

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO - PARÂMETROS DE CONTROLE E PROJETO PARA ETES EM COMUNIDADES DE MÉDIO E PEQUENO PORTE

Erivelton Bortoli dos Santos⁽¹⁾

Engenheiro Civil graduado pela FEIS – UNESP em 1991; Mestrando pela UFSCAR; atuando na SABESP de 1998 até 2008 como Engenheiro de Projetos e de 2008 até 2012 como Gerente de Setor de Presidente Epitácio, atualmente como Engenheiro do Departamento de Desenvolvimento da Operação da SABESP de Lins.

Nilton da Costa Pimenta⁽²⁾

Tecnólogo - atuou na SABESP desde 1978 até 2020, inicialmente na Fiscalização de Obras e posteriormente na área de Empreendimentos do Departamento de Desenvolvimento da Operação da SABESP de Lins.

Rosane Ogusku⁽³⁾

Técnica em Edificações – atuou na SABESP desde 1998 até 2018 como Desenhista Projetista na área de Empreendimentos e Desenvolvimento Operacional.

Gabriel Dantas Brolio⁽⁴⁾

Graduado em Técnico em Edificações – atuou na SABESP de 2012 a 2014 no programa Aprendiz, no Departamento de Desenvolvimento Operacional. Atualmente cursando Teologia.

Endereço⁽¹⁾: Rua da Constituição, 306 - Bairro Vila Alta – Lins - SP - CEP: 16400-510 - Brasil - Tel: +55 (14) 3532-3503 - e-mail: eriveltonbs@sabesp.com.br

RESUMO

Amplamente tem sido apresentada a afirmação de que cada Real investido em Saneamento Básico gera uma economia de cinco Reais na Saúde. O que gera motivo para indignação é por que então existem tantas cidades, até de grande destaque no cenário Nacional, sofrendo com a precariedade na Saúde Pública e longe da Universalização do Saneamento Básico, principalmente no que tange ao Tratamento dos Esgotos gerados. A ausência de Tratamento dos Esgotos tem implicações na restrição do uso da água dos corpos receptores (mananciais), agravando ainda mais a crise hídrica que se projeta para os próximos anos no Brasil e no Mundo. Será que os custos são elevados e impraticáveis? Mas e o retorno na redução dos gastos com a Saúde? A verdade é que uma boa gestão busca recursos, sendo pela tarifa, financiamentos tipo Fehidro, FUNASA e outros, e atende a demanda. Em todo o País encontramos as mais diversificadas formas de resolver o problema, provando que é possível oferecer um serviço digno à comunidade. Abordaremos uma tecnologia de baixo custo, tanto nos aspectos de implantação como operação e que levou a Unidade de Negócio do Baixo Tietê e Grande à Universalização do Tratamento de Esgotos nas sedes dos municípios.

PALAVRAS-CHAVE: esgotos; tratamento; lagoas

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Sistema Nacional de Informação de Saneamento (SNIS) 2013, apenas 39% dos esgotos gerados no Brasil são coletados e tratados. Este é um nível muito baixo de atendimento, considerando que as maiores aglomerações urbanas concentram a maior parte da população. Assim, a situação se agrava, ficando a falta de cobertura para as comunidades com menor população e também com maiores restrições de recursos.

A tabela 1 abaixo apresenta resumidamente o panorama do Saneamento Básico no Brasil no ano de 2013.



Região	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Água		Coleta de esgotos		Esgotos gerados	Esgotos coletados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Total
	(IN ₀₅₅)	(IN ₀₂₃)	(IN ₀₅₆)	(IN ₀₂₄)	(IN ₀₄₆)	(IN ₀₁₆)
Norte	52,4	62,4	6,5	8,2	14,7	85,3
Nordeste	72,1	89,8	22,1	29,3	28,8	78,1
Sudeste	91,7	96,8	77,3	82,2	43,9	64,3
Sul	87,4	97,4	38,0	44,2	35,1	78,9
Centro-Oeste	88,2	96,3	42,2	48,6	45,9	91,6
Brasil	82,5	93,0	48,6	56,3	39,0	69,4

Nota: para o cálculo do índice de tratamento dos esgotos gerados (IN₀₄₆) estima-se o volume de esgoto gerado como sendo igual ao volume de água consumido.

Tabela 1. Níveis de atendimento com água e esgotos – SNIS 2013

1.1 Resíduos Líquidos

Talvez seja mais bem conceituado por águas residuárias ou servidas. Em termos de constituição varia por uma gama de substâncias, menos comuns como solventes, ácidos, escumas, até despejos de águas pluviais de áreas urbanas e o principal, abordado no trabalho, que são os esgotos domésticos.

As principais fontes geradoras podem ser assim elencadas:

- Residencial: vaso sanitário, chuveiro, cozinha.
- Comercial: hotéis, bares, restaurantes.
- Institucionais: hospitais, presídios, repartições públicas.
- Industrial: sobras do processo, do resfriamento, da lavagem

1.2 Importância do Sistema de Esgotamento Sanitário e suas implicações

Pode-se dividir a demanda pelo Sistema de Esgotamento Sanitário em duas principais vertentes. A primeira e de maior importância relacionada aos Aspectos Sanitários, relacionadas à Saúde Pública. A segunda abrange os Aspectos Ambientais, com ação sobre os corpos receptores e o meio ambiente em geral.

1.3 Níveis do tratamento de esgotos

O Sistema de Tratamento de Esgotos pode ser dividido em 3 níveis:

- Tratamento primário: remoção física e bioquímica de sólidos em suspensão (que decantam)
- Tratamento secundário: remoção bioquímica da matéria orgânica dos esgotos, transformando em sais minerais ou novos micro organismos
- Tratamento terciário: remoção de nutrientes e organismos patogênicos

1.4 Eficiência das etapas do tratamento de esgotos

A tabela 2 apresenta de forma reduzida as faixas de eficiência de cada um dos três níveis de tratamento de esgotos apresentadas no trabalho.

Eficiência da remoção				
Tipo de tratamento	Matéria orgânica (% remoção DBO)	Sólidos em suspensão (% remoção SS)	Nutrientes (% remoção nutrientes)	Bactérias (% remoção)
Preliminar	5 - 10	5 - 20	Não remove	10 - 20
Primária	25 - 50	40 - 70	Não remove	25 - 75
Secundária	80 - 95	65 - 95	Não remove	70 - 99
Terciária	40 - 99	80 - 99	Até 99	Até 99,999

Tabela 2. Eficiência de remoção de poluentes por tipo de tratamento

1.5 Lagoas de Estabilização

Como escopo do trabalho foi abordado apenas a eficiência na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que de forma bastante simplificada pode ser entendida como a quantidade de oxigênio consumida pelos microorganismos presentes nos esgotos para decomposição da matéria orgânica ao longo de 5 dias. A DBO existente nos esgotos quando exercida em um recurso hídrico, compromete a vida aquática pela redução dos níveis de oxigênio dissolvido na massa líquida. Assim, uma das principais metas no tratamento de esgotos é a redução da DBO presente.

As lagoas de estabilização estão entre as formas mais simplificadas de tratamento de esgotos. Por meio de processos físicos, biológicos e ou bioquímicos ocorre a transformação de compostos orgânicos em compostos minerais ou orgânicos mais estáveis.

Existe uma comprovada viabilidade de adoção dessa forma de tratamento de esgotos para as cidades de médio e pequeno porte do nosso país, motivada principalmente pelos requisitos de implantação que são a disponibilidade de grandes áreas para execução das lagoas, reduzido custo do empreendimento, condições climáticas adequadas, aliado à baixa complexidade operacional e qualidade dos efluentes compatível com os requisitos dos mananciais receptores do efluente tratado.

A figura 1 apresenta a fotografia aérea de um sistema de tratamento de esgotos de uma cidade do interior do estado de São Paulo, composta por 2 Lagoas Anaeróbias, seguidas por 2 Lagoas Facultativas e mais 2 Lagoas de Maturação.



Figura 1. Fotografia aérea de Lagoas Anaeróbias seguidas por Facultativas e Maturação

1.5.1 Lagoa Anaeróbia

É uma forma de tratamento de esgotos considerada de nível primário, no qual ocorre a sedimentação de sólidos em suspensão e a oxidação da matéria orgânica se dá através de processo biológico predominantemente anaeróbio. É constituída basicamente de um tanque de avantajadas dimensões, devidamente impermeabilizado (compactação do solo ou membrana), onde propriamente se inicia o tratamento dos efluentes.

