 – 0,15										
• Total	0,15 – 0,45										
Lagoa aerada facultativa	0,08 – 0,22										
Lagoa aer. mist. compl. – lagoa sedim.	0,15 – 0,25										
Tanque séptico + filtro anaeróbio											
• Tanque séptico	0,3 – 1,0										
• Filtro anaeróbio	0,2 – 1,8										
• Total	0,5 – 2,8										
Lodos ativados convencional											
• Lodo primário	0,6 – 2,2										
• Lodo secundário	2,5 – 6,0										
• Lodo misto	3,1 – 8,2										
Lodos ativados – aeração prolongada	3,3 – 5,6										
Filtro biológico de alta carga											
• Lodo primário	0,6 – 2,2										
• Lodo secundário	0,8 – 3,0										
• Lodo misto	1,4 – 5,2										
Biofiltro aerado submerso											
• Lodo primário	0,6 – 2,2										
• Lodo secundário	2,5 – 6,0										
• Lodo misto	3,1 – 8,2										
Reator UASB	0,2 – 0,6										
UASB + lodos ativados											
• Lodo anaeróbio (UASB)	0,3 – 0,6										
• Lodo aeróbio (lodos ativados) (*)	0,2 – 0,5										
• Lodo misto(*)	0,5 – 1,1										
UASB + reator aeróbio com biofilme											
• Lodo anaeróbio (UASB)	0,3 – 0,6										
• Lodo aeróbio (reator aeróbio) (*)	0,2 – 0,5										
• Lodo misto(*)	0,5 – 0,11										

A unidade L/hab.d não implica em que o descarte do lodo seja diário

(*) Assumindo retorno do lodo excedente aeróbio ao UASB, onde sofre digestão e adensamento conjuntamente com o próprio lodo anaeróbio do UASB.

Quadro 16. Comparação relativa entre a produção volumétrica per capita de lodo desidratado (**lodo seco a ser disposto**) em vários sistemas de tratamento de esgotos

Sistema	Valor (L/hab.d)	Volume per capita de lodo desidratado (a ser disposto) (L/ hab.d)						
		0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Tratamento primário (convencional)	0,05-0,11							
Tratam. primário (tanques sépticos)	0,05 – 0,10							
Lagoa facultativa	0,05-0,08							
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa								
• Lagoa anaeróbia	0,05-0,14							
• Lagoa facultativa	0,015-0,03							
• Total	0,06-0,11							
Lagoa aerada facultativa	0,02-0,04							
Lagoa aer. mist. compl. – lagoa sedim.	0,025-0,04							
Tanque séptico + filtro anaeróbio								
• Tanque séptico	0,05 – 1,0							
• Filtro anaeróbio	0,02– 0,03							
• Total	0,07 – 0,13							
Lodos ativados convencional								
• Lodo primário	-							
• Lodo secundário	-							
• Lodo misto	0,10-0,25							
Lodos ativados – aeração prolongada	0,11-0,29							
Filtro biológico de alta carga								
• Lodo primário	-							
• Lodo secundário	-							
• Lodo misto	0,09-0,22							
Biofiltro aerado submerso								
• Lodo primário	-							
• Lodo secundário	-							
• Lodo misto	0,10-0,25							
Reator UASB	0,03-0,09							
UASB + lodos ativados								
• Lodo anaeróbio (UASB)	-							
• Lodo aeróbio (lodos ativados) (*)	-							
• Lodo misto(*)	0,04-0,16							
UASB + reator aeróbio com biofilme								
• Lodo anaeróbio (UASB)	-							
• Lodo aeróbio (reator aeróbio) (*)	-							
• Lodo misto(*)	0,04-0,15							

O valor mais preciso do volume final de lodo desidratado depende das etapas de tratamento do lodo e, principalmente, do processo utilizado para a desidratação

A unidade L/hab.d não implica em que a disposição do lodo seja diária

(*) Assumindo retorno do lodo excedente aeróbio ao UASB, onde sofre digestão e adensamento conjuntamente com o próprio lodo anaeróbio do UASB.

COMENTÁRIOS FINAIS

O presente artigo procurou dar uma visão abrangente, mas forçosamente superficial dos principais processos de tratamento de esgotos disponíveis e utilizados em nosso meio. A grande variação das características entre os mesmos se constitui em um poderoso aliado ao engenheiro de controle ambiental: há tecnologias adequadas a todas as situações. Não há uma única resposta nem o melhor processo em termos absolutos. O processo a ser utilizado deverá ser sempre aquele que obtiver melhor desempenho em um estudo técnico-econômico de alternativas.