L.A.F.A. – LAGOA ANAERÓBIA DE FLUXO ASCENDENTE ALTERNATIVA DE OTIMIZAÇÃO, MODERNIZAÇÃO DAS LAGOAS ANAERÓBIAS APLICADA PARA O TRATAMENTO DOS EFLUENTES SANITÁRIOS, AGRÍCOLAS, INDUSTIAIS E CHORUME

Elso Vitoratto
Eng. Químico, Doutor desde 2004, Mestre desde 1998, ambos pela F.C. Farmacêutica da USP, área concentração: Tecnologia das Fermentações, tratamento de efluentes pelo processo de biológicos. Professor universitário de 1987 à 2016, ministrando aulas de Engenharia Ambiental, para Engenharia Química e Química Industrial. Trabalhou 19 anos em pesquisa no IPT – USP, Laboratório de biotecnologia. Atua como Socio Diretor, desde 2005, na empresa Nova Era Ambiental Equipamentos e Serviços Ltda.

Endereço: Rua Mongubá, 139–Vila Carrão–São Paulo - SP, CEP:03438-000-Br- Tel: +55 (11) 2781-9270;
Email: engenharia@novaeraambiental.com.br. https://www.novaeraambiental.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma alternativa para a otimização e eventual substituição das lagoas anaeróbias convencionais, por meio da aplicação de um reator denominado **LAFA - Lagoa Anaeróbia de Fluxo Ascendente com leito de lodo**, avaliado em escala real, para o tratamento de dejetos provenientes de 45.000 suínos e para o esgoto sanitário de 7.500 habitantes, água de lavagem de cana-de-açúcar e chorume. A substituição das lagoas anaeróbias convencionais pelo reator **LAFA** configura uma alternativa tecnicamente vantajosa sob múltiplos aspectos: proporciona maior eficiência na remoção de carga orgânica (expressa em DBO, DQO e sólidos suspensos), demanda menor volume e área de implantação e permite, ainda, a conversão das lagoas anaeróbias já em operação em reatores LAFA. Essa reconversão viabiliza não apenas o aumento da eficiência na redução da carga orgânica, mas também a duplicação da capacidade de tratamento em termos de vazão e de população atendida. O conjunto dessas características torna a tecnologia LAFA uma solução economicamente viável e tecnicamente robusta como etapa de pré-tratamento para sistemas aeróbios subsequentes como lagoas aeradas, filtros percoladores e outros processos de polimento aplicáveis ao tratamento de efluentes variados, incluindo vinhaça, dejetos bovinos e resíduos da indústria alimentícia.

PALAVRAS-CHAVE: REATOR LAFA, LAGOA ANAERÓBIA FLUXO ASCENDENTE, OTIMIZAÇÃO DE LAGOA ANAERÓBIA

INTRODUÇÃO

Entre as atividades zootécnicas de maior potencial poluidor, a suinocultura se destaca pela alta carga orgânica que gera: cada suíno adulto produz um volume de dejetos equivalente ao de dez pessoas. No cenário nacional, a atividade tem relevância econômica especialmente na região Sul. Santa Catarina é um dos estados de maior expressão, mas traz consigo sérios problemas de contaminação de corpos hídricos e do lençol freático em diversas localidades.