A figura 2 apresenta de forma esquemática uma secção transversal de uma lagoa de estabilização convencional.

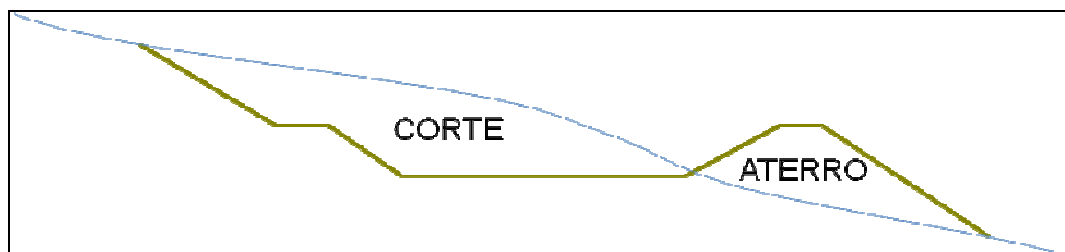


Figura 2. Secção transversal de uma lagoa de estabilização

Os principais parâmetros para dimensionamento do sistema são o tempo de detenção (T_d) recomendado entre 3 e 6 dias e a profundidade (h) do tanque entre 3 e 5 metros. Outro parâmetro usado é a taxa de aplicação volumétrica, expressa em $\text{Kg DBO}/\text{m}^3/\text{dia}$, com valores entre de 0,1 a $0,35 \text{ Kg DBO}/\text{m}^3/\text{d}$.

1.5.2 Lagoa Facultativa

Como a lagoa anaeróbia, também se trata de uma forma simples de tratamento de esgotos, constituída agora de um tanque de maiores dimensões superficiais, que pode receber diretamente os efluentes gerados, assim denominada lagoa facultativa primária, ou recebendo os efluentes de uma etapa anterior de tratamento, nesse caso denominada secundária.

A figura 3 ilustra os principais processos na cinética do tratamento de esgotos de uma lagoa facultativa.

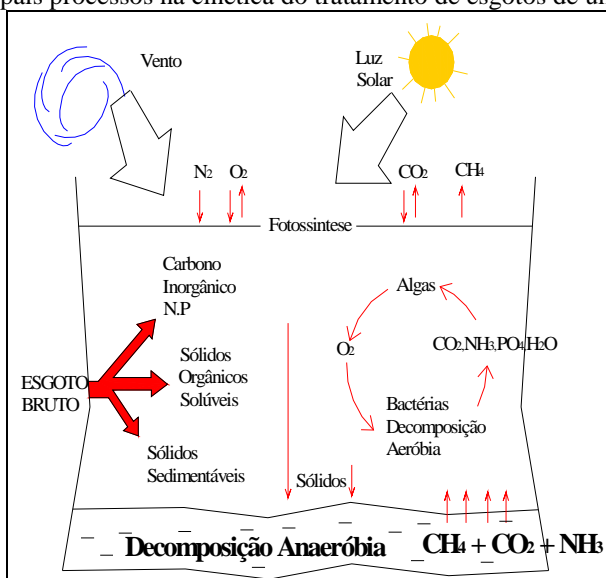



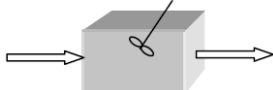
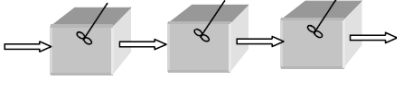

Figura 3. Principais processos no tratamento de esgotos em lagoas facultativas convencionais

Os principais parâmetros para dimensionamento do sistema são o tempo de detenção, recomendado entre 10 e 20 dias e a profundidade (h) do tanque entre 1,5 e 2,5 metros. Outro parâmetro é a taxa de aplicação superficial (L_s), expressa em $\text{Kg DBO}/\text{ha}/\text{dia}$, com valores recomendados pela literatura entre 100 e $350 \text{ Kg DBO}/\text{ha}/\text{d}$.

1.5.2.1. Dimensionamento e cálculo da eficiência do sistema

A modelagem para dimensionamento de lagoas facultativas prevê 4 tipos de regimes de escoamento.

O quadro 1 apresenta resumidamente o enquadramento e características de cada modelo de regime existente.

Modelo Hidráulico	Esquema	Características
Fluxo em pistão		Fluxo se processa como um êmbolo, sem misturas longitudinais. As partículas mantêm a sua identidade e permanecem no tanque por um período igual ao tempo de detenção hidráulico. (tanques longos, elevada relação comprimento-largura)
Mistura completa		As partículas que entram no tanque são imediatamente dispersas em todo o corpo do reator. O fluxo de entrada e saída é contínuo (tanques circulares ou quadrados)
Mistura completa em série		Os reatores de mistura completa em série são utilizados para modelar o regime hidráulico que existe entre os regimes ideais de fluxo em pistão e mistura completa. Série uma unidade (mistura completa), série infinita (fluxo em pistão)
Fluxo disperso		O fluxo disperso é obtido em um sistema qualquer com grau de mistura intermediário entre os dois extremos de fluxo pistão e mistura completa

Quadro 1. Regimes para dimensionamento e modelagem de lagoas de estabilização

As lagoas estudadas foram modeladas com o regime de fluxo disperso e para isso usados os parâmetros e fórmulas apresentados à seguir.

O parâmetro de estudo foi a eficiência da remoção de DBO do sistema, representado pela relação entre a diferença da concentração de DBO afluente (S_0) e efluente (S) ou da que entra menos a que sai da lagoa, pela concentração afluente (S_0).

- Eficiência = $(S_0 - S)/S_0$ (%)

A equação 1 seguinte estima a concentração efluente de DBO ou que sai da lagoa estudada. As equações 2, 3 e 4 são obtidas das dimensões, características e condições operacionais do sistema.

- $$S = S_0 \times 4 \times a \times e^{1/(2d)} / \left[(1+a)^2 \times e^{a/(2d)} - (1-a)^2 \times e^{-a/(2d)} \right]$$
 equação (1)

Onde:

d – número de dispersão

- $$d = 0,102 \times \left[\frac{3 \times (B+2H) \times T_D \times \mu}{4 \times L \times B \times H} \right]^{-0,410} \times (H/L) \times (H/B)^{-0,9841385H/B}$$
 equação (2)

B – largura (m)

L – comprimento (m)

H – profundidade (m)

T_D – tempo de detenção (dias)

μ - viscosidade cinemática da água (m^2/d)

- $a = \sqrt{1 + 4 \times K \times d \times T_D}$ equação (3)

- $K = 0,132 \times \text{Log } L_s - 0,146$ equação (4)

L_s – taxa de aplicação superficial (Kg DBO/ha)

- $L_s = 50 \times 1,072^T$ (Temperatura média do ar)

1.5.3 Lagoa de Maturação

Como as demais lagoas também se trata de uma forma simples de tratamento de esgotos, visando o polimento ou remoção de patogênicos. Trata-se também de um tanque de pequena profundidade, onde é assegurada a penetração plena da luz solar.

É usual o emprego de lagoas com profundidades entre 0,8 e 1,20 m e tempo de detenção em torno de 5 a 7 dias, dependendo do requisito imposto pelo corpo receptor. Nela predominam as maiores relações entre comprimento e largura, visando assegurar um escoamento tipo pistão. O uso de chicaneamento ajuda a melhorar essa relação, contribuindo para a eficiência do sistema.

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho basicamente é a avaliação de parâmetros operacionais com identificação de taxas e condições limites para atendimento a exigências ambientais.

Adicionalmente, estabelecer uma comparação da performance entre sistemas diferentes (Facultativa x Australiano x Maturação), oferecendo de forma geral algumas referências para orientar escolha de alternativas no estudo de concepção de sistemas de tratamento de esgotos.

Avaliar a aderência ou compatibilidade entre os resultados pela modelagem com base na literatura e os obtidos nos laudos de monitoramento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi usada a base de operação da Unidade de Negócio da SABESP do Baixo Tietê e Grande, concentrada predominantemente na região Noroeste do estado de São Paulo, como apresentado na figura 4.