Foi nesse contexto que se desenvolveu o trabalho junto à Sadia Concórdia S/A, sediada em Faxinal dos Guedes (SC), cujo plantel de cerca de 45.000 suínos exigia uma solução eficiente de tratamento de efluentes. O sistema implantado contemplou as seguintes etapas em sequência: equalização, remoção de sólidos por peneiras, decantação primária, lagoas anaeróbias, facultativas, aeróbias e de polimento. A ausência de um reator anaeróbio com capacidade para lidar com cargas orgânicas elevadas e alta eficiência de remoção, nos moldes do reator UASB adaptado às características dos dejetos suínos motivou o desenvolvimento de uma solução própria: o reator LAFA (Lagoa Anaeróbia de Fluxo Ascendente). Essa tecnologia transpõe os princípios de engenharia dos reatores UASB para o formato de uma lagoa anaeróbia convencional, tornando-os aplicáveis ao tratamento de dejetos suínos. A ETE resultante foi integralmente projetada, construída, operada e monitorada, e os dados gerados ao longo desse processo fundamentam os resultados aqui apresentados. O desempenho favorável do LAFA nessa aplicação inicial encorajou sua extensão ao tratamento de esgoto sanitário, onde igualmente demonstrou eficiência superior às lagoas anaeróbias convencionais.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo apresentar os fundamentos de dimensionamento e projeto do reator LAFA - Lagoa Anaeróbia de Fluxo Ascendente, bem como os resultados de desempenho obtidos em aplicações em escala real, posicionando-o como alternativa de baixo custo e alta eficiência em substituição às lagoas anaeróbias convencionais no tratamento de diferentes efluentes orgânicos. Discute-se ainda a viabilidade de reforma e modernização de lagoas anaeróbias já existentes mediante a aplicação dos parâmetros de projeto do LAFA, o que pode resultar na duplicação da capacidade de atendimento, tanto em termos de vazão quanto de população servida e no aumento da eficiência de remoção de carga orgânica, expressa em DBO, DQO e sólidos totais (ST/SST).

O reator LAFA foi implementado e avaliado em escala real para o tratamento dos seguintes tipos de efluentes: dejetos suínos, esgoto sanitário, água de lavagem de cana-de-açúcar e chorume. Em parte dessas aplicações, o sistema foi monitorado de forma sistemática, gerando dados operacionais sobre a eficiência de remoção da carga orgânica ao longo do tempo.

METODOLOGIA UTILIZADA

As lagoas anaeróbias – LAN, são amplamente utilizadas no tratamento de águas residuárias com elevada carga orgânica e alto teor de sólidos em suspensão. Nesses sistemas, os sólidos decantam e são submetidos à digestão anaeróbia, enquanto o sobrenadante parcialmente clarificado segue para etapas complementares de tratamento, geralmente lagoas facultativas, aeróbias ou de estabilização. Essa sequência é aplicada principalmente ao tratamento de esgoto sanitário, dejetos de animais e outros resíduos de origem orgânica.

O parâmetro usualmente adotado para o dimensionamento dessas lagoas é a Carga Orgânica Aplicada (COA), especialmente quando se trata de efluentes industriais com concentrações de DBO_5 superiores às do esgoto sanitário. Para esgoto sanitário, os valores típicos de COA situam-se entre 0,1 e 0,3 kg DBO/m³.dia, sendo definidos em função da temperatura média a que a lagoa estará submetida. Em alguns casos, opta-se pelo uso da Carga Orgânica Superficial Aplicada (COSA) como parâmetro de dimensionamento alternativo.

O Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Leito de Lodo denominado RAFA ou UASB (Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor), ilustrado na Figura 1, representou um avanço expressivo na área de tratamento de efluentes ao reunir um conjunto de vantagens que até então não estavam disponíveis em uma única solução: baixo custo operacional, reduzido consumo de energia e maior estabilidade do processo, entre outras (LETTINGA et al., 1980).

Figura 1 – Esquema representativo do funcionamento do reator anaeróbio de alta taxa UASB/RAFA



Fonte: elaboração própria.

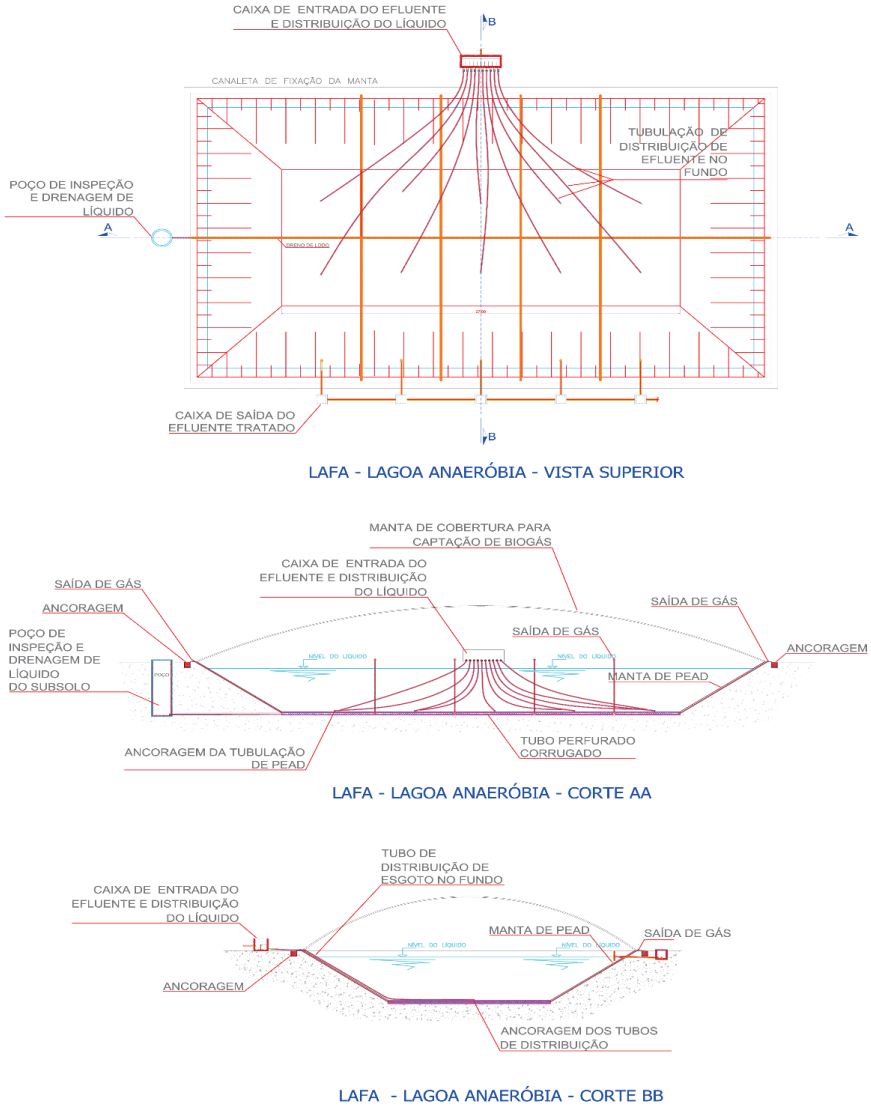
Com o desenvolvimento dos reatores de alta taxa, a digestão anaeróbia consolidou-se como uma eficiente alternativa de pré-tratamento para efluentes com elevadas concentrações de matéria orgânica, como vinhaça, chorume e resíduos de indústrias de laticínios e bebidas, cujas concentrações podem atingir valores da ordem de 100.000 mg DBO/L.

O princípio de funcionamento do reator RAFA baseia-se no fluxo ascendente do efluente a ser tratado, onde a alimentação é introduzida pelo fundo do reator, atravessa um leito de biomassa ativa e, após passar por um sistema de placas defletoras posicionadas no topo, é descartada com separação das fases líquida, sólida e gasosa. O decantador interno desempenha papel fundamental nesse processo, ao promover o retorno das partículas de lodo à zona de digestão, garantindo o tempo de retenção de sólidos adequado e a manutenção de altas concentrações de lodo anaeróbio no interior do reator.