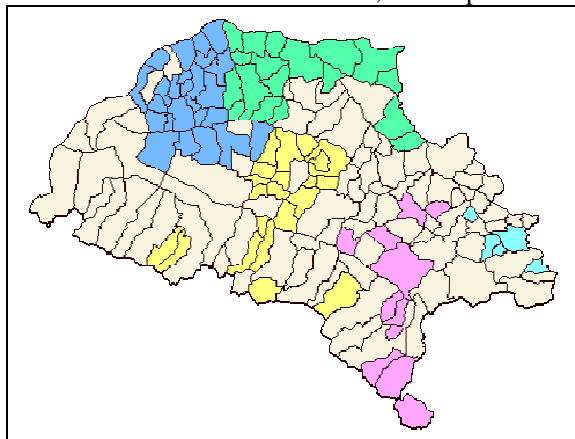


Figura 4. Mapa dos municípios da base de operação da Unidade do Baixo Tietê e Grande da SABESP

Com o uso de dados operacionais, imagens aéreas, dados climatológicos e literatura, foram geradas informações de cada um dos sistemas, permitindo estabelecer comparações, identificação de tendências e criação de padrões para novas ETE's e controle do sistema.

4 RESULTADOS E CONCLUSÃO

4.1 Levantamento das cargas afluentes, efluente e média por habitante (g DBO/hab).

Inicialmente utilizou-se os dados disponíveis no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2012, de 103 comunidades dotadas diversificadas formas de tratamento de esgotos, com população variando entre 138 a 70.658 habitantes.

O gráfico 1 foi elaborado para obtenção da carga média de contribuição de DBO por habitante por dia.

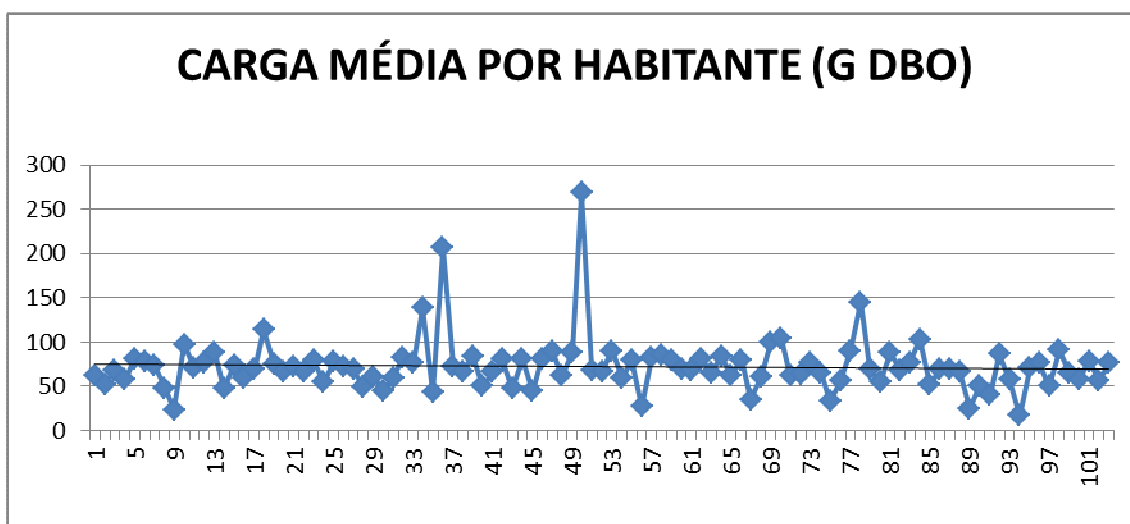


Gráfico 1. Carga per capita de DBO por habitante por dia

Com as ponderações feitas nos laudos de monitoramento, tomando como base a concentração de DBO afluente, ou que chega na entrada das Estações de Tratamento, foi obtida a carga média com valor de 71,43 g de DBO por habitante por dia.

O valor sugerido pela literatura para o dimensionamento é de 54 g de DBO por habitante por dia, ou seja 32 % menor.

Foi observado que entre as comunidades maiores ocorria uma tendência de menores concentrações afluentes de DBO.

Para avaliação mais detalhada dessa tendência buscou-se levantar os dados de cidades maiores fora do âmbito da unidade de negócio em estudo e foi realmente constatado outro patamar de valores.

O quadro 2 apresenta os valores estudados para levantamento da carga de DBO por habitante nas maiores comunidades.

UNIDADE	Comunidades Operadas com Tratamento de Esgoto Sanitário	População Atendida com Coleta	Carga Afluente por habitante	Cota por habitante
	dez/12	(hab)	(mg/L)	l/dia
SABESP	Comunidade 1	123.443	101	133
SABESP	Comunidade 2	159.327	66	164
SABESP	Comunidade 3	39.827	69	164
SABESP	Comunidade 4	268.582	33	137
SABESP	Comunidade 5	85.412	40	150
SABESP	Comunidade 6	107.654	73	148
SABESP	Comunidade 7	67.500	85	137
SABESP	Comunidade 8	33.901	16	143
SABESP	Comunidade 9	414.185	41	205
SABESP	Comunidade 10	68.396	63	181
SABESP	Comunidade 11	213.182	23	159
	Média		55	156

Quadro 2. Cargas de DBO e cota de esgotos em comunidades de médio e grande porte

A carga média obtida nessa condição foi compatível com o valor de 54 g de DBO por habitante por dia, recomendada pela literatura.

Para analisar a discrepância entre as cargas de DBO entre as comunidades maiores e menores procedeu-se ao levantamento das cotas de esgotos per capita também das menores, visando avaliar as condições de diluição. O resultado está expresso no gráfico 2.

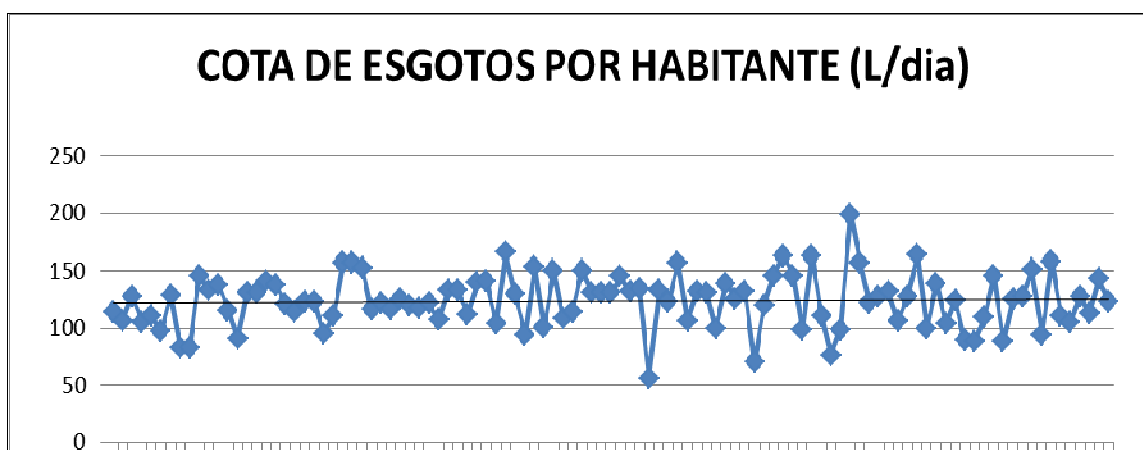


Gráfico 2. Cota per capita de esgotos por habitante por dia nas menores comunidades (< 50.000 hab)

Observou-se um valor médio em torno de 124 L/dia. Assim, presumidamente, entende-se haver uma maior concentração da carga de DBO, em virtude da vazão para diluição ser menor.

4.2 Relação entre o tempo de detenção e a eficiência do sistema

A literatura estabelece uma relação de proporcionalidade entre o tempo de detenção e a eficiência do sistema na remoção de DBO para lagoas de estabilização. Visando confirmar essa indicação foram associados no gráfico 3 essas duas variáveis.