Uma característica operacional relevante do RAFA é a dispensabilidade da recirculação do efluente para fins de fluidificação. O sistema de distribuição da vazão de alimentação assegura contato eficiente entre a água residuária e o lodo, enquanto o próprio biogás gerado na manta de lodo é suficiente para mantê-lo fluidificado e promover um nível adequado de mistura. Esse conjunto de características resulta em um reator de volume sensivelmente menor que os sistemas convencionais, com alta eficiência decorrente da retenção prolongada do lodo.

O reator LAFA - Lagoa Anaeróbia de Fluxo Ascendente incorpora e adapta os princípios de projeto e engenharia dos reatores UASB ao formato de uma lagoa anaeróbia convencional. Em sua configuração, um sistema de distribuição instalado na parte inferior alimenta a carga orgânica pelo fundo do reator, fazendo-a atravessar um leito de biomassa ativa, conceito central extraído diretamente da tecnologia UASB e transposto para essa nova arquitetura.

Figura 2 – Desenho esquemático do reator LAFA com planta e cortes.



Fonte: Elaboração própria.

RESULTADOS OBTIDOS

REATOR LAFA PARA TRATAMENTO DE DEJETOS SUINOS.

A ETE implantada para o tratamento dos dejetos de suínos, é composto por: tanque de equalização, remoção de sólidos por peneiras, decantação primária, lagoas anaeróbias tipo LAFA, lagoas facultativa, aeróbia e polimento, conforme Figura 3 apresentada abaixo.

Figura 3 – Vista aérea da ETE completa para tratamento de dejetos suínos com reator LAFA, Sadia Concórdia S/A - Fazenda sede - Faxinal dos Guedes SC



Fonte: Google Earth.

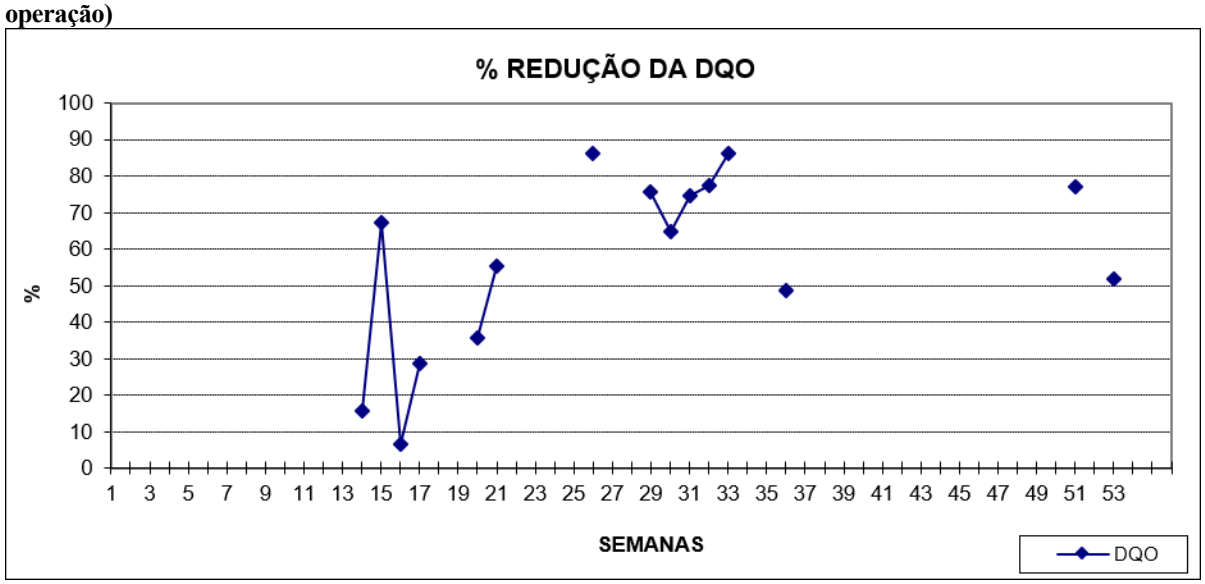
PARÂMETROS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DA ETE PARA DEJETOS SUINOS

Parâmetros adotados para o projeto do reator LAFA: (**VITORATT0. E., 1997)**

Total de cabeças:	= 45.000 suínos
Início de operação	= no ano de 1996
Operadora	= SADIA CONCÓRDIA S/A,
Local de instalação	= Fazenda sede - Faxinal dos Guedes SC
1ª Lagoa anaeróbia de alta taxa LAFA	
Parâmetros do projeto	
Vazão diária	= 640 m^3/dia
Carga orgânica a tratar	= 6.720 kg DBO/dia
Carga orgânica a tratar	= 9.472 kg DQO/dia
TRH	= 5 dias
Carga orgânica aplicada	= 2,9 kg DQO/m^3
Carga orgânica aplicada	= 2,1 kg DBO/m^3
Dimensões da lagoa	
Volume de líquido	= 3.200 m^3
Volume total	= 3.817 m^3
Altura de líquido	= 3,5 m
Área de líquido	= 1.260 m^2
Altura total	= 3,9 m

Verifica-se na Figura 3, que o sistema de tratamento e composto por diversas operações como: tanque de equalização de vazão, peneiras mecanizadas vibratória, decantação primária, lagoa anaeróbia tipo LAFA, lagoa anaeróbia, lagoa facultativa, lagoa de aeração e lagoas polimento final tipo fotossintéticas.

Figura 4 - Porcentagem de redução da DQO na lagoa LAFA, em função do tempo em semanas (400 dias de operação)

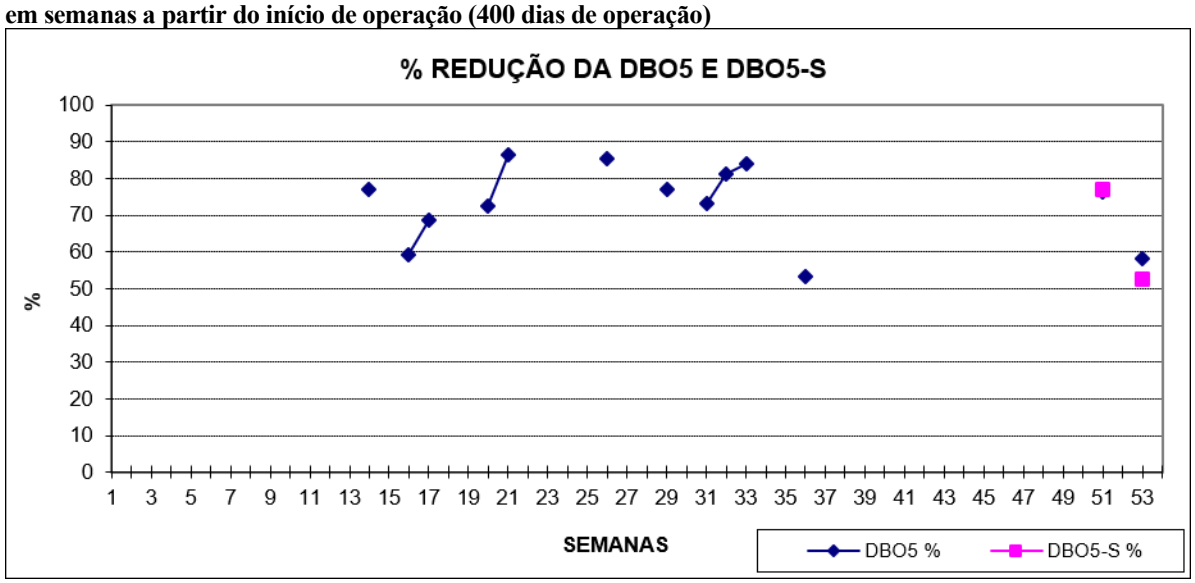


Fonte: (VITORATT0. E., 1997)

A Figura 4 apresenta a evolução percentual da redução de DQO ao longo do período monitorado. Do início da operação até a semana 26, observa-se uma tendência crescente de eficiência, reflexo direto do processo de formação e consolidação do leito de lodo. A partir da semana 27, o sistema anaeróbio atinge o regime estacionário, registrando valor médio de redução de DQO de 77,3% o que corresponde a uma queda de 12.782 para 2.901 mgDQO/L.