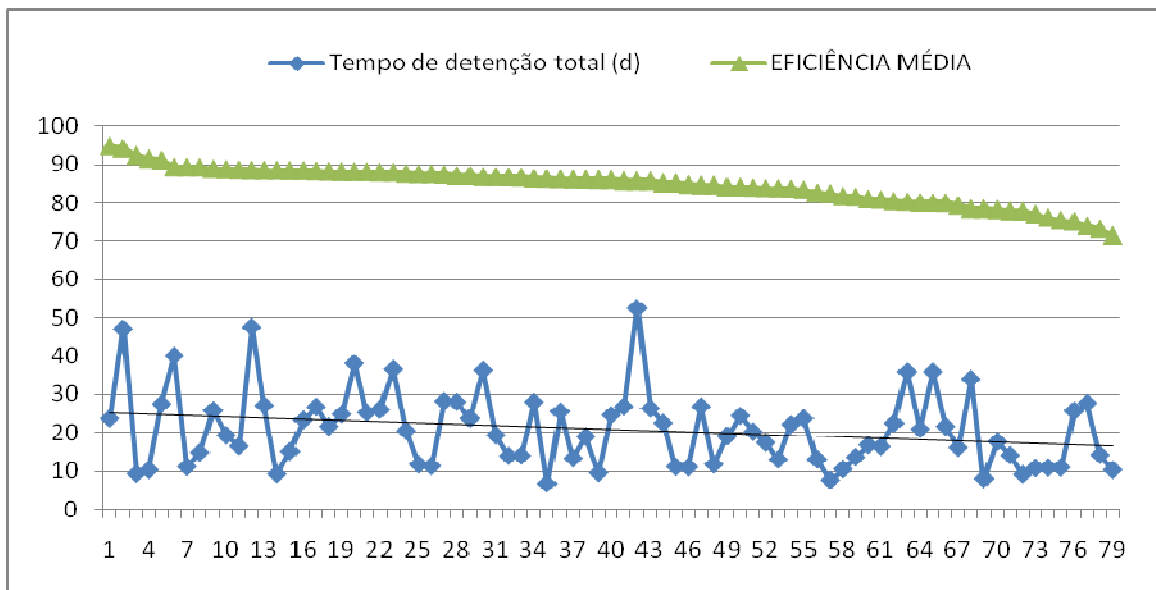


Gráfico 3. Relação entre tempo de detenção e eficiência na remoção de DBO

É nítida a percepção da redução da eficiência do sistema em função do tempo de detenção. Mas o que se procura encontrar é o limite para o qual ocorre o atendimento ao requisito de 80 % de eficiência.

4.3 Análise dos principais tipos de Sistemas de Tratamento de Esgotos

O trabalho abordou basicamente 4 arranjos para o sistema de tratamento de esgotos: Lagoa Anaeróbia seguida por Lagoa Facultativa (Sistema Australiano), Sistema Australiano seguido por Lagoa de Maturação, Lagoa Facultativa e Lagoa Facultativa seguida por Lagoa de Maturação.

1º Tipo - Sistema composto por Lagoa Anaeróbia seguida por Lagoa Facultativa (Sistema Australiano)

Foram inicialmente selecionadas 21 comunidades atendidas por Sistema Australiano, como apresentado na tabela 3.



ETE	Conc. Méd afluente (mg/L)	Conc. Méd efluente (mg/L)	Eficiência média	Tempo de detenção total (d)	Tempo de detenção parcial (d)		
					Anaeróbia	Facultativa 1	Facultativa 2
Comunidade 1	695	35	95%	23.6	4.60	9.60	9.40
Comunidade 2	500	38	92%	9.2	3.20	6.00	
Comunidade 3	411	47	89%	16.4	5.20	11.20	
Comunidade 4	601	69	89%	27	5.60	21.40	
Comunidade 5	442	51	89%	15	5.50	9.50	
Comunidade 6	558	69	88%	11.6	4.40	7.20	
Comunidade 7	505	66	87%	36.2	5.10	15.60	15.50
Comunidade 8	628	83	87%	13.8	5.40	8.40	
Comunidade 9	483	64	87%	13.9	4.90	9.00	
Comunidade 10	438	59	86%	27.9	6.40	21.50	
Comunidade 11	674	93	86%	13.2	3.80	9.40	
Comunidade 12	498	69	86%	18.9	4.50	14.40	
Comunidade 13	720	100	86%	9.4	1.80	3.80	3.80
Comunidade 14	418	58	86%	24.5	7.00	17.50	
Comunidade 15	455	65	86%	26.2	6.30	19.90	
Comunidade 16	700	107	85%	10.9	3.90	7.00	
Comunidade 17	485	78	84%	20.1	6.80	13.30	
Comunidade 18	757	133	82%	7.5	2.80	4.70	
Comunidade 19	557	102	82%	10.4	2.60	7.80	
Comunidade 20	513	98	81%	16.3	4.40	11.90	
Comunidade 21	643	139	78%	7.9	3.00	4.90	

Tabela 3. Características das comunidades atendidas por Sistema Australiano

Para facilitar a avaliação da tendência foi elaborado o gráfico 4.

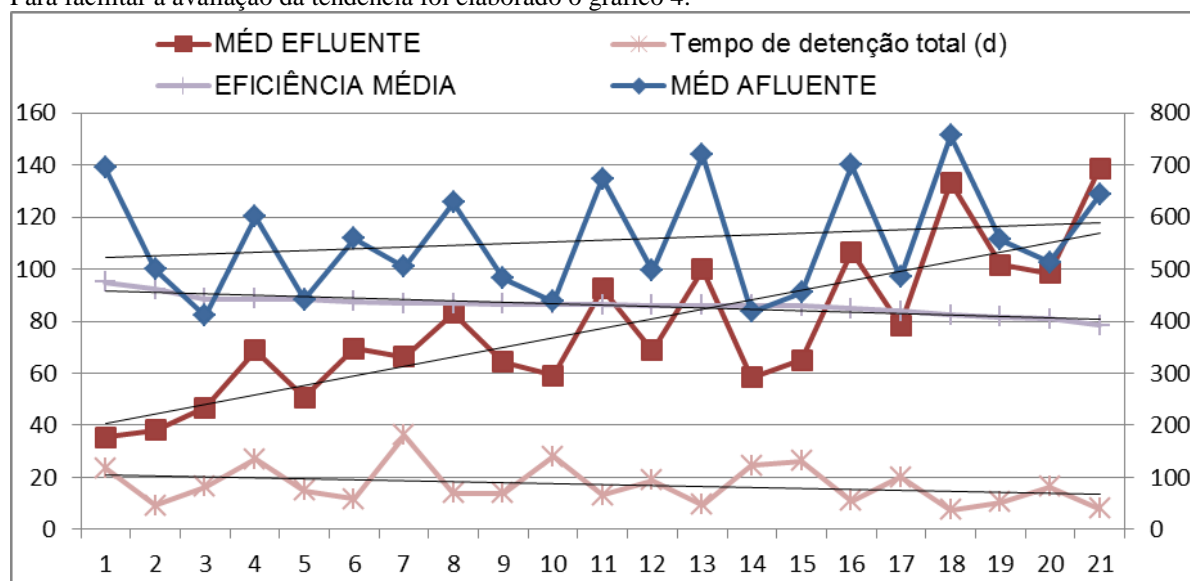


Gráfico 4. Relação entre tempo de detenção e eficiência na remoção de DBO

Foi observado que a performance está relacionada com o tempo de detenção, como demonstrado pelas linhas de tendência dos gráficos. Porém, o sistema com maior tempo de detenção não teve a maior eficiência e também o de menor tempo de detenção não teve a menor eficiência.

A concentração de DBO afluente também estava elevada, variando entre 400 a 700 mg/L, com tendência de média entre 500 a 600 mg/L.

Apenas 1 comunidade, identificada como a de número 21, com tempo de detenção de 7,9 dias, não conseguiu atingir a meta de 80 % de eficiência, como detalhado na tabela abaixo. Com esse baixo valor de tempo de detenção presumidamente se encontra saturado o sistema. Vale salientar que a concentração de DBO afluente estava também elevada acima da média dos demais.

É interessante observar que outras comunidades, embora com tempo de detenção inferior a 10 dias, apresentaram eficiência na remoção de DBO superior a 80 %, com destaque para a de número 2, com tempo de detenção de 9,20 dias, 92 % de eficiência, DBO afluente de 500 mg/l e efluente de 38 mg/L.

2º Tipo - Sistema Australiano com Lagoa de Maturação

Aqui foram selecionadas 11 comunidades que adicionalmente ao Sistema Australiano possuíam Lagoa de Maturação, como apresentado na tabela 4.

ETE	Conc. Méd afluente (mg/L)	Conc. Méd efluente (mg/L)	Eficiência média	Tempo de detenção total (d)	Tempo de detenção parcial (d)		
					Anaeróbia	Facultativa	Maturação
Comunidade 1	776	45	94%	47	4.80	31.00	11.20
Comunidade 2	530	45	92%	10.2	2.00	3.90	4.30
Comunidade 3	505	56	89%	25.7	4.70	11.40	9.60
Comunidade 4	777	89	88%	23.2	2.70	14.60	5.90
Comunidade 5	646	85	87%	19.2	2.50	12.00	4.70
Comunidade 6	463	63	86%	25.4	4.10	17.00	4.30
Comunidade 7	359	55	85%	26.7	5.30	10.20	11.20
Comunidade 8	515	84	84%	17.3	2.50	9.10	5.70
Comunidade 9	517	90	83%	12.9	1.90	5.70	5.30
Comunidade 10	452	93	79%	16	5.20	5.40	5.40
Comunidade 11	434	94	78%	33.9	5.80	19.90	8.20

Tabela 4. Características das comunidades atendidas por Sistema Australiano seguido por Maturação

Com a Lagoa de Maturação complementar ao Sistema Australiano surpreendentemente foi observado que a performance em termos de remoção de DBO foi comprometida, pois 2 comunidades com tempo de detenção superior a 15 dias obtiveram eficiência inferior a 80 %, uma inclusive com 33,9 dias de detenção e eficiência de 78 %. Vale observar que a concentração afluente é menor, mas a efluente também estava elevada.

Buscou-se então examinar de forma melhor detalhada o histórico do monitoramento e foram encontrados os resultados da tabela 5.

Local	Anaeróbia	Facultativa	Maturação	mar/11			mai/11			jun/11			jul/11			set/11			mai/12			nov/12			Média					
	TEMPO DE DETENÇÃO (d)	TEMPO DE DETENÇÃO (d)	TEMPO DE DETENÇÃO (d)	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	MÉD AFLUENTE	MÉD EFLUENTE	EFICIÊNCIA MÉDIA			
Comunidade 10	5.80	19.90	8.20	220	28	87	422	80	81	462	210	55	623	110	82													434	94	79
Comunidade 11	5.20	5.40	5.40													382	60	84	450	160	64	523	60	89	452	93	79			

Tabela 5. Resultados dos laudos de monitoramento das comunidades 10 e 11

Observou-se que existiram dois eventos pontuais de desatendimento da meta de 80 %, que implicaram na redução da média.

Na comunidade 10 a anomalia foi em junho de 2011, com concentração afluente de 462, efluente de 210 mg/L e eficiência de 55 %. Na comunidade 11 a anomalia foi em maio de 2012, com concentração afluente de 450, efluente de 160 mg/L e eficiência de 64 %.

Desconsiderando os eventos pontuais, foi obtida uma nova eficiência média de 85 e 86 % respectivamente, como rerepresentado na tabela 6.

Local	Anaeróbia	Faustativa	Maturação	mar/11			mai/11			jun/11			jul/11			set/11			mai/12			nov/12			Média													
	TEMPO DE DETENÇÃO (d)	TEMPO DE DETENÇÃO (d)	TEMPO DE DETENÇÃO (d)	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	REM. DBO %	MED AFLUENTE	MED EFLUENTE	EFICIÊNCIA MÉDIA											
Comunidade 10	5.80	19.90	8.20	220	28	87	422	80	81				623	110	82																					427	65	85
Comunidade 11	5.20	5.40	5.40													382	60	84							523	60	89	453	60	86								

Tabela 6. Resultados ajustados para cálculo de nova média de eficiência das comunidades 10 e 11

Não foi o propósito do trabalho avaliar a causa das anomalias, que até poderia ser um evento pontual com lançamento de efluentes não domésticos. O que realmente importa é que o sistema voltou ao regime normal de trabalho, oferecendo razoáveis condições de comparação com os demais.

3º Tipo - Sistema composto por Lagoa Facultativa única

Foi o sistema mais simplificado de tratamento de esgotos encontrado, com ocorrência em 34 comunidades, como apresentado na tabela 7.



Comunidade	Méd afluente	Méd efluente	Eficiência média	População	Carga média por habitante (g DBO)	Largura (m)	Comprimento (m)	Profundidade (m)	Tempo de detenção total (d)	L/B facultativa	Taxa de aplicação - laudos (KgDBO/ha/d)	Taxa de aplicação facultativa - Teórica (KgDBO/ha/d)
1	1179	126	89%	138	179	27.0	53.0	1.5	40.00	1.96	173	52
2	560	60	89%	2347	102	38.0	77.0	1.5	11.00	2.03	815	433
3	605	65	89%	4082	123	56.0	194.0	1.5	14.70	3.46	463	203
4	907	102	89%	1279	156	41.0	78.0	1.5	19.20	1.90	624	216
5	600	70	88%	2050	71	44.0	102.0	1.5	26.60	2.29	324	247
6	605	71	88%	2462	93	39.0	100.0	1.5	21.50	2.56	590	341
7	663	78	88%	2200	101	85.0	123.0	1.5	24.70	1.45	212	114
8	755	90	88%	825	104	27.5	105.6	1.5	38.00	3.84	297	153
9	479	58	88%	1577	91	63.0	124.0	1.5	25.90	1.97	183	109
10	571	69	88%	1563	87	47.0	104.0	1.5	36.50	2.21	278	173
11	537	66	88%	1744	87	53.7	108.3	1.5	20.40	2.94	262	162
12	450	56	88%	2345	56	30.0	78.0	1.5	11.20	2.60	565	541
13	633	82	87%	2103	84	52.0	100.0	1.5	27.90	1.92	340	218
14	623	85	86%	3884	83	44.0	80.0	1.5	6.60	2.00	913	596
15	473	67	86%	1969	75	66.0	140.0	1.5	26.70	2.12	159	115
16	129	18	86%	1071	20	52.0	86.0	1.5	52.40	1.64	48	129
17	587	87	85%	1719	73	36.0	100.0	1.5	22.40	2.78	349	258
18	778	115	85%	1749	95	33.0	67.0	1.5	11.00	2.00	753	427
19	473	73	85%	3664	56	45.0	76.0	1.5	11.60	1.69	597	579
20	668	106	84%	3775	122	42.0	139.0	1.5	19.00	3.31	790	349
21	385	61	84%	2838	61	51.0	115.0	1.5	24.30	2.25	297	261
22	696	113	84%	10643	103	68.0	180.0	1.5	12.90	2.77	892	470
23	448	73	84%	2444	75	52.0	108.0	1.5	22.00	2.08	326	235
24	528	97	82%	1836	95	37.0	75.0	1.5	13.50	2.03	626	357
25	563	110	80%	678	73	27.0	61.0	1.5	22.30	2.26	301	222
26	578	114	80%	2423	82	60.0	87.0	1.5	35.80	1.45	382	251
27	311	62	80%	930	35	38.2	73.6	1.5	35.80	1.93	115	179
28	500	100	80%	2827	71	56.0	107.0	1.5	21.50	1.91	335	255
29	460	100	78%	4242	81	60.0	118.0	1.5	17.60	1.97	487	324
30	571	126	78%	8406	94	44.0	225.0	1.5	14.00	5.11	796	459
31	508	113	78%	4909	67	30.0	144.0	1.5	9.00	4.80	761	614
32	615	141	77%	11031	98	47.0	253.0	1.5	10.70	5.38	909	501
33	495	133	73%	5337	79	64.0	141.0	1.5	14.10	2.20	470	319
34	485	139	71%	2128	99	35.0	84.0	1.5	10.20	2.40	714	391
Média	571	89	84%		87					2.51	475	302

Tabela 7. Características dos sistemas compostos por Lagoa Facultativa

Para facilitar a avaliação da tendência foi elaborado o gráfico 5.