Esse índice de remoção é expressivamente elevado para uma lagoa anaeróbia convencional, evidenciando que o reator LAFA, após transcorrido o período de formação, crescimento e acúmulo de biomassa, alcança desempenho comparável ao de reatores de alta taxa como os reatores anaeróbios de fluxo ascendente RAFA/UASB, categoria à qual esse nível de eficiência era até então praticamente restrito.

Figura 5 - Porcentagem de redução da DBO5 e DBO5-S na lagoa LAFA, de alta carga, em função do tempo em semanas a partir do início de operação (400 dias de operação)



Fonte: (VITORATT0. E., 1997).

A Figura 5 apresenta os valores de redução de DBO_5, exibindo comportamento análogo ao observado para a DQO: após o período de estabilização, o sistema atingiu eficiência média de remoção de 78,4%, com redução de 7.165 para 1.548 mg DBO/L.

Esses resultados foram obtidos ao longo de 400 dias contínuos de operação, em condições climáticas de considerável variabilidade. A temperatura média no período mais quente situou-se em torno de 26,3 °C, enquanto na fase mais fria a média oscilou próximo a 18,9 °C, com registros frequentes abaixo de 10 °C em dias específicos. Mesmo diante dessas condições adversas, o reator LAFA manteve seu desempenho sem apresentar instabilidades operacionais, o que atesta a robustez do sistema frente às variações térmicas sazonais.

REATOR LAFA PARA TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

PARÂMETROS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DA ETE PARA ESGOTO SANITARIO

Início de operação	= no ano de 1999
Operadora	= SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Cerquilho
Local de instalação	= Cerquilho – ETE TAQUARAL
População equivalente	= 7.500 habitantes
Lagoa anaeróbia de alta taxa	= LAFA
Vazão diária	= 1440 m^3/dia
Carga orgânica a tratar	= 936 kg DBO/dia
Comprimento total	= 37 m
Largura total	= 27 m
Volume de líquido	= 2600 m3
Altura de líquido	= 3,2 m
TRH	= 1,8 dias
Carga orgânica aplicada	= 0,36 kg DBO/m3

Estação de Tratamento de Esgoto composta de: pré-tratamento, Lagoa Anaeróbio de fluxo ascendente LAFA, Filtro percolador biológico de alta taxa (dois em série), Decantador secundário e Cloração;

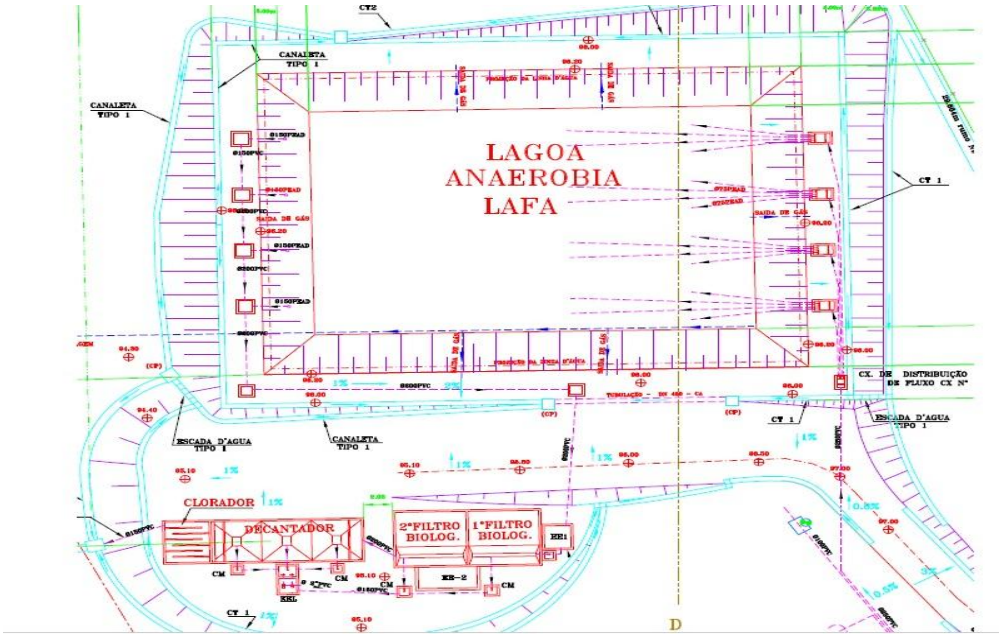
Conforme informações obtidas do SAAE DE CERQUILHO, o reator LAFA vem operando normalmente e apresenta redução da DBO5, valores médios de 65 a 68%. (redução de 650 para 208 mg DBO/L), eficiência esta superior, quando comparado com as lagoas anaeróbias que apresenta redução de 30-50% em DBO.