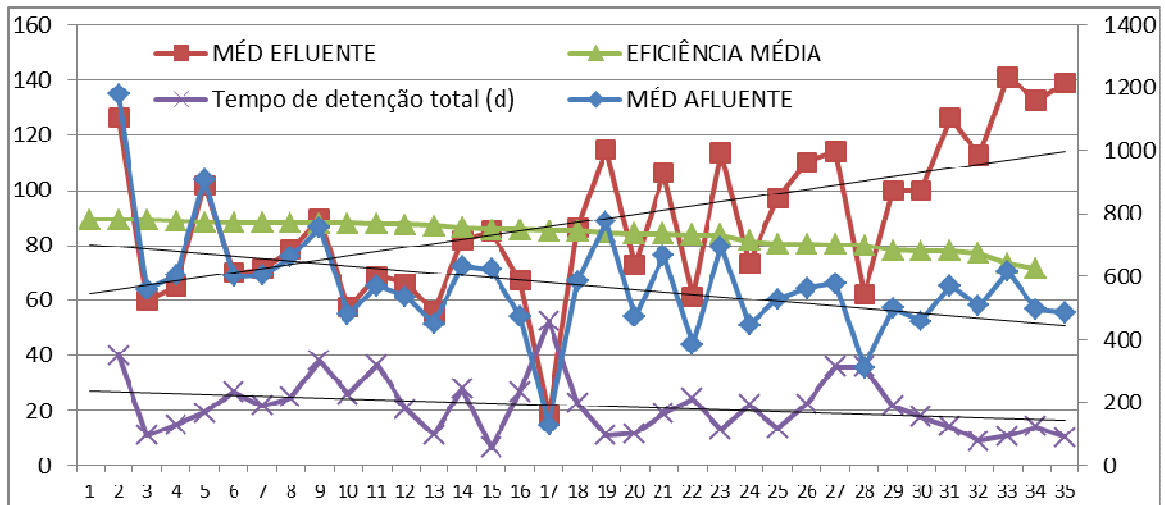


Gráfico 5. Avaliação da eficiência do sistema composto por Lagoa Facultativa

Como nos demais sistemas estudados a eficiência da Lagoa Facultativa foi função do tempo de detenção, um reduzindo com a redução do outro. Como as concentrações afluentes estão no eixo secundário, o afastamento relativo com a média efluente caracterizou uma redução da eficiência do sistema.

Percebeu-se mais sensivelmente uma associação do aumento da média efluente com a queda da redução da eficiência.

Observa-se que à partir da 13ª comunidade se iniciou uma tendência de afastamento entre a concentração de DBO afluente e efluente. Como os gráficos estão em eixos opostos, se caracterizou uma aproximação entre os valores. Isso delimitou uma redução da eficiência da remoção a valores inferiores a 86 %.

O limite para atendimento da eficiência de 80 % na remoção de DBO foi para uma taxa de aplicação inferior a 335 Kg DBO/ha.

Observou-se que o tempo de detenção inferior ou igual a 17,60 dias não assegurava o atendimento ao critério dos 80 % de eficiência na remoção de DBO.

Para associar a eficiência com a Taxa de aplicação superficial foram lançados os valores correspondentes no gráfico 6.

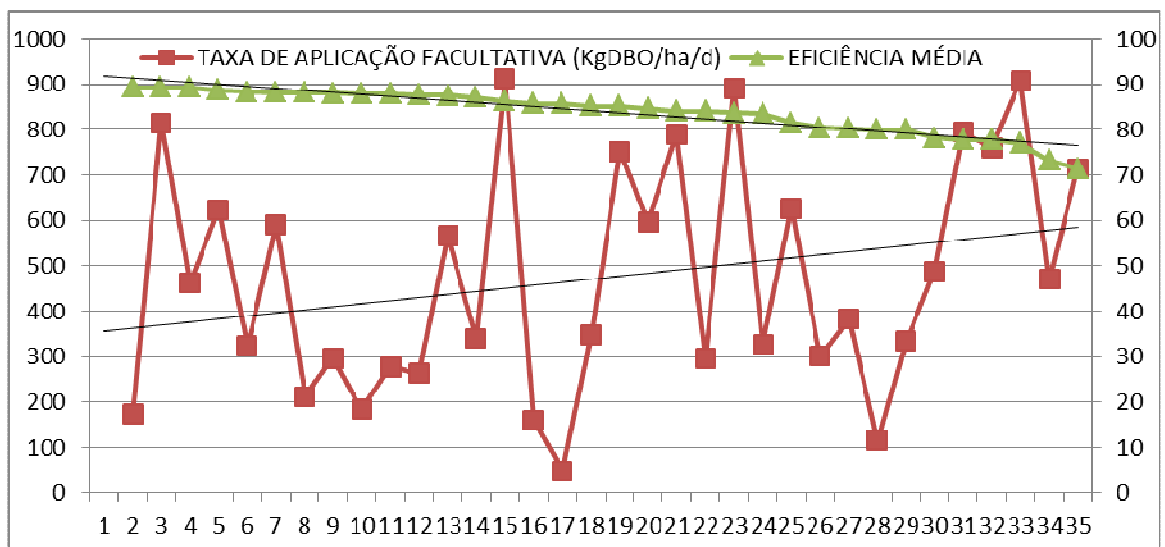


Gráfico 6. Avaliação da eficiência do sistema em função da Taxa de aplicação superficial

O resultado esperado aconteceu, com a eficiência crescendo inversamente à taxa de aplicação superficial.

Avaliação da aplicabilidade da literatura no dimensionamento de Lagoas Facultativas

Especificamente para essa parte do estudo foram selecionadas as comunidades com menor tempo de implantação das lagoas, tomando como referência o ano de 1999. Assim, foram estudadas mais detalhadamente 6 comunidades.

Para melhorar a avaliação dos parâmetros foi estendido o estudo, englobando também os resultados do monitoramento do ano de 2013, como apresentado na tabela 8.

ETE	Méd. afluente	Méd. efluente	Eficiência média	Eficiência projetada	Eficiência média - Mistura completa	Taxa de aplicação projetada (KgDBO/ha/d)	Taxa de aplicação facultativa (KgDBO/ha/d)	Tempo de detenção total (d)	L/B Facultativa
Comunidade 9	755	90	88	90	89	215.31	297	38.00	3.84
Comunidade 14	633	82	87	88	86	215.31	340	27.90	1.92
Comunidade 18	587	87	85	89	84	215.31	349	22.40	2.78
Comunidade 25	536	74	86	88	77	215.31	626	13.50	2.03
Comunidade 26	483	65	87	89	82	215.31	301	22.30	2.26
Comunidade 28	293	59	79.7	88.4	81	215.31	115	35.80	1.93

Tabela 8. Condições operacionais das Lagoas Facultativas implantadas à partir de 1999

A modelagem por mistura completa foi tentada e levava a resultados com maior divergência. Assim foi adotado o regime de fluxo disperso, que é o indicado para tanques com predominância do comprimento em relação à largura, desde que não seja exageradamente superior.

Com a finalidade de facilitar a comparação dos resultados obtidos na modelagem com os encontrados no monitoramento, os dados foram lançados no gráfico 7.

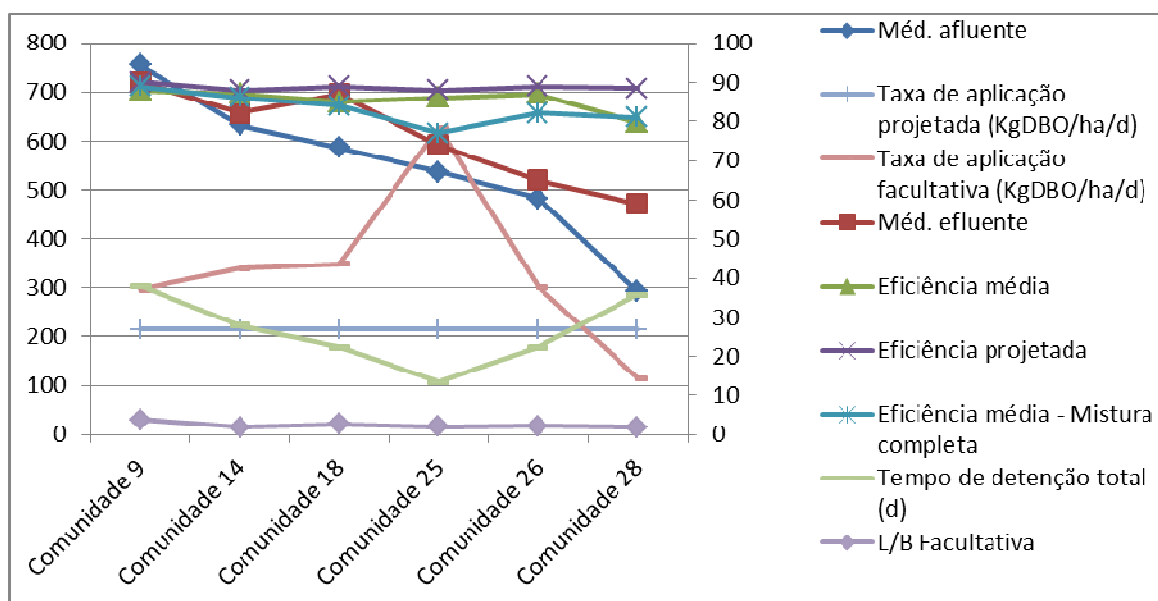


Gráfico 8. Parâmetros para comparação entre valores calculados e reais em Lagoas Facultativas

Pode-se observar que as maiores eficiências se deram em sistemas com maiores concentrações afluentes, isso também porque a eficiência é estimada sobre a diferença entre concentração afluente e efluente.

A diferença entre a eficiência projetada e a obtida no monitoramento foi pequena, variando de 1 a 9 %, com média de 3,33 %.

A comunidade 28 apresentou a maior divergência entre a eficiência projetada (88 %) e a obtida (80 %). Porém a concentração afluente foi relativamente baixa, o que reduz a eficiência que é um valor relativo.

4º Tipo - Sistema composto por Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

Foram encontradas apenas 5 comunidades com Lagoa Facultativa seguida por Lagoa de Maturação, como apresentado na tabela 9.

Comunidade	Tempo de detenção facultativa (d)	L/B facultativa	Tempo de detenção maturação (d)	L/B maturação	Méd afluente	Méd efluente	Eficiência média	Tempo de detenção total (d)	Taxa de aplicação facultativa (KgDBO/ha/d)	Taxa de aplicação facultativa teórica (kgdbo/ha/d)
1	20,4	4,4	7,0	8,0	507	45	91	27,4	414	223
2	33,3	4,0	14,3	4,0	700	80	89	47,5	376	179
3	21,7	2,3	3,4	2,2	373	44	88	25,1	254	275
4	17,2	1,7	6,4	1,0	532	69	87	23,6	510	299
5	21,3	3,1	6,3	1,7	607	158	74	27,6	651	352

Tabela 9. Características dos Sistemas formados por Lagoa Facultativa seguida por Maturação

Observou-se que a comunidade 5 apresentou eficiência abaixo de 80 %, mesmo com um tempo de detenção superior a 27 dias.

Avaliou-se detalhadamente o resultado dos laudos de monitoramento e foi encontrado um resultado destoante, com concentração de DBO efluente superior a 300 mg/L em fevereiro de 2012, como ilustra a tabela 10.

Local	Tempo de detenção (d)	Tempo de detenção (d)	mai/11			fev/12			ago/12			Média		
			DBO AFL	DBO EFF	Rem. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	Rem. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	Rem. DBO %	Afluente	Efluente	Eficiência
Comunidade 5	21,30	6,30	560	54	90	580	310	47	680	110	84	607	158	74

Tabela 10. Resultados dos laudos de monitoramento da comunidade 5

Novamente observou-se que não faz parte do escopo do trabalho avaliar o motivo e optou-se por purgar dos resultados desse ponto de desconformidade. Assim foram obtidos melhores resultados como demonstra a tabela 11.

	Facultativa	Maturação	mai/11			ago/12			Média		
Local	Tempo de detenção (d)	Tempo de detenção (d)	DBO AFL	DBO EFF	Rem. DBO %	DBO AFL	DBO EFF	Rem. DBO %	Afluente	Efluente	Eficiência
Comunidade 5	21,30	6,30	560	54	90	680	110	84	620	82	87

Tabela 11. Resultados ajustados para cálculo de nova média de eficiência das comunidades 5

Com os resultados ajustados os dados foram lançados no gráfico 9 para facilitar a análise.

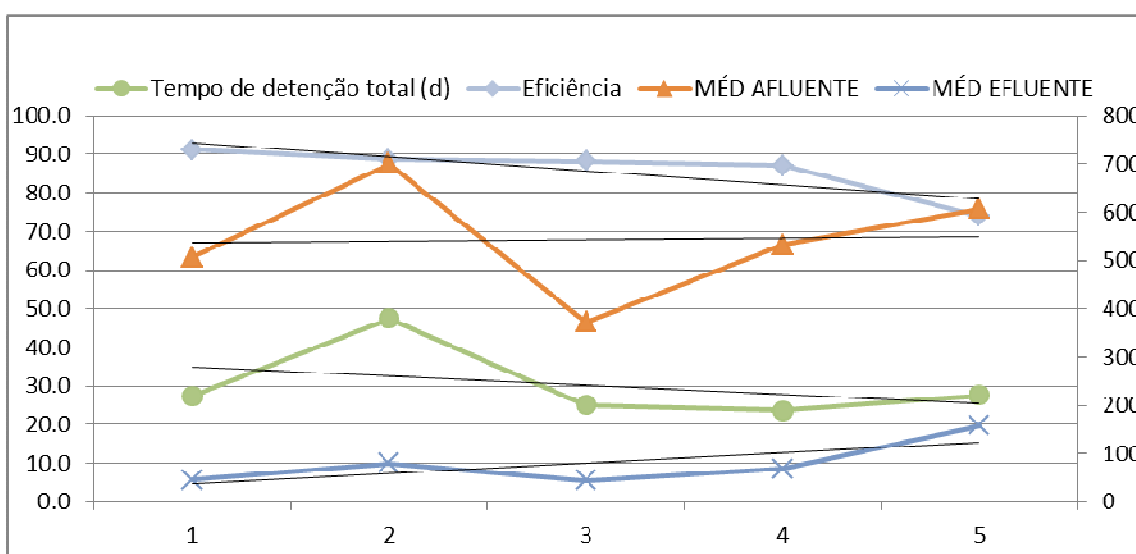


Gráfico 9. Parâmetros para comparação entre valores calculados e reais em Lagoas Facultativas

Como nos demais sistemas estudados a eficiência foi função do tempo de detenção.

Todos os sistemas apresentaram performance desejável, com eficiência acima de 85 %.

Os tempos de detenção estão relativamente elevados comparados com outros sistemas devido à idade do tratamento, que se encontram predominantemente em meio de plano de projeto.

Avaliação da aplicabilidade da literatura no dimensionamento de Lagoas Facultativas seguidas de Maturação

Para esse sistema de início já se descartou a modelagem por mistura completa usando apenas fluxo disperso.

Também foi desconsiderada a remoção de DBO existente na Lagoa de Maturação.

ETE	Méd. afluente	Méd. efluente	Eficiência média	Eficiência projetada	Taxa de aplicação projetada (KgDBO/ha/d)	Taxa de aplicação facultativa (KgDBO/ha/d)	Tempo de detenção total (d)	L/B Facultativa
Comunidade 1	507	45	91	90%	215.31	414	27,4	4,4
Comunidade 2	700	80	89	90%	215.31	376	47,5	4,0
Comunidade 3	373	44	88	89%	215.31	254	25,1	2,3
Comunidade 4	532	69	87	88%	215.31	510	23,6	1,7
Comunidade 5	607	158	87	88%	215.31	651	27,6	3,1

Tabela 12. Condições operacionais das Lagoas Facultativas seguidas de Lagoas de Maturação

O gráfico 10 com os parâmetros da tabela 12 permite uma avaliação melhor entre os resultados da modelagem e obtidos no monitoramento.

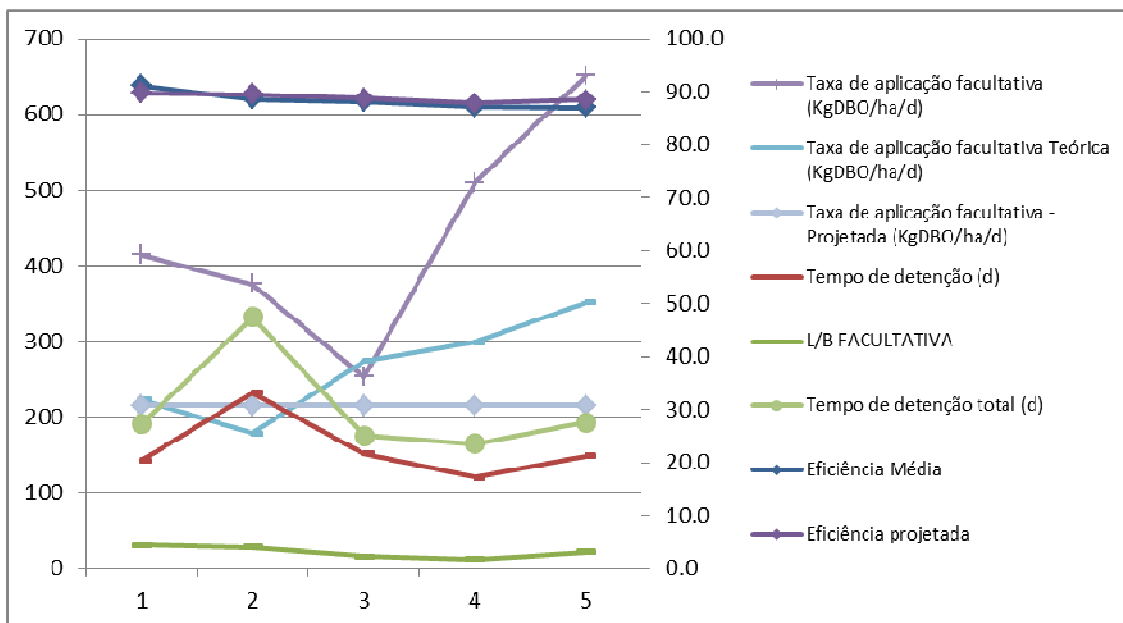


Gráfico 10. Parâmetros para comparação entre valores calculados e reais em Lagoas Facultativas

Percebeu-se que a eficiência calculada equivale aos valores encontrados no monitoramento.

As maiores relações L/B apresentaram maior eficiência, porém como o tempo de detenção também era maior nada se pode afirmar com certeza.

4.4 Comparação entre os tipos de tratamento analisados

Para efetuar uma comparação dois sistemas estudados tomou-se como ponto de referência o tempo de detenção, que espelha o tamanho ou porte da ETE.

A tabela 13 apresenta as 4 variações estudadas, com seus Td associados a faixas de eficiência.

Tipo de tratamento e tempo de detenção médio (d)				Eficiência média (%)
Anaeróbia com Facultativa	Anaeróbia com Facultativa e Maturação	Facultativa única	Facultativa com Maturação	
16	29		27	91 a 95
20	23	25	32	86 a 90
13	19	17		81 a 85
12	25	22		78 a 80
		12	28	71 a 77

Tabela 13. Tipo de tratamento e eficiência em função do tempo de detenção

O gráfico 11 demonstra o alcance de cada um dos sistemas em função do Td.

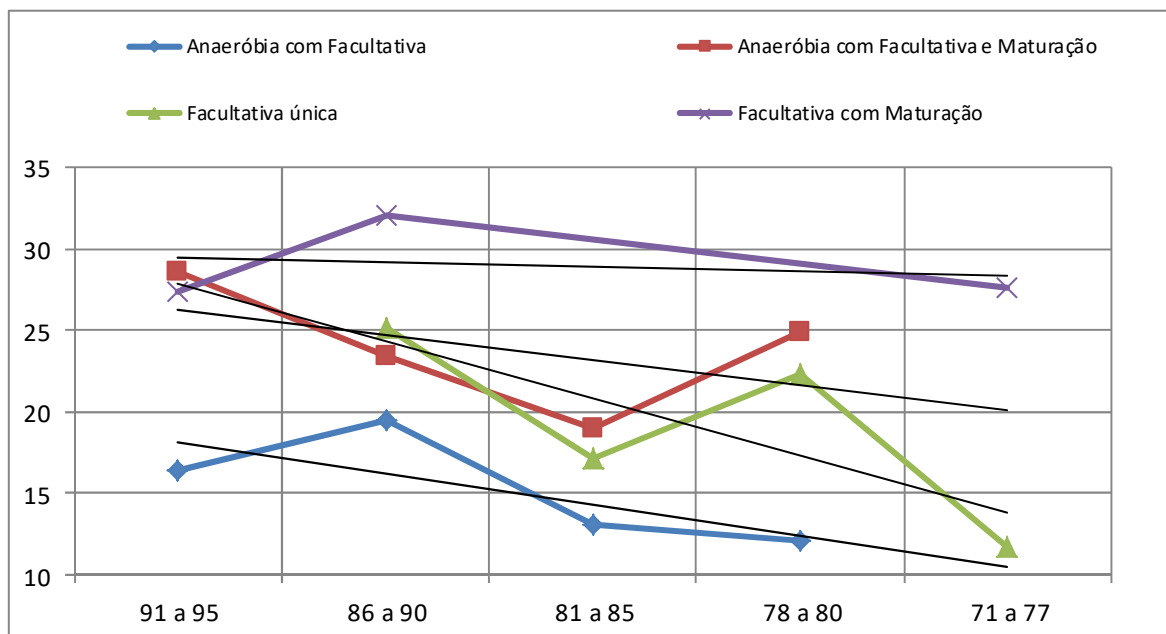


Gráfico 11. Níveis alcançados de eficiência na remoção de DBO em função do tempo de detenção

Pelo gráfico apresentado é possível observar que o Sistema de Lagoa Anaeróbia associada com Facultativa demanda um menor tempo de detenção para a mesma faixa de eficiência das demais. Com a associação da Lagoa de Maturação ao sistema houve uma aparente perda de eficiência para as faixas correspondentes do tempo de detenção. Isso porque a Lagoa de Maturação tem por função o polimento e não a remoção de DBO do sistema.

Pelo mesmo motivo o sistema com Lagoa Facultativa única se mostrou mais eficiente do que quando associado à Lagoa de Maturação.

4.5 Comparação sob a ótica financeira entre Sistema Australiano com Maturação e Facultativa seguida de Maturação

Com o propósito de confirmar a hipótese da viabilidade financeira do Sistema Australiano sobre a Lagoa Facultativa, foram levantadas as planilhas orçamentárias de 2 empreendimentos para atendimento de comunidades bastante semelhantes.

As informações básicas estão relacionadas na tabela 14.

Comunidade	Custo da obra (R\$)	Volume total do sistema (m ³)	População (hab)		Custo específico	
			População (Censo de 2010)	População futura	R\$/hab	R\$/m ³
Australiano com Maturação	3.241.662,40	91969	10073	17508	185.15	35.25
Facultativa com Maturação	2.789.609,34	70925	7546	13116	212.69	39.33

Tabela 14. Resumo de tipos, custos e capacidade dos sistemas de tratamento de esgotos

Pode-se observar que o custo da obra foi menor em torno de 15 %.

A demanda de área para implantação também é reduzida em cerca de 10 % em função da maior profundidade da Lagoa Anaeróbia, o que aumenta relativamente a viabilidade financeira do Sistema Australiano. É importante reforçar que na mesma faixa de tempo de detenção são esperados melhores resultados no sistema australiano do que na Facultativa.

Vale lembrar que o estudo de concepção do sistema de tratamento de esgotos não é norteador apenas pelo custo, entrando outras variáveis como existência de imóveis na redondeza, condições geotécnicas, topográficas etc.

6 CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os sistemas de tratamento de esgotos tipo lagoas de estabilização atendem satisfatoriamente à demanda existente no interior do estado de São Paulo e, por conseguinte, do Brasil.

Onde não ocorrem restrições, preferencialmente deve ser avaliada a possibilidade de implantação de Sistema Australiano, e diante da necessidade, de polimento através de Lagoa de Maturação.

Devido aos reduzidos tempos de detenção e boa eficiência encontrados, é possível a hipótese de eficiências superiores aos 50 e até 60 % na remoção de DBO na Lagoa Anaeróbia, como prevê a literatura.

As comparações entre modelagem e resultados validam as formulações e equações sugeridas pela literatura.

As taxas de aplicação recomendadas pela literatura estão abaixo dos valores encontrados e que atendem às exigências de eficiência dos sistemas.

A concentração de DBO nas menores comunidades foi relativamente maior que nas de maiores portes, isso talvez pela menor diluição, pois a contribuição de esgotos ou cota per capita nas menores comunidades foi menor do que nas maiores comunidades. A análise com amostragem composta da DBO poderia ajudar a elucidar a hipótese.

Os resultados encontrados nos Sistemas Australianos, que em primeira avaliação se encontravam saturados sob a análise do tempo de detenção, sugerem um estudo pormenorizado, com monitoramento da DBO afluente e efluente na Lagoa Anaeróbia e depois na Lagoa Facultativa, reavaliando os parâmetros indicados na literatura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Von Sperling, Marcos – Lagoas de Estabilização. Belo Horizonte-MG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 1986.
2. BRASIL, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades. SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Brasília-DF. Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS. 2013.
3. SÃO PAULO (Estado), Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP. 2013.