Figura 6 - Foto aérea da ETE completa, contendo pré-tratamento, lagoa LAFA, dois filtros percoladores aeróbios, decantador secundário e sistema terciários e cloração final.



Fonte: Imagem retirada do Google Earth.

Figura 7 – Planta da ETE completa, contendo pré-tratamento, lagoa LAFA, dois filtros percoladores aeróbios, decantador secundário e sistema terciários e cloração final.



Fonte: SAAE Cerquilho.

REATOR LAFA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE CANA DE AÇUCAR

Apresentamos abaixo, uma nova aplicação do reator LAFA, desta vez voltada ao tratamento de água de lavagem de cana-de-açúcar, demonstrando a versatilidade da tecnologia para além dos efluentes anteriormente avaliados. Neste trabalho, os parâmetros de dimensionamento e os resultados analíticos dessa experiência não serão detalhados, uma vez que a unidade em questão, uma usina de álcool situada em Dois Córregos (SP), encerrou suas atividades e os dados foram perdidos pelo cliente.

Figura 8 – Sistema de tratamento de água de lavagem de cana de açúcar, empregando reator LAFA, usina de álcool em Dois Córregos – SP.



Fonte: Google Earth.

LAFA PARA TRATAMENTO DE CHORUME DE ATERRO SANITÁRIO

Outra aplicação do reator LAFA, para o tratamento de chorume, implantada no aterro sanitário, que produz hoje 40 m3/dia de chorume, demostrando a viabilidade do emprego deste tipo de reator. Não estamos apresentando os parâmetros e dimensões empregados, assim como resultados analítico, tendo em vista que o sistema está sendo ajustado e melhorado no sentido da remoção do nitrogênio amoniacal, com formação de Estruvita, de forma e reduzir o efeito inibidor para a digestão anaeróbia.

Figura 9 – Sistema de tratamento de chorume de aterro sanitário, sistema biológico terciário, com tanques, em manta de PEAD, Lagoa LAFA, anóxica (desnitrificação), aeróbia com nitrificação, decantação secundaria com reciclo de loco, remoção de Fósforo por processo biológico e produção de estruvita.



Fonte: elaboração própria.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

ESTUDO COMPARATIVO DA CONVERSÃO DA LAGOA ANAEROBIA PARA REATOR TIPO LAFA PARA TRATAMENTO DE ESGOTO SANITARIOS

A Tabela 1 abaixo, apresenta a comparação dos parâmetros de dimensionamento de uma Lagoa Anaeróbia convencional e de um reator LAFA, para atender a um município com população de 30.000 habitantes. Verifica-se que a lagoa anaeróbia necessita do dobro da área e volume em relação ao LAFA.
Também se verifica que com o volume e área empregado para implantação da lagoa anaeróbia, se converter em reator LAFA, é possível duplicar a capacidade de 30.000 para 60.000 habitantes, assim como aumentar a eficiência de tratamento de 35-50% para 65-70% em remoção da carga orgânica em DBO/DQO, gerando tambem maior volume de biogás.

Tabela 1 – Estudo comparativo do LAFA com Lagoa Anaeróbia Convencional

ESTUDO COMPARATIVO REATORES	*LAGOA ANAERÓBIA*	*LAFA*	*LAGOA ANAERÓBIA CONVERTIDA EM LAFA*
Tempo de retenção hidráulico	**3 a 5 dias**	**1 a 3 dias**	**1 a 3 dias**
Profundidade	**3 a 5 metros**	**3 a 5 m**	**3 a 5 metros**
Eficiência remoção da DBO	**35 a 50%**	**65 a 70%**	**65 a 70%**
População atendida - estudo	**30.000**	**30.000**	**60.000**
Vazão de esgoto - m^3/dia	**4800**	**4800**	**9600**
Concentração da DBO (mg/l)	**300**	**300**	**300**
Carga orgânica (Kg de DBO/dia)	**1440**	**1440**	**2880**
Área necessária - m^2	**4800**	**2400**	**4800**
Eficiência média remoção da DBO	**40%**	**68%**	**68%**
Produção biogás (m^3 de biogás /dia)	**750**	**510**	**1020**
Produção de biogás (m^3 metano/dia)	**525**	**357**	**714**
Potencial energético - (6,5 kwh/m^3)	**3413**	**2321**	**4641**

Fonte: elaboração própria.

Tabela 2 – Estudo comparativo de implantação das lagoas LAN, LAFA e a conversão das lagoas LAN existentes em lagoas LAFA.

CUSTO ESTIMADO PARA:		
IMPLANTAÇÃO DE LAGOA ANAEROBIA - LAN		
População de projeto	Sem geomembrana de fundo e cobertura	Com geomembrana de fundo e cobertura
10.000 a 30.000 hab.	R$ 90 a R$ 140/hab.	R$ 130 a R$ 190/hab.
IMPLANTAÇÃO DE LAGOA LAFA		
População de projeto	-	Com geomembrana de fundo e cobertura
10.000 a 30.000 hab.		R$ 100 a R$ 130/hab.
CONVERSÃO DE LAGOA LAN EXISTENTES EM LAFA		
População de projeto	-	Com geomembrana de fundo e cobertura
10.000 a 30.000 hab.		R$ 40 a R$ 70/hab.

Fonte: Elaboração própria. (Os valores foram calculados considerando a conversão de uma LAN de uso doméstico em um LAFA, foram excluídos do cálculo, o valor do terreno e as outras unidades dos processos)

CONCLUSÕES

À semelhança dos reatores RAFA o reator LAFA apresenta amplo espectro de aplicação, sendo adequado tanto para efluentes de baixa quanto de alta carga orgânica, incluindo os dejetos provenientes da suinocultura, bovinos, indústria de laticínios, curtume, vinhaça, etc. A cobertura do tanque, além de viabilizar o aproveitamento do biogás gerado

durante o processo de digestão anaeróbia, contribui para a contenção de odores e para a segurança operacional do sistema. Esse conjunto de características posiciona o LAFA como uma solução de grande versatilidade, com custos reduzidos tanto na fase de implantação quanto na operação continuada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LETTINGA et alii. **Use of the upflow sludge blanket reactor concept for biological wastewater tratment, speciallu for anaerobic treatment.** Biotechnology and Bioengineering, 22, (4): 699-734, 1980.
2. SAAE. **Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Cerquilho.** informações pessoais do Eng. Palmiro Valdir Sebastiani.
3. VITORATTO, E. **Projeto e operação de um sistema de tratamento de dejetos suínos utilizando lagoa anaeróbia de alta carga.** São Paulo, 1997. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo. Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica.